

## OTIMIZAÇÃO DE DESEMPENHO DE EQUIPAMENTO MECÂNICO: APLICAÇÃO DO DMAIC DO LEAN SIX SIGMA PARA PROJETO DE MELHORIA DE MANUTENÇÃO

*Data de aceite: 01/04/2024*

### **Brenda Manuely Couto Siqueira**

Engenharia Mecânica, Centro  
Universitário do Norte  
Manaus - Amazonas  
<http://lattes.cnpq.br/2627623478557323>

### **Marcus Renato Pinheiro Mattos**

Engenharia Mecânica, Centro  
Universitário do Norte  
Manaus - Amazonas  
<http://lattes.cnpq.br/2890713359271807>

**RESUMO:** Este estudo aborda a problemática do elevado tempo de máquina parada na estação de tensionamento de filme, cujas causas raízes eram desconhecidas. Assim sendo, a busca pelo aprimoramento do desempenho do equipamento, especificamente visando à redução significativa do tempo de inatividade foi o intuito central da pesquisa, por intermédio das causas principais das paradas na estação, bem como na implementação de melhorias e avaliações do impacto dessas intervenções na eficiência operacional e produtividade. À vista disso, a metodologia adotada foi o ciclo DMAIC (*Define, Measure, Analyze, Improve, Control*), incorporando ferramentas

da qualidade tais como: os “5 Porquês”, 5W2H, diagrama de Ishikawa, plano de ação derivado desse diagrama e gráfico de Pareto. Em consequência, a análise desse último destacou o engate do filme no rolete como a principal causa de paradas. Além de que a investigação otimizada revelou que o ajuste inadequado da tensão do filme afetava componentes cruciais, incluindo buchas, molas e a faca tesoura. Ademais, o desgaste do came, resultante da insuficiente inspeção e manutenção, também prejudicava o acionamento da faca tesoura e a lubrificação insatisfatória emergiu como outro fator contribuinte para as paradas. Destarte, a partir da execução do plano de ação foram obtidos resultados satisfatórios, tais como; a diminuição da inatividade das máquinas de 30,85 para 1,73 horas.

**PALAVRAS-CHAVE:** Otimização; Equipamento mecânico; DMAIC; Lean Six Sigma; Manutenção.

# MECHANICAL EQUIPMENT PERFORMANCE OPTIMIZATION: APPLICATION OF LEAN SIX SIGMA DMAIC FOR MAINTENANCE IMPROVEMENT PROJECT

**ABSTRACT:** This study addresses the problem of high machine downtime at the film tensioning station, the root causes of which were unknown. Therefore, the search for improving equipment performance, specifically aiming to significantly reduce downtime was the central aim of the research, through the main causes of stoppages at the station, as well as the implementation of improvements and assessments of the impact of these interventions in operational efficiency and productivity. In view of this, the methodology adopted was the DMAIC cycle (Define, Measure, Analyze, Improve, Control), incorporating quality tools such as: the “5 Whys”, 5W2H, Ishikawa diagram, action plan derived from this diagram and graph of Pareto. As a result, the latter’s analysis highlighted the film’s engagement with the roller as the main cause of stoppages. Furthermore, the optimized investigation revealed that improper film tension adjustment affected crucial components, including bushings, springs and the scissor knife. Furthermore, cam wear, resulting from insufficient inspection and maintenance, also hampered the actuation of the scissor knife and unsatisfactory lubrication emerged as another contributing factor to downtime. Thus, from the execution of the action plan, satisfactory results were obtained, such as; the reduction of machine inactivity from 30.85 to 1.73 hours.

**KEYWORDS:** Optimization; Mechanical Equipment; DMAIC; Lean Six Sigma; Maintenance.

## INTRODUÇÃO

A indústria mecânica enfrenta desafios significativos relacionados à disponibilidade de seus equipamentos, notadamente devido a falhas recorrentes que resultam em tempo de máquina parada e impactam diretamente na produtividade. Em consequência disso, tais incidentes acarretam custos elevados de produção e comprometem a qualidade dos produtos, influenciando a competitividade da empresa no mercado. Nesse contexto, a metodologia *Lean Six Sigma* tem se destacado como uma abordagem eficiente para identificar e resolver problemas em processos e equipamentos, visando o aumento da produtividade e a redução de custos (PINTO,2009).

Nessa conformidade, a integração dos princípios *Lean* e das ferramentas *Six Sigma* tem proporcionado resultados positivos, eliminando operações não agregadoras de valor e promovendo a estabilidade nos processos de manufatura enxuta. Além dessas metodologias citadas anteriormente, a metodologia *DMAIC* tem sido amplamente empregada para gestão de projetos de melhoria, demonstrando eficiência na identificação de problemas e busca por soluções. Os Autores Taquetti et al. (2017) e Pereira (2016) ressaltam a aplicação bem-sucedida da metodologia *DMAIC* auxilia na redução de paradas não programadas, evidenciando a eficácia desse método na melhoria contínua dos processos produtivos.

O *DMAIC* possui a etapa de definir, em que se pode encontrar as taxas de paradas não programadas em processos produtivos (BEN-DAYA,2009). As etapas subsequentes, Medir, Analisar, Melhorar e Controlar, auxiliam na redução do tempo de máquinas paradas,

aumento da produtividade e redução de custos (PYZDEK, 2015). Assim sendo, essas ferramentas de melhoria contínua defendida por Juran (1991) é vital para a sobrevivência empresarial em um mercado globalizado e altamente competitivo. À vista disso, a proposta do trabalho será a aplicação da metodologia *DEMAIC* com o intuito de identificar problemas e solucioná-los no caso concreto.

## METODOLOGIA

A pesquisa foi conduzida na linha de produção de fitas PVC (Policloreto de Vinila) de uma empresa situada no polo industrial de Manaus. Nessa conformidade, a metodologia *DMAIC* (*Define, Measure, Analyze, Improve, Control*) foi selecionada para o estudo de caso conforme descrito na Figura 3, a qual é estruturada em cinco etapas para promover a melhoria contínua dos processos os quais podem ser identificados através do fluxograma, Figura 1.

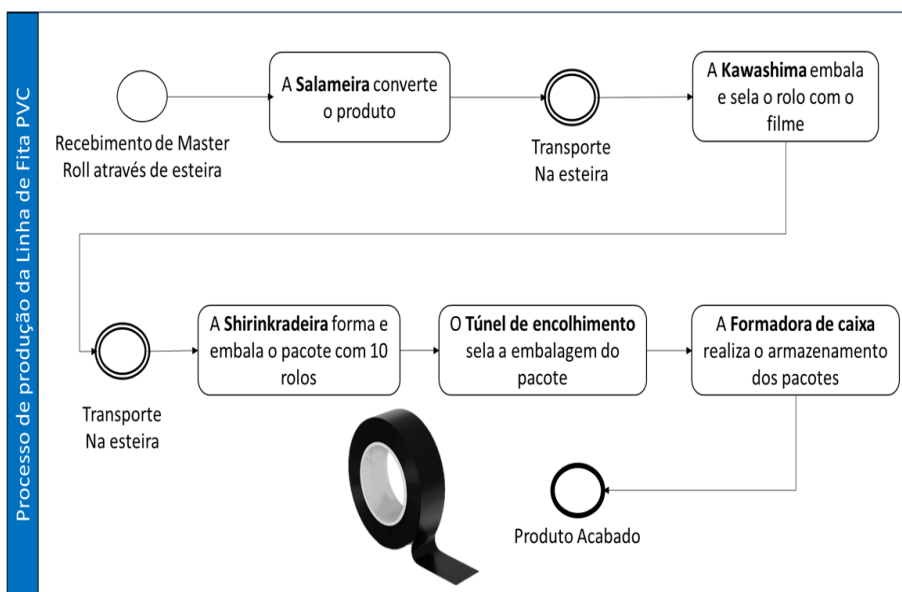


Figura 1 –Fluxo do processo da Linha de Fita PVC.

Fonte: O Autor.

### 1º Etapa: *Define* (Definir)

Devido ao elevado tempo de inatividade (*Downtime*) na linha da produção da fita PVC, surge o desafio de reduzir esse período de máquina parada, visando a aumentar a disponibilidade dos equipamentos e, conseqüentemente, atender à elevada demanda de produção. À vista disso, o propósito central consistiu em identificar o principal fator prejudicial

aos equipamentos, a fim de abordar a causa raiz e, assim, prevenir futuros retrabalhos e possíveis desperdícios. Posto isso, uma equipe composta por partes interessadas da organização foi formada para a realização das análises de dados provenientes do sistema de gerenciamento de produção e dos registros de ordens serviços de manutenção.

## 2º Etapa: *Measure* (Medir)

Essa etapa focou na mensuração dos fatores que contribuem com as paradas de máquinas como o ponto central a ser abordado, por intermédio da observação do processo, entrevistas individuais com operadores da cadeia produtiva, processos internos bem como softwares de gerenciamento de dados conforme explícito na Figura 2. Além disso, é importante ressaltar que foram utilizadas ferramentas da qualidade para investigar com exatidão o processo.

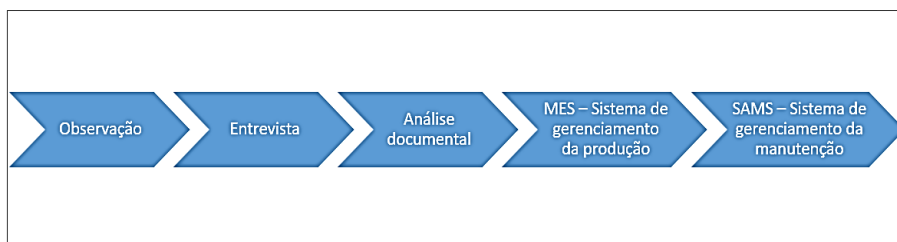


Figura 2 – Fluxo de coleta de dados.

Fonte: O Autor.

## 3º Etapa: *Analyze* (Analisar)

Nessa etapa, foi desenvolvido um plano de ação para abordar efetivamente o problema e aperfeiçoar o processo que provoca o aumento de tempo de parada de máquina que prejudica a produtividade na linha de fitas de PVC.

## 4º Etapa: *Improve* (Melhorar)

Nesse estágio, as ações planejadas foram executadas com a implementação de medidas específicas nas variáveis identificadas para eliminar a causa do *downtime*.

## 5º Etapa: *Control* (Controlar)

Foi iniciada para verificar a eficácia das ações implementadas, realizando uma verificação dimensional do produto e confirmando a eliminação do defeito.

## RESULTADOS E DISCUSSÕES

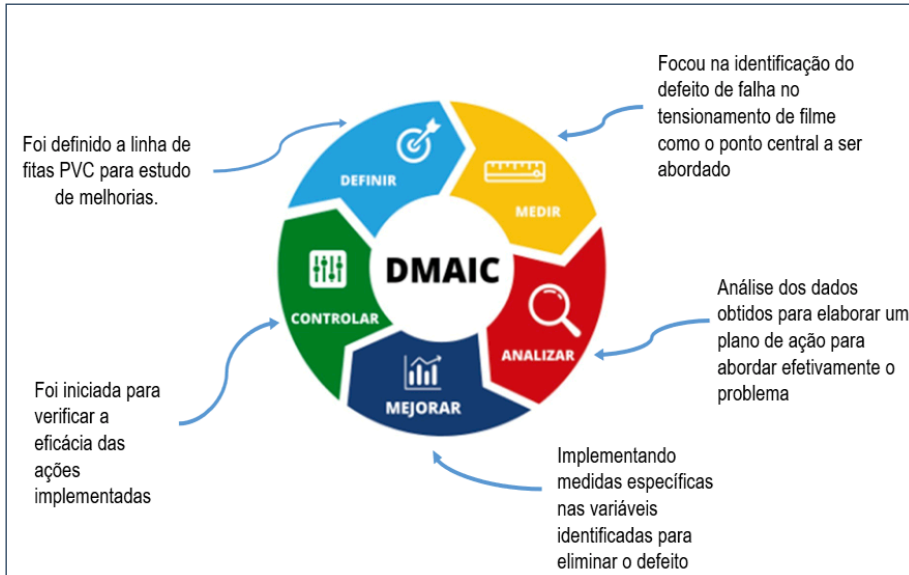


Figura 3 – Fluxo de coleta de dados.

Fonte: O Autor.

Nessa etapa, inicialmente foi identificado que o defeito de falha no tensionamento de filme foi a causa vital para a parada de máquinas na linha de fitas de PVC. Assim sendo, a Figura 3 demonstra como foi aplicado o ciclo DMAIC e consequentemente os resultados a seguir serão abordados e discutidos por intermédio dessa ferramenta.

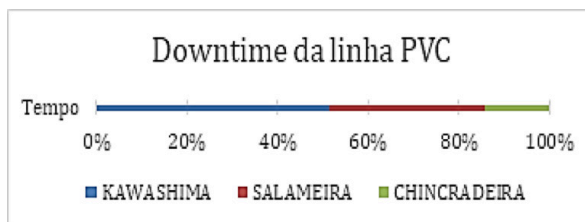


Figura 4 – Distribuição de downtime na linha PVC de Jan – Out de 2023.

Fonte: O Autor.

### D – *DEFINE* (DEFINIR)

A linha de PVC é composta por três equipamentos principais: Salameira, Kawashima e Shirinkradeira. Como observado na Figura 4. Os maiores registros de paradas ocorriam predominantemente na Kawashima, responsável pelo embrulho e selagem do rolo de fita PVC no filme de embalagem.



Figura 5 – Embaladora Kawashima GW-4MC.

Fonte: O Autor.

Nessa conformidade, a Kawashima é um equipamento mecânico composto por acionamento de cames, apresentando um sistema mecânico de tensionamento de filme que estica o material com a assistência de roletes tracionados na base da estrutura de tensionamento, Figura 5.

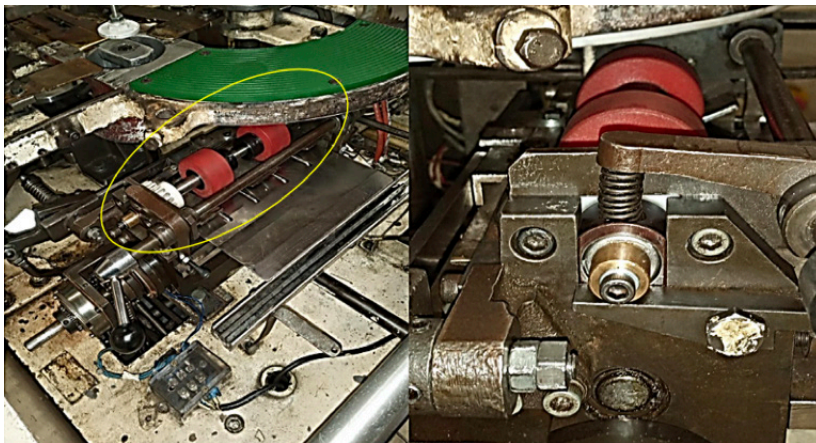


Figura 6 – Roletes embaladora Kawashima GW-4MC.

Fonte: O Autor.

Esses roletes são fixados em um eixo acoplado aos mancais, contando com engrenagens e freio magnético. Subsequentemente, um mecanismo de faca-tesoura entra em ação, cortando o filme de acordo com a medida configurada para envolver perfeitamente o tamanho do rolo, que pode ser de 5m, 10m e 20m. Esse processo é executado de maneira sincronizada com um elevador de rolos, que transporta o rolo para um “prato” equipado com resistências, que sela o filme ao redor do rolo para embalar a fita de forma adequada.

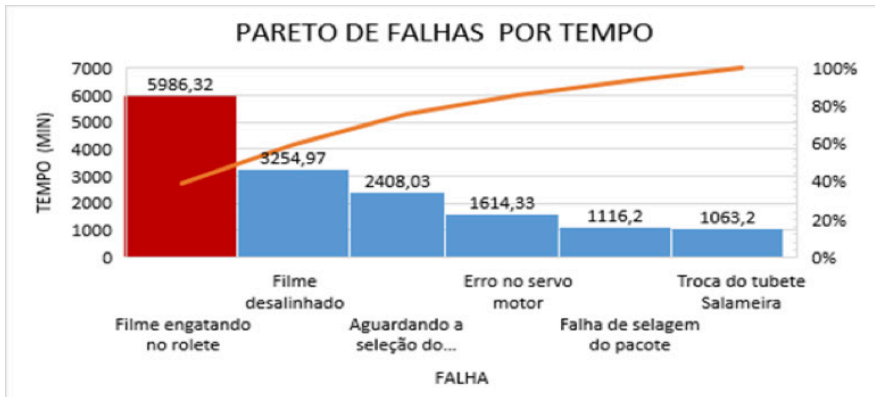


Figura 7 – Pareto de falhas da linha PVC de Jan – Nov de 2022.

Fonte: O Autor.

Assim sendo, é possível inferir que é necessário diminuir esse defeito de tensionamento de filme nessa respectiva máquina por intermédios de ações para atenuar o tempo de parada de máquina.

## M – MEASURE (MEDIR)

Após identificar o equipamento mais crítico (Embaladora Kawashima GW-4MC), o próximo passo consistiu em determinar quais fatores contribuem para o tensionamento do filme, frequentemente apontada pelos operadores, como evidenciado na Figura 7.

É possível inferir que o principal defeito que contribui para o tensionamento do filme é basicamente o engatamento do mesmo no rolete onde observa-se que corresponde à aproximadamente 80% em determinado período de operação do equipamento, Figura 7.

## A – ANALYZE (ANALISAR)

Assim, foi realizada a análise 5W1H – ferramenta de qualidade – para compreender o impacto dessa avaria, Quadro 01.

5W					1H
O que?	Onde?	Quando?	Quem?	Qual?	Como?
A anomalia é o filme engatando no rolete.	Ocorre na Kawashima, na linha de fita pvc. Especificamente no sistema de tensionamento de filme.	acentuada no início do ano de 2023, principalmente no pico de produção em maio.	Independente do turno e da experiência do operador.	A anomalia passou a ocorrer de forma recorrente.	O filme da embalagem da fita desalinha, engatando no rolete e parando o equipamento.

Quadro 01 – Análise 5W1H da falha “Filme engatando no rolete”

Fonte: O Autor.



Além disso, com o intuito de buscar mais precisão na análise, sucedeu-se um levantamento das possíveis causas para o engatamento do rolete que impacta diretamente no tensionamento do filme, Figura 8.

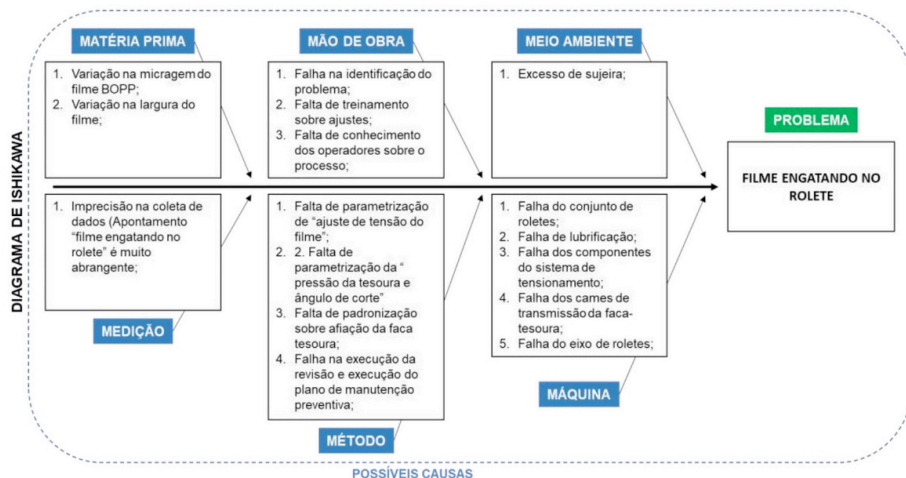


Figura 8 – Diagrama de Ishikawa.

Fonte: O Autor.

Assim, optou-se por priorizar cuidadosamente as quatro principais deficiências escolhidas em consenso: falha dos cames de transmissão da faca tesoura, imprecisão na coleta de dados ("Filme enrolando no rolete"), falha na identificação do filme enrolando no rolete e falha do conjunto de roletes. Nessa conformidade, baseado nessa análise, elaborou-se o seguinte plano de ação, conforme demonstrado no Quadro 4.

Causa Raiz	Ação	Responsável
Falha dos cames de transmissão da faca tesoura	Fazer aquisição e troca do came da tesoura	Manutenção
Falha dos cames de transmissão da faca tesoura	Troca de rolamentos e engrenagens	Manutenção
Imprecisão na coleta de dados "Filme enrolando no rolete"	Coletar históricos de downtime "Filme enrolando no rolete" nos app de produção e estratificar	Facilitador de produção
Imprecisão na coleta de dados "Filme enrolando no rolete"	Fazer melhoria no apontamento do sistema, especificando região dos maiores ofensores	Engenheiro de processo
Falta padrão de "soluções de problemas"	Criar Troubleshooting para "Filme engatando no rolete"	Engenheiro de processo
Falta padrão de "soluções de problemas"	Treinamento operacional do apontamento/Troubleshooting	Engenheiro de processo
Desgaste das buchas do mancal	Fazer aquisição e troca da bucha por rolamentos de agulha	Manutenção
Desgaste das buchas do mancal	Criar conjunto de roletes para backup de troca	Manutenção

Quadro 4 – Plano de ação.

Fonte: O Autor.



## I – IMPROVE (MELHORAR)

Após a definição do plano de ação, todas as medidas foram implementadas. A melhoria mais significativa foi a fabricação de dois conjuntos de roletes novos, os quais estão ilustrados na Figura 9, apresentando aprimoramentos no tratamento do material, além da substituição da bucha por rolamentos.

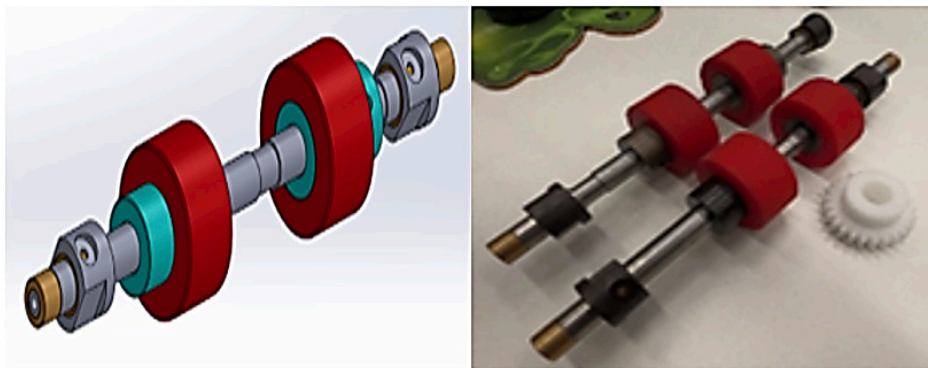


Figura 9 – Conjunto de rolete.

Fonte: O Autor.

## C – CONTROL (CONTROLAR)

Conforme foram implementadas todas as ações, finalmente, passaram-se onze meses desde o início do projeto de melhoria, Dezembro de 2022. Ao observar a Tabela 1, evidencia-se uma redução significativa tanto no tempo de máquina parada (*Downtime*) da Kawashima quanto no aumento do MTBF (Tempo Médio Entre Falhas).

KAWASHIMA 3											
DESCRIÇÃO	JAN	FEV	MAR	ABR	MAI	JUN	JUL	AGO	SET	OUT	NOV
QUANTIDADE OCORRÊNCIAS	10	12	10	10	15	16	5	7	2	16	4
DOWNTIME KAWASHIMA	30,85	16,15	16,38	18,37	22,50	16,07	9,35	5,27	1,10	14,13	1,73
DOWNTIME TOTAL	32,77	26,67	35,5	50,05	52,6	68,37	16,3	21,93	8,08	31,48	6,32
MTBF	33,82	28	31	24,83	21,88	17,56	67,64	49,6	144	25,66	50,18
MTTR	2,17	1,15	1,61	1,43	1,39	1,39	2,04	1,29	2,08	1,2	0,62

Tabela 1 – Indicadores da linha PVC.

Fonte: O Autor.

Assim sendo, a Figura 10 descreve também o comportamento decrescente do Downtime da Kawashima após as implementações das melhorias e as oscilações em relação as demais maquinários.

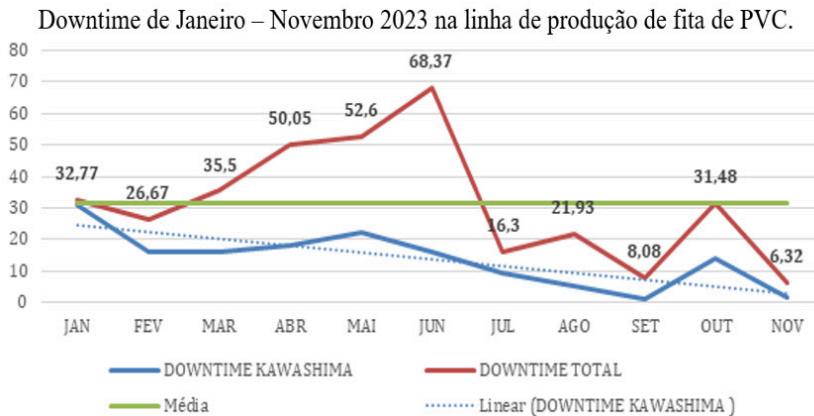


Figura 10 – Downtime linha de PVC.

Fonte: O Autor.

Após a implementação das melhorias propostas no projeto, fez-se necessário estabelecer um sistema de controle para garantir que os resultados fossem mantidos. Assim, uma das funções foi o monitoramento dos indicadores de desempenho, periodicamente, por um período de seis meses após a implementação dos aperfeiçoamentos abordados. Assim, a quantidade de ocorrências de *Downtime* total do equipamento atenuou de 32,77 para 6,32, representando uma redução de 82,2%. O tempo de *Downtime*, especificamente da Kawashima, decresceu de 50,05 para 1,73, representando uma redução de 96,6%. Além disso, o MTBF aumentou de 33,82 para 144, representando um acréscimo de 304,9%. Por fim, o MTTR (tempo médio entre reparos) decaiu de 2,17 para 0,62, representando uma redução de 72,2%.

Dessarte, para garantir que os resultados sejam mantidos, será necessário continuar o monitoramento dos indicadores de desempenho, implementar ações corretivas conforme necessário bem como efetivar um sistema de treinamento para os operadores da linha de PVC.

## CONCLUSÃO

O presente estudo delineou um processo estruturado de melhoria, seguindo a metodologia DMAIC, com o objetivo de abordar as falhas críticas em um sistema específico. Inicialmente, durante a fase de diagnóstico, identificou-se o equipamento mais impactante, direcionando o foco para as principais falhas apontadas pelos operadores.

A aplicação da análise 5W1H permitiu desvendar as causas-raiz mais prejudiciais, abrangendo desde a falta de execução da manutenção preventiva até a ausência de padrões de solução de problemas. Com base nessa compreensão aprofundada, foi elaborado um plano de ação que incluiu a confecção de conjuntos de roletes novos, melhorias no tratamento do material e a substituição de buchas por rolamentos.

Ao longo de onze meses após a implementação das ações, os resultados foram consideráveis conforme demonstrado anteriormente evidenciando reduções significativas no tempo de máquina parada e um aumento substancial no MTBF. Nessa conformidade, a implementação eficiente da metodologia DMAIC revelou-se essencial na abordagem sistemática das falhas, promovendo não apenas correções pontuais, mas também as transformações substanciais que impactam positivamente a eficiência operacional e a confiabilidade do sistema em questão. Logo, para garantir que os resultados sejam mantidos, é necessário continuar monitorando os indicadores de desempenho e implementar ações corretivas conforme necessário.

## REFERÊNCIAS

BEN-DAYA, Mohamed et al. **“Handbook of Maintenance Management and Engineering”**. Londres: Springer, 2009.

JURAN, J. M. **Controle da qualidade**. 4. ed. São Paulo: Makron Books, 1991.

Pereira, H. M. (2016). **Aplicação do lean seis sigma na redução de paradas não programadas em uma empresa de moldagem por injeção**. Monografia (Especialização em Engenharia da Qualidade Lean Seis Sigma Green Belt). Universidade de Taubaté, Taubaté, SP. Disponível em: <http://repositorio.unitau.br/jspui/handle/20.500.11874/4993>.

PYZDEK, Thomas. **“The Six Sigma Handbook”**. Nova York: McGraw-Hill Education, 2015.

PINTO, J. (2009), “Pensamento Lean: A filosofia das organizações vencedoras”, Lidel, Lisboa.

TAQUETTI, R. L., et al. **“Integração Lean Six Sigma para Melhoria da Produtividade em uma Linha de Montagem de Produtos Eletrônicos.”** Journal of Lean Systems, vol. 2, no. 1, 2017, pp. 47-60