

IMPLEMENTAÇÃO DA MANUTENÇÃO PRODUTIVA TOTAL (TPM) PARA AUMENTO DA CONFIABILIDADE E EFICIÊNCIA OPERACIONAL EM SISTEMAS DE TRANSPORTE DE MATERIAIS REFRACTÁRIOS: UM ESTUDO APLICADO COM AVALIAÇÃO DE INDICADORES OEE, MTBF E SUSTENTABILIDADE OPERACIONAL

IMPLEMENTATION OF TOTAL PRODUCTIVE MAINTENANCE (TPM) TO ENHANCE RELIABILITY AND OPERATIONAL EFFICIENCY IN REFRACTORY MATERIAL HANDLING SYSTEMS: AN APPLIED STUDY BASED ON OEE, MTBF AND OPERATIONAL SUSTAINABILITY METRICS

IMPLEMENTACIÓN DEL MANTENIMIENTO PRODUCTIVO TOTAL (TPM) PARA EL INCREMENTO DE LA CONFIABILIDAD Y LA EFICIENCIA OPERACIONAL EN SISTEMAS DE TRANSPORTE DE MATERIALES REFRACTARIOS: UN ESTUDIO APLICADO BASADO EN INDICADORES OEE, MTBF Y MÉTRICAS DE SOSTENIBILIDAD OPERATIVA



10.56238/revgeov17n2-095

Cleyse da Silva dos Santos

Graduanda em Engenharia de Produção
Instituição: Centro Universitário Augusto Motta (UNISUAM)
Endereço: Rio de Janeiro, Brasil
E-mail: cleyse.s.santos@gmail.com

Lorena Arigoni Vannucci

Graduanda em Engenharia de Produção
Instituição: Centro Universitário Augusto Motta (UNISUAM)
Endereço: Rio de Janeiro, Brasil
E-mail: lorenaarigoni@gmail.com

Rachel Cristina Santos Pires

Mestra em Desenvolvimento Local
Instituição: Centro Universitário Augusto Motta (UNISUAM)
Endereço: Rio de Janeiro, Brasil
E-mail: rachelpireseng@gmail.com

Márcio Araújo de Souza

Doutorando em Engenharia Sanitária e Ambiental
Instituição: Universidade do Estado do Rio de Janeiro (UERJ)
Endereço: Rio de Janeiro, Brasil
E-mail: marcimaraujodesouza@gmail.com



George Gilberto Gomes Junior

Doutorando em Engenharia Nuclear
Instituição: COPPE – Universidade Federal do Rio de Janeiro (UFRJ)
Endereço: Rio de Janeiro, Brasil
E-mail: georgegjunior@gmail.com

Leonardo Lopes de Campos

Mestre e Docente do curso de Engenharia de Produção
Instituição: Centro Universitário Augusto Motta (UNISUAM)
Endereço: Rio de Janeiro, Brasil
E-mail: leolopes.rio@gmail.com

Renata Nunes Oliveira

Doutora em Engenharia Metalúrgica e de Materiais
Instituição: Universidade Federal Rural do Rio de Janeiro (UFRRJ)
Departamento de Engenharia Química
Endereço: Rio de Janeiro, Brasil
E-mail: renatanunes.ufrj@gmail.com

Antonio Renato Bigansolli

Doutor em Engenharia de Materiais
Instituição: Universidade Federal Rural do Rio de Janeiro (UFRRJ)
PPGCEMat Programa de Pós-graduação em Ciência e Engenharia de Materiais, Departamento de
Engenharia Química
Endereço: Rio de Janeiro, Brasil
E-mail: bigansolli@ufrj.br

Everton Rangel Bispo

Doutor em Engenharia de Materiais e Processos Químicos e Metalúrgicos
Instituição: Centro Universitário Augusto Motta (UNISUAM)
Endereço: Rio de Janeiro, Brasil
E-mail: prof.evertonrangel@gmail.com

RESUMO

Este estudo analisa a manutenção industrial como um fator estratégico para a confiabilidade, disponibilidade e eficiência dos processos produtivos, com foco em uma indústria do setor refratário, caracterizada por elevada criticidade operacional e exigências rigorosas de segurança. O objetivo da pesquisa é avaliar o desempenho da manutenção aplicada a um elevador de canecas utilizado no transporte de matérias-primas refratárias, identificando falhas recorrentes e seus impactos sobre a produtividade e a eficiência operacional. A metodologia adotada consiste em um estudo de caso de natureza exploratória e descritiva, fundamentado na análise de registros de manutenção, indicadores de desempenho e observações em campo. Foram avaliados parâmetros como frequência de falhas, tempo médio entre falhas (MTBF), tempo médio para reparo (MTTR) e eficiência global dos equipamentos (OEE), à luz dos princípios da Manutenção Produtiva Total (TPM). Os resultados evidenciam que a ausência de uma gestão estruturada da manutenção contribui significativamente para a ocorrência de paradas não programadas, impactando negativamente a disponibilidade dos



equipamentos e o desempenho do sistema produtivo. A aplicação sistemática de práticas baseadas em TPM demonstrou potencial para a redução de falhas, melhoria dos indicadores de desempenho e aumento da confiabilidade operacional do equipamento analisado. Conclui-se que a implementação de uma gestão de manutenção orientada por indicadores e alinhada aos princípios da TPM é fundamental para a otimização do desempenho operacional em indústrias refratárias, contribuindo para a redução de custos operacionais, aumento da eficiência produtiva e maior sustentabilidade dos processos industriais.

Palavras-chave: TPM. Indicadores de Manutenção. Indústria Refratária. OEE. Eficiência Operacional.

ABSTRACT

This study analyzes industrial maintenance as a strategic factor for ensuring the reliability, availability, and efficiency of production processes, with a focus on the refractory industry, which is characterized by high operational criticality and stringent safety requirements. The objective of the research is to evaluate the maintenance performance applied to a bucket elevator used for transporting refractory raw materials, identifying recurring failures and their impacts on productivity and operational efficiency. The adopted methodology consists of an exploratory and descriptive case study based on the analysis of maintenance records, performance indicators, and field observations. Parameters such as failure frequency, mean time between failures (MTBF), mean time to repair (MTTR), and overall equipment effectiveness (OEE) were evaluated in light of the principles of Total Productive Maintenance (TPM). The results indicate that the absence of a structured maintenance management system significantly contributes to the occurrence of unplanned downtime, negatively affecting equipment availability and overall production system performance. The systematic application of TPM-based practices demonstrated potential for failure reduction, improvement of performance indicators, and enhancement of the operational reliability of the analyzed equipment. It is concluded that the implementation of indicator-driven maintenance management aligned with TPM principles is essential for optimizing operational performance in refractory industries, contributing to reduced operating costs, increased production efficiency, and greater sustainability of industrial processes.

Keywords: TPM. Maintenance Indicators. Refractory Industry. OEE. Operational Efficiency.

RESUMEN

Este estudio analiza el mantenimiento industrial como un factor estratégico para garantizar la confiabilidad, la disponibilidad y la eficiencia de los procesos productivos, con énfasis en la industria refractaria, la cual se caracteriza por una elevada criticidad operativa y estrictos requisitos de seguridad. El objetivo de la investigación es evaluar el desempeño del mantenimiento aplicado a un elevador de cangilones utilizado en el transporte de materias primas refractarias, identificando fallas recurrentes y sus impactos en la productividad y la eficiencia operativa. La metodología adoptada consiste en un estudio de caso de carácter exploratorio y descriptivo, basado en el análisis de registros de mantenimiento, indicadores de desempeño y observaciones en campo. Se evaluaron parámetros como la frecuencia de fallas, el tiempo medio entre fallas (MTBF), el tiempo medio de reparación (MTTR) y la eficacia global de los equipos (OEE), a la luz de los principios del Mantenimiento Productivo Total (TPM). Los resultados indican que la ausencia de un sistema estructurado de gestión del mantenimiento contribuye significativamente a la ocurrencia de paradas no programadas, afectando negativamente la disponibilidad de los equipos y el desempeño global del sistema productivo. La aplicación sistemática de prácticas basadas en TPM demostró potencial para la reducción de fallas, la mejora de los indicadores de desempeño y el aumento de la confiabilidad operativa del equipo analizado. Se concluye que la implementación de una gestión del mantenimiento orientada por indicadores y alineada con los principios del TPM es esencial para optimizar el desempeño operativo



en las industrias refractarias, contribuyendo a la reducción de los costos operativos, al incremento de la eficiencia productiva y a una mayor sostenibilidad de los procesos industriales.

Palabras clave: TPM. Indicadores de Mantenimiento. Industria Refractaria. OEE. Eficiencia Operativa.



1 INTRODUÇÃO

A manutenção desempenha um papel estratégico dentro das organizações industriais, sendo um fator determinante para a competitividade e sustentabilidade dos processos produtivos. Com o avanço das tecnologias e o aumento das exigências por eficiência e qualidade, a gestão da manutenção passou de uma atividade corretiva para uma abordagem planejada e integrada, alinhada aos objetivos da empresa. No contexto das indústrias refratárias, a confiabilidade dos equipamentos é crucial, uma vez que falhas podem comprometer não apenas o fluxo produtivo, mas também a integridade dos produtos e a segurança dos colaboradores. O elevador de canecas, componente essencial no transporte vertical de matérias-primas, é frequentemente sujeito a desgastes e falhas que exigem atenção sistemática e estratégias de manutenção adequadas. Assim, compreender as causas e os impactos dessas falhas torna-se essencial para aprimorar a disponibilidade do equipamento, reduzir custos e aumentar a eficiência operacional.

1.1 OBJETIVO GERAL

1.1.1 Analisar

O sistema de manutenção aplicado ao elevador de canecas de uma indústria refratária, identificando falhas recorrentes, seus impactos na produção e propondo melhorias que contribuam para a eficiência e confiabilidade do equipamento.

1.2 OBJETIVO ESPECÍFICO

- Identificar os principais tipos de manutenção aplicáveis ao equipamento e suas características.
- Levantar as causas mais comuns de falhas no elevador de canecas e seus efeitos no processo produtivo.
- Analisar os custos e impactos das falhas sobre a disponibilidade do sistema.
- Propor melhorias no planejamento e controle das atividades de manutenção, buscando maior confiabilidade e redução de paradas.

1.3 JUSTIFICATIVA

A escolha do elevador de canecas como objeto de estudo justifica-se pela sua importância no fluxo produtivo da indústria refratária e pela frequência de falhas que afetam diretamente a eficiência da linha. O aprimoramento da gestão da manutenção desse equipamento pode resultar em benefícios significativos, como a redução de custos operacionais, o aumento da vida útil dos componentes e a elevação dos índices de desempenho produtivo. Além disso, o estudo contribui para o fortalecimento da cultura de manutenção planejada e contínua dentro da organização, alinhando-se às práticas modernas de gestão da qualidade e produtividade industrial.



2 REFERENCIAL TEÓRICO

A manutenção industrial pode ser compreendida como o conjunto de ações técnicas e administrativas destinadas a garantir que os equipamentos, instalações e sistemas mantenham suas funções dentro de padrões aceitáveis de desempenho e segurança (XENOS, 1998). De acordo com Slack et al. (2019), a manutenção é um elemento essencial do desempenho operacional, sendo determinante para a confiabilidade, a disponibilidade e a produtividade dos processos industriais.

Historicamente, a manutenção evoluiu de um modelo reativo, centrado na correção de falhas, para abordagens cada vez mais estratégicas, integradas e orientadas à prevenção e melhoria contínua (CAMPOS, 2004). Essa evolução pode ser observada em cinco principais fases: corretiva, preventiva, preditiva, autônoma e produtiva total (TPM).

- **Manutenção corretiva:** é caracterizada pela execução de reparos apenas após a ocorrência da falha. Segundo Kardec e Nascif (2013), trata-se de um tipo de manutenção indispensável, porém onerosa, já que as falhas não planejadas geram paradas de produção, perda de produtividade e, em alguns casos, riscos à segurança.
- **Manutenção preventiva:** busca reduzir a probabilidade de falhas por meio de inspeções e substituições programadas de componentes, conforme tempo ou uso. Essa abordagem, conforme Moubray (1997), representa uma mudança de paradigma, pois visa atuar antes da falha, diminuindo custos indiretos e aumentando confiabilidade dos equipamentos.
- **Manutenção preditiva:** baseia-se em técnicas de monitoramento da condição dos equipamentos (como análise de vibração, termografia e ultrassom), permitindo prever falhas antes que elas ocorram (SOUZA; LOPES, 2016). Essa modalidade está alinhada ao conceito de manutenção inteligente, amplamente discutido no contexto da Indústria 4.0, em que sensores e sistemas digitais coletam dados em tempo real para otimizar intervenções (LEE et al., 2015).
- **Manutenção autônoma:** é um dos pilares da TPM e envolve a participação direta dos operadores nas atividades de manutenção básica, como limpeza, inspeção e lubrificação (NAKAJIMA, 1988). Essa prática promove senso de responsabilidade, reduz falhas simples e fortalece a cultura de cuidado com os equipamentos.

Por fim, a Manutenção Produtiva Total (TPM) surge como uma filosofia que integra a manutenção à estratégia de produção, buscando zero falhas, zero defeitos e zero acidentes. Segundo Suzaki (1993), a TPM amplia o papel da manutenção de uma função de suporte para uma atividade estratégica, estimulando a melhoria contínua e a colaboração entre todos os setores da empresa.

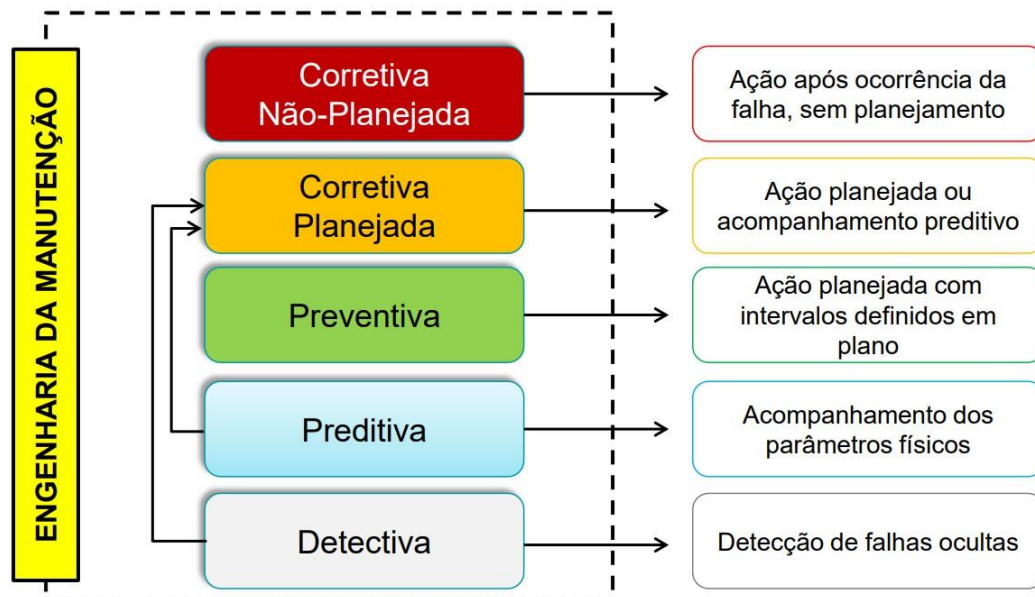
No cenário atual, a manutenção é entendida como um fator estratégico dentro das organizações industriais, especialmente em sistemas produtivos de alta complexidade, como os encontrados em indústrias refratárias, vemos na Figura 1 uma explicação clara de como os tipos de manutenção são divididos. O foco não se limita à correção de falhas, mas se estende à criação de



processos sustentáveis, confiáveis e eficientes, que assegurem a continuidade operacional e a competitividade do negócio.

Figura 1 – Os tipos de manutenção

Tipos de Manutenção



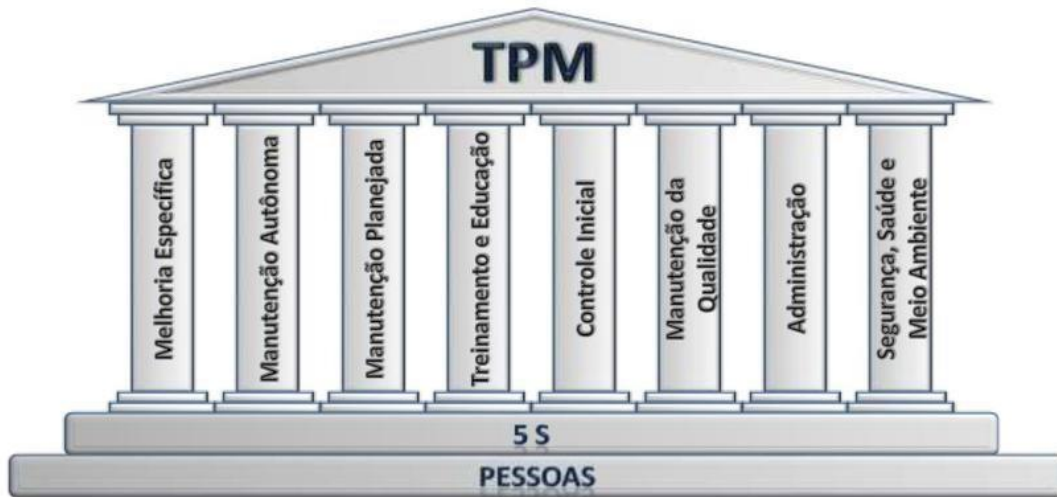
Fonte: Amaral (2025)

2.1 TOTAL PRODUCTIVE MAINTENANCE (TPM) E SEUS PILARES

A TPM é uma metodologia de gestão da manutenção criada no Japão na década de 1970, com o objetivo de maximizar a eficiência dos equipamentos, reduzir falhas e perdas, e envolver toda a organização no cuidado com os ativos produtivos (NAKAJIMA, 1989), a estrutura da metodologia é dividida conforme vemos na Figura 2. Diferente da manutenção tradicional, a TPM integra operadores, equipes de manutenção e gestores em um esforço coletivo para aumentar a disponibilidade, a confiabilidade e o desempenho global dos equipamentos, além de reduzir custos e melhorar a competitividade (SLACK et al., 2019).



Figura 2 – Os pilares do sistema TPM



Fonte: Bruno Luciano – Abecon (2025)

O TPM é estruturado em oito pilares principais:

- I. **Manutenção Autônoma:** Foca no envolvimento dos operadores em atividades básicas de conservação, como limpeza, lubrificação e inspeção. Esse pilar desenvolve senso de responsabilidade e ajuda a prevenir falhas simples (PINTO; XAVIER, 2001).
- II. **Manutenção Planejada:** Organiza atividades preventivas e preditivas com base em dados históricos de falhas e indicadores de desempenho, reduzindo paradas inesperadas e aumentando a disponibilidade dos equipamentos (SLACK et al., 2019).
- III. **Melhoria Específica (Kaizen):** Busca identificar e eliminar as principais fontes de perdas e desperdícios, aumentando a eficiência global dos equipamentos e elevando o OEE (MIGUEL; RENTES, 2002).
- IV. **Educação e Treinamento:** Capacita continuamente operadores e equipes de manutenção, garantindo habilidades técnicas e gerenciais necessárias para a efetividade do TPM (SUZUKI, 1994).
- V. **Gestão Inicial (*Early Management*):** Aplica práticas de manutenção desde a fase de projeto e aquisição de novos equipamentos, reduzindo falhas de concepção e facilitando a operação futura (NAKAJIMA, 1989).
- VI. **Controle da Qualidade:** Previne defeitos e falhas que possam comprometer a produção, garantindo que os produtos estejam em conformidade e integrando a manutenção ao processo produtivo (SLACK et al., 2019).
- VII. **Segurança, Saúde e Meio Ambiente (SSMA):** Prioriza práticas seguras e sustentáveis, prevenindo acidentes e minimizando impactos ambientais (MIGUEL; RENTES, 2002).

TPM Administrativo (Eficiência em Áreas de Apoio): Estende os princípios do TPM para áreas de apoio e processos indiretos, como logística e compras, aumentando a eficiência global da organização (PINTO; XAVIER, 2001).



2.2 MANUTENÇÃO E IMPACTOS NA PRODUÇÃO

A gestão dos custos de manutenção é um dos pilares fundamentais para a sustentabilidade financeira e operacional de qualquer indústria. Conforme Xenos (1998), o custo total de manutenção engloba não apenas os gastos diretos com materiais, mão de obra e serviços, mas também os custos indiretos associados a paradas não programadas, perda de produtividade e retrabalho. Assim, o controle eficiente desses custos é essencial para garantir o equilíbrio entre confiabilidade, disponibilidade e viabilidade econômica dos equipamentos.

De acordo com Kardec e Nascif (2013), os custos de manutenção podem ser classificados em três grupos principais:

- Custos Diretos: relacionados às atividades de reparo, inspeção e substituição de componentes;
- Custos Indiretos: que incluem o impacto das paradas na produção, perdas de eficiência e custos administrativos;
- E análise de falhas recorrentes;
- Custos de Falhas: que correspondem às perdas resultantes da indisponibilidade do equipamento e aos prejuízos decorrentes de falhas não previstas.

No contexto da indústria refratária, esses custos assumem grande relevância, pois a interrupção de processos contínuos, como a preparação e transporte de matérias-primas, afeta diretamente o desempenho global da produção. A mensuração desses impactos pode ser feita por meio do indicador OEE (*Overall Equipment Effectiveness*), que avalia a eficácia global dos equipamentos considerando três variáveis: disponibilidade, desempenho e qualidade (NAKAJIMA, 1988).

O elevador de canecas, objeto deste estudo, evidencia a importância de um planejamento de manutenção eficiente para minimizar custos e maximizar o tempo de operação. Segundo Slack et al. (2019), a gestão eficaz da manutenção requer o monitoramento constante de indicadores-chave, permitindo a identificação de padrões de falhas e o estabelecimento de estratégias de melhoria contínua.

Investimentos em programas de manutenção preventiva e preditiva tendem a reduzir custos a médio e longo prazo, uma vez que evitam falhas catastróficas e prolongam a vida útil dos equipamentos (SUZAKI, 1993). Dessa forma, o foco da manutenção moderna não está apenas na correção de falhas, mas na otimização de recursos e no aumento da confiabilidade operacional.

No caso específico do elevador de canecas, a quantificação dos custos de parada e de substituição de componentes críticos permite avaliar a viabilidade econômica das ações de manutenção. Essa abordagem possibilita priorizar intervenções com base em dados técnicos e financeiros, integrando a manutenção ao processo decisório da gestão industrial.



2.3 FERRAMENTAS DA QUALIDADE APLICADAS À MANUTENÇÃO

As ferramentas da qualidade são instrumentos essenciais para a análise, o controle e a melhoria contínua dos processos industriais. Sua aplicação na área de manutenção permite identificar causas de falhas, reduzir desperdícios e aumentar a confiabilidade dos equipamentos, promovendo uma abordagem sistemática para a resolução de problemas (CAMPOS, 2004).

De forma geral, as ferramentas da qualidade têm como finalidade transformar dados em informações úteis à tomada de decisão, favorecendo a gestão baseada em evidências. Segundo Paladini (2012), essas ferramentas contribuem para padronizar procedimentos e garantir que as ações corretivas e preventivas estejam alinhadas com os objetivos estratégicos da organização.

Entre as ferramentas mais utilizadas na gestão da manutenção estão o Diagrama de Ishikawa, o 5W2H e o Ciclo PDCA. Cada uma delas atua em uma etapa distinta do processo de melhoria, desde a identificação das causas até a implementação e o monitoramento das soluções.

O Diagrama de Ishikawa, também conhecido como Diagrama de Causa e Efeito, foi desenvolvido por Kaoru Ishikawa na década de 1960 com o objetivo de identificar e classificar as causas que contribuem para um determinado problema. Segundo Ishikawa (1985), a representação gráfica em formato de espinha de peixe permite visualizar de maneira clara as relações entre o problema central e suas possíveis origens, geralmente agrupadas nas categorias: máquina, método, material, mão de obra, meio ambiente e medição.

No contexto da manutenção industrial, o Diagrama de Ishikawa é amplamente aplicado para investigar causas de falhas recorrentes em equipamentos. Sua utilização no caso do equipamento da indústria refratária possibilitou identificar fatores que contribuíam para paradas não programadas, tais como desgaste excessivo de componentes, ausência de inspeções regulares e falhas de comunicação entre as equipes de operação e manutenção. A partir dessa análise, foi possível propor ações corretivas e preventivas, alinhadas aos princípios da melhoria contínua e da Manutenção Produtiva Total (TPM).

2.4 INDICADORES DE DESEMPENHO NA MANUTENÇÃO

Os indicadores de desempenho são instrumentos fundamentais para avaliar a eficácia das ações de manutenção e sua contribuição para os resultados organizacionais. Segundo Kardec e Nascif (2013), a mensuração de desempenho na manutenção permite monitorar a eficiência dos equipamentos, identificar gargalos operacionais e direcionar melhorias baseadas em dados objetivos.

De acordo com Xenos (1998), os principais indicadores utilizados na manutenção industrial são: MTTR (*Mean Time To Repair*), MTBF (*Mean Time Between Failures*), Disponibilidade, Confiabilidade e OEE (*Overall Equipment Effectiveness*). Esses índices permitem mensurar o



desempenho técnico dos ativos e alinhar as estratégias de manutenção aos objetivos de produtividade e qualidade da empresa.

O MTTR indica o tempo médio gasto para restaurar um equipamento ao seu estado operacional após uma falha. Ele reflete a agilidade das equipes de manutenção e a eficiência dos processos de reparo. Valores reduzidos de MTTR representam maior capacidade de resposta e menor impacto nas operações (KARDEC; NASCIF, 2013).

O MTTR (Mean Time To Repair) representa o tempo médio necessário para restaurar o equipamento após a ocorrência de uma falha, sendo calculado pela seguinte expressão:

$$MTTR = T_{\text{reparo}} / N_{\text{falhas}} \quad (1)$$

Em que:

T_{reparo} corresponde ao tempo total de reparo no período analisado;

N_{falhas} representa o número total de falhas ocorridas.

O MTBF (Mean Time Between Failures) indica o tempo médio de operação entre falhas sucessivas e é determinado por:

$$MTBF = T_{\text{operacao}} / N_{\text{falhas}} \quad (2)$$

Em que:

T_{operacao} corresponde ao tempo total de operação do equipamento no período considerado;

N_{falhas} representa o número total de falhas registradas.

A Disponibilidade é a relação entre o tempo em que o equipamento permanece em operação e o tempo total programado, sendo expressa por:

$$\text{Disponibilidade} = MTBF / (MTBF + MTTR) \times 100 \quad (3)$$

A Confiabilidade expressa a probabilidade de um equipamento desempenhar sua função sem falhas durante um determinado período sob condições específicas de operação, sendo calculada por:

$$R(t) = e^{(-t / MTBF)} \quad (4)$$



Em que:

t corresponde ao tempo considerado de operação;

MTBF representa o tempo médio entre falhas.

O indicador Performance é determinado pela relação entre a produção real e a produção teórica:

$$\text{Performance} = \text{Producao_real} / \text{Producao_teorica} \quad (5)$$

O indicador Qualidade é expresso pela seguinte relação:

$$\text{Qualidade} = \text{Pecas_boas} / \text{Pecas_totais_produzidas} \quad (6)$$

O OEE (Overall Equipment Effectiveness) é calculado por meio do produto dos três indicadores:

$$\text{OEE} = \text{Disponibilidade} \times \text{Performance} \times \text{Qualidade} \quad (7)$$

No caso do elevador de canecas na Indústria Refratária X, a utilização de indicadores como MTTR, MTBF e OEE possibilita avaliar de forma objetiva o impacto das falhas e a eficiência das intervenções de manutenção. Essa análise auxilia na priorização de recursos, na redução de paradas não programadas e no aumento da produtividade global do sistema.

Portanto, o uso sistemático de indicadores de desempenho é indispensável para uma gestão de manutenção moderna e orientada a resultados. Além de possibilitar o acompanhamento contínuo da performance dos equipamentos, eles promovem a melhoria contínua e sustentam decisões estratégicas baseadas em dados confiáveis.

2.5 GESTÃO DA QUALIDADE TOTAL (TQM) E ISO 9001

A Gestão da Qualidade Total (TQM – *Total Quality Management*) é uma filosofia gerencial que busca a excelência organizacional por meio da melhoria contínua dos processos, do envolvimento de todos os colaboradores e da satisfação do cliente. Segundo Feigenbaum (1994), a TQM consiste em integrar qualidade a todos os níveis da organização, tornando-a uma responsabilidade compartilhada, não restrita apenas aos setores de inspeção ou controle.

De acordo com Juran (1990), a TQM baseia-se em três pilares fundamentais: planejamento da qualidade, controle da qualidade e melhoria da qualidade. O planejamento visa definir padrões e metas alinhados à estratégia organizacional; o controle envolve o monitoramento dos resultados e



correção de desvios; e a melhoria contínua busca o aperfeiçoamento constante dos processos, produtos e serviços. Essa abordagem está diretamente associada à competitividade das empresas no mercado globalizado.

Na área de manutenção industrial, a TQM contribui para a padronização de processos, a redução de variabilidade e o aumento da confiabilidade dos equipamentos. De acordo com Slack et al. (2019), o foco na qualidade total promove a integração entre manutenção, produção e engenharia, garantindo que os equipamentos operem dentro das especificações e que as falhas sejam tratadas como oportunidades de aprendizado organizacional.

A norma ISO 9001, publicada pela *International Organization for Standardization* (ISO), é um dos principais instrumentos de suporte à implementação da TQM. Ela estabelece requisitos para um Sistema de Gestão da Qualidade (SGQ), permitindo que as organizações demonstrem sua capacidade de fornecer produtos e serviços que atendam consistentemente às exigências dos clientes e regulamentações aplicáveis (ABNT NBR ISO 9001:2015).

Entre os princípios fundamentais da ISO 9001 estão: foco no cliente, liderança, engajamento das pessoas, abordagem de processos, melhoria contínua, tomada de decisão baseada em evidências e gestão de relacionamento com partes interessadas (ISO, 2015). Esses princípios servem de guia para alinhar a gestão da manutenção aos objetivos estratégicos da organização, promovendo confiabilidade, eficiência e sustentabilidade operacional.

No contexto do elevador de canecas, a aplicação dos princípios da TQM e da ISO 9001 permite uma abordagem sistemática na identificação e solução de falhas, com foco na prevenção em vez da correção. A padronização dos procedimentos de inspeção, o registro sistemático de dados no sistema MES e o acompanhamento de indicadores de desempenho são práticas alinhadas aos requisitos de um SGQ robusto.

Além disso, a integração entre manutenção e qualidade proporciona ganhos significativos de produtividade, redução de custos de retrabalho e aumento da satisfação dos clientes internos e externos. Segundo Paladini (2012), a gestão da qualidade é um processo contínuo de aprendizado, em que cada falha ou desvio se transforma em uma oportunidade de aprimoramento dos processos produtivos.

Portanto, a adoção de práticas de Gestão da Qualidade Total e conformidade com a ISO 9001 fortalecem a cultura de excelência organizacional, consolidando a manutenção como um pilar estratégico para o desempenho global da empresa.

3 METODOLOGIA

A presente pesquisa caracteriza-se como um estudo de caso aplicado, com abordagem qualitativa e descritiva, desenvolvido em uma indústria do ramo de refratários. O estudo teve como



foco a implementação dos princípios da TPM no elevador de canecas, equipamento essencial para o transporte vertical de materiais no processo produtivo.

Segundo Gil (2019), o estudo de caso permite uma análise aprofundada de um fenômeno dentro de seu contexto real, sendo adequado para compreender os efeitos de uma intervenção organizacional como a aplicação da TPM. A abordagem qualitativa possibilitou observar e interpretar os resultados de forma contextualizada, considerando fatores humanos, técnicos e organizacionais.

A coleta de dados foi conduzida por meio de observação direta no ambiente fabril, complementada por entrevistas informais com operadores e supervisores de manutenção. Além disso, foram analisados registros de produção, como o caderno de anotações e o relatório “hora a hora”, que permitem o monitoramento das paradas e do desempenho operacional. As informações obtidas serviram de base para a identificação dos principais problemas operacionais e para o acompanhamento das melhorias resultantes da implementação da TPM.

A metodologia de trabalho seguiu as etapas sugeridas por Nakajima (1988), adaptadas à realidade da empresa:

1. Diagnóstico inicial do equipamento e levantamento de falhas;
2. Definição de metas de desempenho e confiabilidade;
3. Padronização das rotinas de inspeção e limpeza;
4. Treinamento da equipe operacional; e
5. Monitoramento contínuo dos resultados.

Para a análise dos resultados, foram utilizados indicadores de desempenho como MTBF, MTTR e índice de disponibilidade do equipamento, comparando os valores obtidos antes e depois da implementação. As informações foram interpretadas com base em referenciais teóricos sobre manutenção produtiva total e gestão da qualidade, como os de Slack et al. (2019) e Paladini (2012).

A adoção dessa metodologia permitiu uma avaliação sistemática dos impactos da TPM sobre a confiabilidade e eficiência do elevador de canecas, destacando a importância da integração entre manutenção, produção e qualidade para a competitividade industrial.

4 ESTUDO DE CASO: APLICAÇÃO DO TPM EM UM ELEVADOR DE CANECAS

O presente estudo de caso aborda a aplicação da TPM em um elevador de canecas, equipamento demonstrado na Figura 3, localizado na planta de mistura de matérias primas em uma indústria refratária. O elevador de canecas é um equipamento essencial no transporte vertical de materiais em pó ou granulares, neste caso, matérias-primas como alumina, resinas e aditivos utilizados na fabricação de tubos refratários para lingotamento contínuo de aço. Sua função principal é transportar os materiais da base da planta até silos ou moinhos localizados em níveis superiores, garantindo o fluxo contínuo da produção.



O elevador de canecas é composto por diversos elementos críticos, incluindo correias ou correntes transportadoras, caçambas (ou canecas) fixadas ao sistema de elevação, polias motrizes e de retorno, motores, redutores e dispositivos de segurança. Cada componente desempenha um papel essencial para o transporte eficiente e seguro do material. Qualquer falha em um desses elementos pode provocar paradas inesperadas, interrompendo a alimentação dos silos e moinhos, gerando atrasos na produção, aumento de custos com manutenção corretiva e perdas de material. Além disso, paradas prolongadas podem impactar negativamente outros processos integrados na planta, comprometendo a confiabilidade do sistema produtivo como um todo.

Dada a criticidade do equipamento, a aplicação do TPM se torna estratégica, permitindo monitoramento constante, manutenção preventiva e preditiva, redução de falhas e aumento da disponibilidade operacional. Com isso, a planta garante maior eficiência, confiabilidade no fluxo de produção e redução de custos associados a paradas não planejadas.

Figura 3: Elevador de canecas



Fonte: Elaborado pelo autor (2025)

Sua função é essencial para a eficiência operacional, uma vez que assegura o abastecimento regular das etapas subsequentes, evitando interrupções e perdas de produtividade. O sistema é composto por uma correia com canecas fixadas em intervalos regulares, que realizam o transporte do material de forma sequencial e contínua.

Foram observadas falhas recorrentes, como desalinhamento da correia, desgaste e quebra das canecas e acúmulo de material na base do elevador. Tais ocorrências estão associadas, em grande parte, à abrasividade dos materiais transportados, à falta de manutenção preventiva e a ajustes inadequados. O presente estudo visa analisar essas falhas e propor melhorias que aumentem a confiabilidade e a disponibilidade do equipamento.



4.1 LEVANTAMENTO DE DADOS

O levantamento de dados foi realizado a partir da análise de relatórios de manutenção corretiva e preventiva bem como do histórico de paradas do elevador de canecas demonstrados nas Figuras 4 e 5, mantendo o nome dos colaboradores ocultos por questões de confidencialidade, estes dados se encontram disponíveis no sistema interno da empresa.

Figura 4 - Registros de paradas de manutenção

DATA	HORA INICIAL	HORA FINAL	MAQUINÁRIO	OCORRÊNCIA	TURNOS
12/03/2024	22:12	00:20	PLANTA MIX R3 "Desligada"	Aquecimento de Planta	C
13/03/2024	22:30	22:35	" "	Queda de Luz	C
13/03/24	00:23	00:43	HISTORADOR ERICH	FALHA NA INJEÇÃO DE V100	C
13/03/24	02:00	06:00	" "	FALHA DE MATERIA PRIMA	C
14/03/24	07:30	09:00	Setup	Setup para 1126 PPTS 1043	A
14/03/24	09:10	12:45	MES	AGUARDANDO TESTE DO MES	A
14/03/24	12:49	14:00	Gabo KA	Desca - Laminada	A
14/03/24	22:12	22:30	SKIP	FALHA DE DESCARGAMENTO AUTOMÁTICO NO ASSINHO ERICH	C
14/03/24	03:40	04:40	Elevador de canecas	CONVEYOR RESTRICTION FAULT	C
14/03/24	04:50	05:00	" "	14:3045 - Para planta aquecedor "QUEDA DE LUZ"	C
15/03/24	05:45	09:20	FIREMAN	Parada na injeção	A
15/03/24	10:12	12:00	ERICH	QUEDA DO OXIGENIO	A
15/03/24	12:00	13:00	Tubo sensor	AJUSTE NA VIBRAÇÃO DA TAMPA	A

Fonte: Capturada pelo autor (2025)

Figura 5 – Registros de paradas de manutenção (nomes ocultos por confidencialidade)

DATA		ACOMPANHAMENTO DIARIO				
29/07/2025		3º TURNO - EQUIPE C LIDER: [OCULTO] OPERADORES: [OCULTO]				
META DO TURNO: 20 batches		MIX: [OCULTO]				
Hora	Meta	Real	PESO DOS BATCHES			
22:00	0	0				
23:00	2	1	856			
0:00	3	3	865	864	864	
1:00	0	4	872	873	873	877
2:00	1	0				
3:00	2	2	862	866		
4:00	0	4	873	867	882	875
5:00	3	4	869	877	865	866
6:00	3	0				
6:20	1	0				
Total Real:		18	15,646 kg		HORAS DE PARADAS: 3,02	
Rejeito: zero		OBS: AJUSTE MANUAL - 2X				
Absentismo: zero		OBS: ZERO				
ACOMPANHAMENTO DE PARADAS						
Hora Inicial	Hora Final	Hora Parada	Equipamento / Falha	Ocorrência / PARADAS PROGRAMADAS		
22:00	22:20	0:20	DDS	PARADA PROGRAMADA		
22:25	23:47	1:22	SCRUIV FEEDER	DESARME DA REDUTORA POR COMPACTAÇÃO DE MATERIAL		
1:30	2:00	0:30	JANTAR	PARADA PROGRAMADA		
2:00	2:30	0:30	VALVULA ROTATIVA	DESARME POR COMPACTAÇÃO DE MATERIAL		
2:30	2:50	0:20	PIT DO ELEVADOR DE CANECAS	RETIRADA DOS TAMBORES DE SUCATA		
ATENÇÃO AOS APONTAMENTOS NO VERSO DA FOLHA!						

Fonte: Capturada pelo autor (2025)



Foram conduzidas entrevistas com operadores e técnicos de manutenção, com o objetivo de identificar as principais falhas observadas e compreender as condições operacionais do equipamento.

Além disso, foram efetuadas observações de campo durante o funcionamento do elevador, permitindo verificar o comportamento do sistema em operação e registrar eventuais anomalias. Em paralelo, foram analisadas planilhas de indicadores de desempenho, como o OEE e indicadores de qualidade como a planilha de rejeito demonstrada na Figura 6, possibilitando correlacionar os registros de falhas com o impacto na eficiência, qualidade e na disponibilidade do equipamento.

Figura 6 – Registro de rejeitos do elevador de canecas

Tipo	Código	Data	Peso(Kg)	Origem
SUCATA LIMPEZA	MX_FG_LIMPEZA	11/02/2025	2910	Limpeza do Pit do elevador de canecas
SUCATA LIMPEZA	MX_FG_LIMPEZA	07/04/2025	5893	Limpeza do Pit do elevador de canecas
SUCATA LIMPEZA	MX_FG_LIMPEZA	07/05/2025	5138	Limpeza do Pit do elevador de canecas
SUCATA LIMPEZA	MX_FG_LIMPEZA	13/05/2025	1347	Limpeza do Pit do elevador de canecas
SUCATA LIMPEZA	MX_FG_LIMPEZA	03/06/2025	4878	Limpeza do Pit do elevador de canecas
SUCATA LIMPEZA	MX_FG_LIMPEZA	17/06/2025	1565	Limpeza do Pit do elevador de canecas
SUCATA LIMPEZA	MX_FG_LIMPEZA	01/07/2025	5275	Limpeza do Pit do elevador de canecas
SUCATA LIMPEZA	MX_FG_LIMPEZA	05/07/2025	5657	Limpeza do Pit do elevador de canecas
SUCATA LIMPEZA	MX_FG_LIMPEZA	23/07/2025	1812	Limpeza do Pit do elevador de canecas
SUCATA LIMPEZA	MX_FG_LIMPEZA	15/07/2025	3875	Limpeza do Pit do elevador de canecas
SUCATA LIMPEZA	MX_FG_LIMPEZA	24/07/2025	1500	Limpeza do Pit do elevador de canecas
SUCATA LIMPEZA	MX_FG_LIMPEZA	25/07/2025	1228	Limpeza do Pit do elevador de canecas
SUCATA LIMPEZA	MX_FG_LIMPEZA	28/07/2025	306	Limpeza do Pit do elevador de canecas
SUCATA LIMPEZA	MX_FG_LIMPEZA	30/07/2025	635	Limpeza do Pit do elevador de canecas
SUCATA LIMPEZA	MX_FG_LIMPEZA	30/07/2025	737	Limpeza do Pit do elevador de canecas
SUCATA LIMPEZA	MX_FG_LIMPEZA	12/08/2025	4735	Limpeza do Pit do elevador de canecas
SUCATA LIMPEZA	MX_FG_LIMPEZA	22/08/2025	615	Limpeza do Pit do elevador de canecas
SUCATA LIMPEZA	MX_FG_LIMPEZA	03/09/2025	570	Limpeza do Pit do elevador de canecas
Total			48676	

Fonte: Capturada pelo autor (2025)

4.2 DIAGNÓSTICO INICIAL

O diagnóstico foi realizado com base nos dados levantados. Para identificar as causas-raiz, foi utilizado o Diagrama de Ishikawa, conforme demonstrado na Figura 7. As causas foram agrupadas em seis categorias principais: Máquina, Método, Mão de obra, Materiais, Meio ambiente e Medição. Entre as principais causas destacam-se o desgaste de correias e caçambas, falhas em rolamentos e eixos, ausência de plano estruturado de manutenção, falta de treinamento dos operadores, qualidade insuficiente de peças de reposição e condições ambientais adversas, como poeira e alta temperatura.

A análise evidenciou a necessidade de adotar práticas sistematizadas de manutenção preventiva e autônoma, conforme os pilares do TPM, visando aumentar a confiabilidade e disponibilidade do equipamento.



Figura 7 – Diagrama de Ishikawa das falhas do elevador de canecas.



Fonte: Elaborado pelo autor (2025)

4.3 APLICAÇÃO DOS PRINCÍPIOS DO TPM

A aplicação dos princípios do TPM teve como objetivo aumentar a confiabilidade e disponibilidade do elevador de canecas, reduzindo paradas não planejadas e melhorando o desempenho operacional do equipamento. As ações foram desenvolvidas com base nos pilares da manutenção autônoma, manutenção planejada e desenvolvimento de pessoas.

Inicialmente, foram realizadas atividades de manutenção autônoma, envolvendo a capacitação dos operadores para a execução de inspeções básicas como: limpeza, lubrificação e identificação precoce de anomalias. Foram criados checklists diários de verificação, com o objetivo de padronizar as rotinas de inspeção e promover maior envolvimento da equipe operacional na conservação do equipamento.

Em paralelo, foi estruturado um plano de manutenção planejada, com base no histórico de falhas e nas recomendações dos fabricantes. Esse plano incluiu a definição de periodicidades de inspeção, reposição preventiva de componentes críticos (como correias, rolamentos e caçambas) e o registro sistemático das intervenções realizadas.

Também foi realizado um programa de treinamento voltado para operadores e técnicos de manutenção, com foco em boas práticas de operação, segurança e monitoramento de condições do equipamento. Essa ação reforçou o pilar de desenvolvimento de competências e contribuiu para a integração entre as áreas de operação e manutenção.

Por fim, foram padronizados os procedimentos de lubrificação, limpeza e alinhamento, e implementadas rotinas visuais de acompanhamento, como etiquetas de controle e painéis de indicadores de desempenho. Essas medidas fortaleceram a cultura de melhoria contínua e aumentaram a eficiência das atividades de manutenção.



4.4 INDICADORES DE DESEMPENHO

Os dados utilizados para o cálculo dos indicadores de manutenção e produção foram obtidos a partir de diferentes fontes integradas do sistema fabril. As informações de tempos de operação, eventos de parada e alarmes foram extraídas dos logs do SCADA/PLC, que registram automaticamente os estados do equipamento (ligado, parado, falha, microstop, reinício).

Os tempos de reparo e ordens de manutenção foram obtidos por meio do sistema CMMS, enquanto os dados de produção e quantidade de peças boas e rejeitadas foram extraídos dos relatórios do Controle de Qualidade, integrados ao MES (*Manufacturing Execution System*).

A partir desses registros, foram calculados os principais indicadores de desempenho do equipamento: MTTR, MTBF, Disponibilidade, Performance, Qualidade, OEE, Confiabilidade e Paradas Não Planejadas.

Para o período analisado equivalente a 30 dias de operação (720 horas programadas) consideraram-se dois cenários: antes e depois da implantação do TPM, com duas abordagens de contagem de falhas, conforme os critérios a seguir.

Tempo Médio para Reparo – MTTR (Eq. 1)

$$MTTR = \frac{\text{Tempo total de reparo}}{\text{Número de falhas}}$$

Antes:

$$MTTR = \frac{\text{Tempo total de reparo}}{\text{Número de falhas}}$$

Depois:

$$MTTR_{\text{depois}} = \frac{12}{10} = 1,2 \text{ h}$$

Tempo Médio Entre Falhas – MTBF (Eq. 2)



$$MTBF = \frac{\text{Tempo total de operação}}{\text{Número de falhas}}$$

Antes:

$$MTBF_{\text{antes}} = \frac{680}{20} = 34,0 \text{ h}$$

Depois:

$$MTBF_{\text{depois}} = \frac{708}{13} = 54,4 \text{ h}$$

Disponibilidade Operacional (Eq. 3)

$$\text{Disponibilidade} = \frac{MTBF}{MTBF + MTTR} \times 100$$

Antes:

$$\text{Disponibilidade}_{\text{antes}} = \frac{34}{34 + 2} \times 100 = 94,44\%$$

Depois:

$$\text{Disponibilidade}_{\text{depois}} = \frac{54,4}{54,4 + 1,2} \times 100 = 97,84\%$$

Confiabilidade (Eq. 4)

A confiabilidade é calculada pela função exponencial:



$$R(t) = e^{-t/MTBF}$$

Para $t = 720\text{h}$:

Antes:

$$R_{\text{antes}}(720) = e^{-720/34} = 6,36 \times 10^{-10} \approx 0\%$$

Depois:

$$R_{\text{depois}}(720) = e^{-720/54,4} = 1,78 \times 10^{-6} \approx 0,00018\%$$

Para $t = 168\text{h}$ (1 semana):

Antes:

$$R_{\text{antes}}(168) = e^{-168/34} = 0,0071 \Rightarrow 0,71\%$$

Depois:

$$R_{\text{depois}}(168) = e^{-168/54,4} = 0,0456 \Rightarrow 4,56\%$$

Performance (Eq. 5)

$$Performance = \frac{\text{Produção Real}}{\text{Produção Teórica}} \times 100$$

Antes:

$$Performance_{\text{antes}} = \frac{11.968}{13.600} \times 100 = 88,0\%$$



Depois:

$$Performance_{depois} = \frac{13.027}{14.160} \times 100 = 92,0\%$$

Qualidade (Eq. 6)

$$Qualidade = \frac{\text{Produtos Bons}}{\text{Total Produzido}} \times 100$$

Antes:

$$Qualidade_{antes} = \frac{11.400}{11.400 + 600} \times 100 = 95,0\%$$

Depois:

$$Qualidade_{depois} = \frac{13.230}{13.230 + 270} \times 100 = 98,0\%$$

Eficiência Global dos Equipamentos – OEE (Eq. 7)

$$OEE = Disponibilidade \times Performance \times Qualidade$$

Antes:

$$OEE_{antes} = 0,9444 \times 0,88 \times 0,95 = 0,7896 \Rightarrow 78,96\%$$

Depois:

$$OEE_{depois} = 0,9784 \times 0,92 \times 0,98 = 0,8821 \Rightarrow 88,21\%$$



4.5 ANÁLISE DOS RESULTADOS

Conforme compilado na Tabela 1, a análise dos resultados obtidos após a implementação dos princípios do TPM evidencia melhorias significativas no desempenho e na confiabilidade do elevador de canecas. A comparação entre os indicadores medidos antes e depois das ações permite constatar o impacto positivo das práticas adotadas.

Tabela 1 – Comparativo dos indicadores de desempenho antes e depois da aplicação do TPM

Indicador	Antes do TPM	Depois do TPM	Variação
Ocorrências (mensais)	20	10	-50%
Tempo total de reparo (h)	40,0	12,0	-70,0%
MTTR (h)	2,00	1,20	-40,0%
Tempo de operação (h)	680,0	708,0	+4,12%
MTBF (h)	34,00	54,40	+60,0%
Disponibilidade (%)	94,44%	97,84%	+3,40 p.p.
Performance (%)	88,00%	92,00%	+4,00 p.p.
Qualidade (%)	95,00%	98,00%	+3,00 p.p.
OEE (%)	78,96%	88,21%	+9,25 p.p.
Confiabilidade R(720h)	~0%	0,00018%	+0,00018 p.p.
Confiabilidade R(168h)	0,71%	4,56%	+3,85 p.p.
Paradas não planejadas (nº)	20	10	-50%

Fonte: Elaborado pelo autor (2025)

A análise dos indicadores evidencia melhorias significativas após a implementação da TPM no equipamento. O número de paradas não planejadas caiu 50%, enquanto o tempo médio para reparo (MTTR) foi reduzido de 2,00 h para 1,20 h, mostrando maior eficiência da equipe de manutenção e maior disponibilidade de peças sobressalentes.

O tempo médio entre falhas (MTBF) apresentou um aumento de 60%, evoluindo de 34,00 h para 54,40 h, indicando uma redução na frequência das falhas e maior estabilidade operacional do sistema.

Como resultado, a disponibilidade subiu de 94,44% para 97,84%, enquanto o OEE cresceu de 78,96% para 88,21%, evidenciando uma melhoria global na eficiência do equipamento.

Os dados de performance e qualidade, obtidos via SCADA/MES e Controle de Qualidade, demonstram uma operação mais estável e com menor índice de retrabalho. A produção rejeitada caiu de 600 para 270 peças, correspondendo à melhoria de 95% para 98% no indicador de qualidade. Esse avanço reflete o impacto direto das atividades de limpeza, inspeção e manutenção autônoma implementadas no âmbito do TPM.

Por fim, a confiabilidade (R(t)), quando calculada para o horizonte mensal de 720 h, tende a valores próximos de zero devido à diferença entre o MTBF e o período analisado. Entretanto, ao observar o comportamento semanal (168 h), o aumento de 0,71% para 4,56% confirma a maior



estabilidade do processo em intervalos operacionais curtos, que são os mais relevantes para a rotina fabril.

Dessa forma, os resultados demonstram que o TPM contribuiu diretamente para:

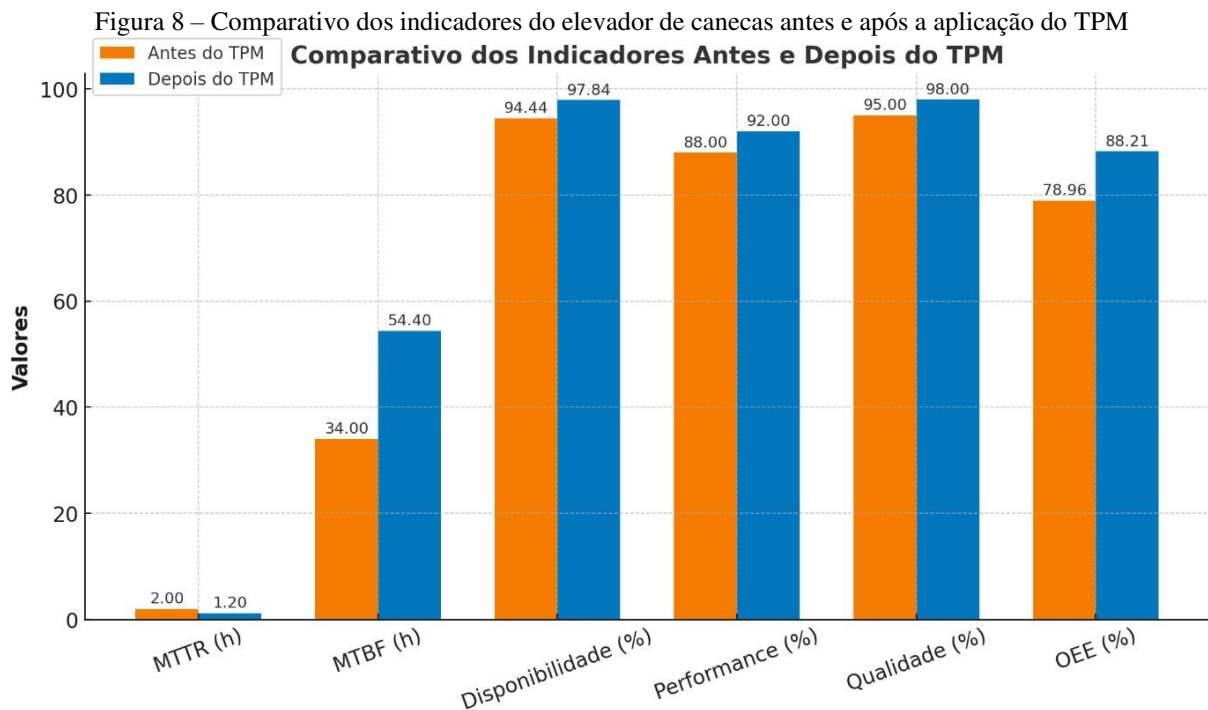
- Reduzir falhas recorrentes;
- Melhorar a eficiência global (OEE);
- Aumentar a confiabilidade e a qualidade;
- Consolidar uma cultura de manutenção preventiva e autônoma dentro da operação.

Os resultados demonstram que a implementação do TPM impactou positivamente a confiabilidade e a eficiência do elevador de canecas, por meio de:

- Padronização de rotinas e checklists, garantindo inspeções consistentes;
- Capacitação dos operadores, aumentando a identificação precoce de anomalias;
- Manutenção planejada e preventiva, reduzindo falhas inesperadas;

4.5.1 Monitoramento contínuo e registro de indicadores, permitindo análise e melhoria contínua

Em síntese, as ações de TPM resultaram em maior estabilidade operacional, redução de custos e aumento da produtividade, reforçando a importância da manutenção integrada e da participação ativa dos operadores no cuidado com o equipamento.



Fonte: Elaborado pelo autor (2025).



4.6 LIMITAÇÕES DO ESTUDO E PERSPECTIVAS FUTURAS

Apesar dos resultados positivos obtidos com a aplicação dos princípios da TPM no elevador de canecas, o estudo apresenta algumas limitações que devem ser consideradas na interpretação dos dados e no planejamento de ações futuras.

Uma das principais limitações está relacionada ao período de observação relativamente curto, o que pode não refletir completamente a variabilidade operacional do equipamento ao longo de diferentes condições de produção, turnos e lotes de materiais. Um acompanhamento mais prolongado permitiria validar a consistência dos resultados e avaliar a sustentabilidade das melhorias implementadas.

Outra limitação refere-se à disponibilidade de dados históricos. Em alguns casos, os registros de falhas e intervenções anteriores eram incompletos ou não padronizados, dificultando análises comparativas mais robustas. A ausência de dados detalhados sobre custos indiretos como perda de produtividade e retrabalho também restringiu a mensuração do impacto econômico total das ações de manutenção.

Adicionalmente, variações nas condições operacionais como mudanças de formulação das matérias-primas, turnos de operação e ajustes de processo podem ter influenciado os resultados dos indicadores de desempenho, especialmente o OEE e o MTBF. Essas variações devem ser consideradas em análises futuras para garantir maior precisão na correlação entre causa e efeito.

Outro ponto relevante diz respeito à limitação na integração de sistemas digitais de monitoramento. Embora o acompanhamento tenha sido realizado com base no sistema MES e registros manuais, a ausência de sensores de monitoramento contínuo (como vibração, temperatura e corrente elétrica) limitou a adoção de uma abordagem preditiva mais avançada, característica de ambientes produtivos alinhados à Indústria 4.0.

Com base nessas limitações, algumas ações futuras são recomendadas para dar continuidade e ampliar os resultados obtidos:

- Expansão da TPM para outros equipamentos críticos da planta, como misturadores, transportadores de correia e fornos, visando disseminar a cultura de manutenção produtiva total e ampliar os ganhos de disponibilidade e confiabilidade.
- Implantação de tecnologias de manutenção preditiva, integrando sensores IoT, sistemas de análise de dados e dashboards em tempo real, de modo a antecipar falhas e otimizar o planejamento de intervenções.
- Criação de um banco de dados estruturado de falhas e intervenções, garantindo rastreabilidade, padronização das informações e suporte à tomada de decisão baseada em evidências.
- Aprofundamento dos treinamentos e programas de capacitação para operadores e equipes de



manutenção, com foco em análise de falhas, lubrificação correta e identificação precoce de anomalias.

- Realização de estudos de viabilidade econômica detalhados, correlacionando os custos de manutenção com o impacto na produtividade e na eficiência energética, de forma a evidenciar o retorno sobre o investimento (ROI) do TPM.
- Recomenda-se a integração futura da abordagem TPM com tecnologias digitais da Indústria 4.0 como sensores IoT, monitoramento em tempo real, digital twin e análise preditiva baseada em machine learning para transformar a manutenção em um processo inteligente e conectado. Essa convergência permitirá previsões mais precisas de falhas, acionamento automático de ordens de trabalho no CMMS, redução do tempo de parada e otimização contínua das atividades autônomas e de manutenção planejada, alinhando o programa TPM às demandas atuais de eficiência e resiliência operacional.

Em síntese, embora o estudo tenha evidenciado ganhos significativos em confiabilidade, disponibilidade e redução de custos, há oportunidades de evolução na digitalização dos processos e na ampliação da cultura de manutenção integrada. A continuidade dessas ações poderá consolidar o TPM como um modelo sustentável de excelência operacional dentro da indústria refratária.

5 CONCLUSÃO

O presente estudo demonstrou que a implementação da TPM no elevador de canecas proporcionou melhorias significativas na confiabilidade e no desempenho do equipamento. Indicadores como disponibilidade, taxa de falhas e MTBF apresentaram aumento expressivo, refletindo a eficácia das práticas de manutenção preventiva, preditiva e autônoma aplicadas.

O envolvimento direto dos operadores mostrou-se essencial para a identificação precoce de problemas e redução de paradas não programadas, evidenciando a importância do engajamento humano no sucesso do TPM. Entretanto, limitações relacionadas ao engajamento dos operadores, variações operacionais e fatores externos, como disponibilidade de peças e condições específicas da fábrica, devem ser consideradas ao interpretar os resultados.

Apesar dessas restrições, os achados indicam que a continuidade e expansão da TPM podem gerar benefícios ainda maiores. A integração com soluções de Indústria 4.0, incluindo sensores inteligentes e monitoramento remoto, surge como uma oportunidade promissora para otimizar a manutenção, aumentar a confiabilidade e permitir decisões baseadas em dados reais do equipamento.

Em síntese, a aplicação do TPM trouxe ganhos operacionais tangíveis, reforçou a importância da participação ativa da equipe e serviu como base sólida para futuras melhorias e expansão para outros equipamentos da linha de produção.



REFERÊNCIAS

- ABNT. **NBR ISO 9001:2015**. Sistemas de gestão da qualidade: requisitos. Rio de Janeiro: Associação Brasileira de Normas Técnicas, 2015.
- CAMPOS, Vicente Falconi. *TQC: controle da qualidade total (no estilo japonês)*. 8. ed. Nova Lima: INDG Tecnologia e Serviços Ltda., 2004.
- FEIGENBAUM, Armand V. *Controle da qualidade total: gestão e sistemas*. São Paulo: Makron Books, 1994.
- GIL, Antonio Carlos. *Como elaborar projetos de pesquisa*. 6. ed. São Paulo: Atlas, 2019.
- ISHIKAWA, Kaoru. *Controle de qualidade total: à maneira japonesa*. Rio de Janeiro: Campus, 1985.
- JURAN, J. M. *Juran na liderança pela qualidade: um guia para executivos*. São Paulo: Pioneira, 1990.
- KARDEC, Alan; NASCIF, Júlio. *Manutenção: função estratégica*. 4. ed. Rio de Janeiro: Qualitymark, 2013.
- LEE, Jay; BAGHERI, Behrad; KAO, Hung-an. A cyber-physical systems architecture for Industry 4.0-based manufacturing systems. *Manufacturing Letters*, v. 3, p. 18–23, 2015.
- MIGUEL, Paulo A. Cauchick; RENTES, Antônio Fernando. Melhoria contínua e o papel do Seis Sigma: uma análise exploratória. *Revista Produção*, v. 12, n. 2, p. 36–49, 2002.
- MOUBRAY, John. *Reliability-centered maintenance (RCM II)*. Oxford: Butterworth-Heinemann, 1997.
- NAKAJIMA, Seiichi. *Introduction to TPM: total productive maintenance*. Cambridge: Productivity Press, 1988.
- PALADINI, Edson Pacheco. *Gestão da qualidade: teoria e prática*. 3. ed. São Paulo: Atlas, 2012.
- PINTO, José Carlos; XAVIER, Jorge. *Manutenção produtiva total: implantação e resultados*. Rio de Janeiro: Qualitymark, 2001.
- SLACK, Nigel; BRANDON-JONES, Alistair; JOHNSTON, Robert. *Administração da produção*. 9. ed. São Paulo: Atlas, 2019.
- SOUZA, Fábio Henrique de; LOPES, Paulo Sérgio. Manutenção produtiva total: aplicação prática em uma indústria de alimentos. *Revista Produção Online*, v. 16, n. 2, p. 482–507, 2016.
- SUZAKI, Kiyoshi. *O novo desafio japonês: o gerenciamento participativo*. São Paulo: Pioneira, 1993.
- SUZUKI, Tokutarō. *TPM in process industries*. Cambridge: Productivity Press, 1994.
- XENOS, Harilaus. *Gerenciamento pela qualidade total: fundamentos e aplicações*. Rio de Janeiro: Qualitymark, 1998.

