



MANUTENÇÃO PRODUTIVA TOTAL: IMPLANTAÇÃO DO PILAR DA MELHORIA FOCADA EM UMA EMPRESA DO SETOR TERCIÁRIO

Total Productive Maintenance: implementation of the focused improvement pillar in a tertiary sector company

Mantenimiento Productivo Total: implementación del pilar de mejora enfocado en una empresa del sector terciario

Diego Prati Goelzer¹, Morgana Pizzolato², & Rodrigo Schons Arenhart^{3*}

^{1 2 3} Universidade Federal de Santa Maria - UFSM

¹diego.prati@gmail.com ²morgana.pizzolato@gmail.com ^{3*}rodrigo.schons@acad.ufsm.br

ARTIGO INFO.

Recebido: 21.08.2025

Aprovado: 23.02.2026

Disponibilizado: 12.03.2026

PALAVRAS-CHAVE: Manutenção Produtiva Total; setor terciário; análise dos modos e efeitos de falha; FMEA; melhoria focada.

KEYWORDS: Total Productive Maintenance; tertiary sector; failure mode and effect analysis; FMEA; focused improvement.

PALABRAS CLAVE: Mantenimiento Productivo Total; sector terciario; análisis de modos de fallos y efectos; FMEA; mejora enfocada.

*Autor Correspondente: Arenhart, R. S.

RESUMO

Com o crescimento da importância do setor terciário na economia mundial, empresas necessitam de alternativas para se tornarem competitivas. A manutenção aumenta a eficiência e qualidade dos serviços prestados. Este estudo objetivou a implantação do pilar da melhoria focada da Manutenção Produtiva Total (MPT) em uma empresa do setor terciário, especificamente um centro automotivo especializado no serviço de troca de pneus. O método de pesquisa envolveu a aplicação de quatro etapas: diagnóstico da situação, *kick-off* e eliminação de pequenas falhas, identificação de modos e efeitos de falha, e determinação de fatores críticos da implantação. A aplicação do Índice de Rendimento Operacional Global (IROG) foi utilizado para o monitoramento quantitativo do processo, enquanto a condução da Análise dos Modos e Efeitos de Falha (FMEA – *Failure Mode and Effects Analysis*) proporcionou a definição da criticidade das etapas do processo e ações para bloqueio das possíveis causas de falha. O monitoramento por indicador, o comprometimento dos envolvidos, a comunicação e a adaptação ao contexto da empresa foram fatores críticos da implantação. Em estudos futuros recomenda-se adotar uma abordagem qualitativa para investigar os efeitos na qualidade do serviço e a implantação dos outros pilares da MPT.

ABSTRACT

With the growing importance of the tertiary sector in the world economy, companies need alternatives to become competitive. Maintenance increases the efficiency and quality of the services provided. This study aimed to implement the Focused Improvement pillar of Total Productive Maintenance (TPM) within a tertiary sector company, specifically an automotive center specializing in tire replacement. The research methodology comprised four sequential phases: initial diagnostic, (2) kick-off and elimination of minor failures, identification of process failure modes and their effects, and determination of critical implementation factors. The Overall Equipment Effectiveness (OEE) was employed to quantitatively monitor process evolution, while the Failure Mode and Effects Analysis (FMEA) was conducted to define the criticality of process steps and establish preventive actions to block potential failure causes. Monitoring by indicator, the commitment of those involved, communication, and adaptation to the company's context were critical factors in the implementation. In further studies, we recommend adopting a qualitative approach to investigate the effects on service quality and implementing other TPM pillars.

RESUMEN

Con la creciente importancia del sector terciario en la economía global, las empresas necesitan alternativas para ser competitivas. El mantenimiento aumenta la eficiencia y la calidad de los servicios prestados. Este estudio tuvo como objetivo implementar el pilar de mejora enfocada del Mantenimiento Productivo Total (MPT) en una empresa del sector terciario especializada en el reemplazo de neumáticos. La metodología consistió en cuatro etapas: diagnóstico situacional, lanzamiento con corrección de fallas menores, análisis de modos y efectos de falla, e identificación de factores críticos de implementación. El Índice de Rendimiento Operacional Global (IROG) se utilizó para el monitoreo cuantitativo, mientras que un Análisis de Modos de Falla y Efectos (FMEA) definió la criticidad de los pasos del proceso y estableció acciones preventivas para bloquear las causas raíz de las fallas. El monitoreo por indicador, la participación de las partes interesadas, la comunicación y la adaptación al contexto de la empresa fueron factores críticos en la implementación. En futuros estudios, recomendamos adoptar un enfoque cualitativo para investigar los efectos en la calidad del servicio y la implementación de los demás pilares del TPM.

INTRODUÇÃO

O setor terciário possui papel fundamental para sociedade e proporciona a transição para uma economia moderna e globalizada, visto que a industrialização depende do crescimento dos serviços de manufatura, infraestrutura, financeiros e comerciais (Fitzsimmons & Fitzsimmons, 2014). Segundo Corrêa e Ganesi (2019), o aumento da indústria de serviços é a evolução natural da economia, serviços estão presentes em organizações dos setores primário e secundário por meio de atividades de apoio e, conforme Ferrarezzo et al. (2017), é o setor com maior participação no Produto Interno Bruto (PIB) em países desenvolvidos.

O objetivo das organizações de serviços é atender as necessidades dos clientes de maneira consistente e confiável, mantendo-se competitivas no mercado. Entretanto, existem aspectos específicos, ligados a variações e incertezas na natureza dos serviços, que os diferencia dos outros setores e geram implicações na sua gestão e planejamento (Ferrarezzo et al., 2017).

Mesmo que serviços sejam intangíveis, as empresas dependem de elementos físicos como prédios, máquinas, equipamentos, ferramentas, entre outros (Lozada, 2016). Considerando características como a impossibilidade de estocagem e seu consumo instantâneo, quando se trata de serviços, a disponibilidade, capacidade e qualidade de produção destes equipamentos são fatores decisivos para entrega do valor ao cliente (Fitzsimmons & Fitzsimmons, 2014).

Por muito tempo a manutenção teve um papel secundário dentro das empresas e sua única função era manter os equipamentos funcionando. A partir de avanços tecnológicos na gestão estratégica e organizacional, verificou-se que investimentos em manutenção e melhoria de processo podem gerar ganhos produtivos tão relevantes quanto compra de novos equipamentos (Gregório et al., 2018).

Neste contexto, a Manutenção Produtiva Total (MPT), ou do inglês *Total Productive Maintenance* (TPM), é uma alternativa viável para empresas que procuram aumentar a eficiência dos seus equipamentos e reduzir custos de manutenção, uma vez que, conforme Slack et al. (2023), visa eliminar a variabilidade dos processos produtivos causada pelo efeito de quebras. Antunes et al. (2008) e Fogliatto & Ribeiro (2009) complementam essa constatação, sustentando que a MPT busca maximizar a eficácia global do sistema, reduzindo e eliminando falhas, através de uma abordagem ampla e integral.

Apesar dos benefícios evidentes da gestão da manutenção por meio da MPT, segundo Oliveira et al. (2017), existem barreiras que dificultam sua popularização, relacionadas principalmente a estrutura e cultura das empresas. Ainda segundo os autores, a MPT é mais custosa em relação a outras estratégias de manutenção, entretanto não necessita de uma estrutura prévia, sendo mais abrangente, simples e prática. Outro componente para a escolha da MPT foi sua adequação estratégica a empresas de diferentes portes e setores, oferecendo um método escalável e propondo o engajamento coletivo através de uma cultura de autocuidado dos operadores com os equipamentos. Nesse sentido, Arromba et al. (2021) defendem que a MPT seja considerada como um modelo de gestão a ser adotado em toda a organização, e não apenas uma ferramenta de manutenção.

Fatores como o comprometimento de todos os funcionários, principalmente da alta gerência e diretoria, são críticos para o sucesso da implantação. Ela pode ocorrer em organizações de diferentes tamanhos e tipos e utilizando a combinação de ferramentas e metodologias como a Análise dos Modos e Efeitos de Falha (FMEA) da Manutenção Centrada na Confiabilidade (MCC) (Ali, 2019; Azid et al., 2018; Setiawan & Purba, 2021).

A FMEA permite a identificação de potenciais falhas que podem ocorrer nos equipamentos e no processo produtivo e atua diretamente na raiz do problema. Ela permite aos responsáveis por sua aplicação avaliar os modos de falhas, suas causas e efeitos na qualidade do serviço ou produto final, propondo ações para minimizar e eliminar as possíveis falhas de acordo com sua criticidade (Fogliatto & Ribeiro, 2009).

Nesse contexto, o objetivo deste estudo é implementar o pilar da melhoria focada da MPT em uma empresa do setor terciário. Para isso, os objetivos específicos são: (i) compreender a situação da manutenção na empresa; (ii) propor indicadores para o monitoramento da implantação do pilar da melhoria focada; (iii) identificar os modos de falha e seus efeitos; (iv) identificar fatores críticos para implantação do pilar da melhoria focada e da FMEA.

REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

SETOR TERCIÁRIO

Serviços são atividades econômicas em que o produto não é um bem material e está associado a fatores intangíveis como conforto, diversão e conveniência e, na maioria das vezes, têm seu consumo imediatamente após sua produção. Pode ser a atividade principal de uma empresa, estar associado a um produto, proporcionar um diferencial competitivo ou ser uma atividade de apoio, tendo atualmente um papel importante no cenário econômico, fornecendo o apoio para o funcionamento da economia e sendo um agente facilitador da manufatura (Fitzsimmons & Fitzsimmons, 2014; Lozada, 2016).

Nas últimas décadas as atividades de prestação de serviços e comércio aumentaram a participação no PIB e ganharam maior importância na economia brasileira (Corrêa & Gianesi, 2019). No ano de 2020, o Valor Acrescentado Bruto (VAB) do setor terciário, o qual representa o valor de contribuição de cada atividade econômica no PIB, foi de 70,9% do total (Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística [IBGE], 2020).

Segundo Corrêa e Gianesi (2019) existem quatro características que diferenciam serviços de produtos: perecibilidade, intangibilidade, heterogeneidade e inseparabilidade/simultaneidade. A participação do cliente pode ser entendida como uma dessas características, que influencia diretamente na demanda, visto que sua chegada para realização do serviço é de acordo com seu desejo. Slack et al. (2023) diferencia os clientes, como insumos à produção (ou recursos transformados), enquanto instalações e a equipe de trabalho correspondem aos recursos em transformação.

Neste contexto, Siqueira (2005) delimita as características gerais dos serviços: (i) perecibilidade, relacionada a impossibilidade de estocagem para consumo posterior; (ii) intangibilidade, associada a falta de percepção objetiva por parte dos clientes; (iii) heterogeneidade, identifica que os serviços são variáveis, dependendo do local, condição ambiental e procedimentos executados em sua prestação; e (iv) inseparabilidade, que está vinculada a sua não separação com seus fornecedores.

É importante destacar que no ambiente de serviços variações de demanda ocasionam filas e esperas, impactando a linha produtiva e dificultando o ajuste da capacidade produtiva visando máxima utilização (Fitzsimmons & Fitzsimmons, 2014). Além disso, fatores como características das instalações, decoração, cores, ruídos e a forma de atendimento são de difícil mensuração e mudam em função de cada cliente, dificultando a gestão da qualidade em serviços (Corrêa & Gianesi, 2019).

Quanto maior a interação do cliente, maior o grau de variação de um serviço para outro e dessa maneira, a padronização de atendimento e treinamentos são imprescindíveis para assegurar a qualidade dos serviços. Ademais, a impossibilidade de estocagem dos serviços dificulta intervenções diretas para controle de qualidade. Enquanto um produto pode ser inspecionado antes da entrega, serviços utilizam sistemas de apoio de avaliação, que possuem maior nível de subjetividade e intangibilidade (Siqueira, 2005).

MANUTENÇÃO PRODUTIVA TOTAL

A Manutenção Produtiva Total surgiu no Japão após a Segunda Guerra Mundial, quando ferramentas de gestão e sistemas produtivos foram criados visando aumentar a produtividade e reestruturar o país. Ela procura melhorar o desempenho dos equipamentos, reduzir os custos de manutenção, aumentar a produtividade, garantir maior qualidade dos produtos e criar um ambiente de trabalho seguro e saudável para todos os funcionários (Almeida, 2015). Tortorella et al. (2024) sustentam que a TPM está em as práticas de manutenção mais adotadas, e que isto se deve a seus impactos positivos na redução do tempo de parada de equipamentos e na sua efetividade para as organizações que a adotam.

Conforme Jain et al. (2014), as estratégias de manutenção industrial podem ser segmentadas, de maneira geral, em: (i) manutenção corretiva, a forma mais simples e amplamente adotada no mundo até o início da década de 1950, em que as intervenções eram conduzidas apenas após a falha dos equipamentos; (ii) manutenção preventiva, introduzida na década de 1950, com foco em checagens dos equipamentos a fim de prevenir potenciais quebras e expandir seu tempo total de serviço; (iii) manutenção preditiva, utilizada para mensurar a condição física do equipamento sem a necessidade de intervenção direta, mas com o acompanhamento de determinados parâmetros, como temperatura, ruído e vibração; (iv) MCC, elaborada em torno de 1960, utiliza a lógica da otimização da confiabilidade dos equipamentos através da análise sistemática de suas funções, falhas potenciais e efeitos gerados; e (v) MPT, desenvolvida para otimizar a eficiência dos equipamentos, eliminando quebras e promovendo a manutenção autônoma a partir do envolvimento de toda a força de trabalho.

Nakajima (1988) indica que a MPT realiza o planejamento da manutenção utilizando técnicas preditivas e procura reeducar o funcionário por meio de treinamentos, focando na eliminação de perdas, as quais são barreiras para utilização dos equipamentos de maneira eficiente. Segundo Nakajima (1988) e Sutoni et al. (2019), os tipos de perdas que afetam o rendimento de processos produtivos podem ser classificados em: falha no equipamento, setups e ajustes, ociosidade e pequenas paradas, redução de velocidade, defeitos e redução de rendimento.

Nishal et al. (2018) demonstram que os benefícios diretos da MPT estão associados a aumento da produtividade e eficiência da operação de 1,5 a 2 vezes, redução de custos de produção de em torno de 30%, mais rapidez de resposta às reclamações e redução de acidentes. Além disso, Almeida (2015) indica que a participação de todos com a manutenção resulta em

autorrealização, aumento da atenção do trabalho e da satisfação por sua realização, melhoria no espírito de equipe e na comunicação entre os trabalhadores, além da aquisição de novos conhecimentos e habilidades.

Previamente ao início das primeiras atividades, a alta gerência organiza o planejamento da implantação contendo a sequência de atividades de treinamento e de promoção para conscientização dos benefícios, responsabilidades e o papel de cada um na implantação (Nakajima, 1988). Neste sentido, Arromba et al. (2021) defendem que uma das maiores dificuldades para a adoção de um programa de MPT está associada à fase de planejamento, gerando dificuldades significativas na fase de implantação. Isso reflete a importância de uma condução integrada da ferramenta, seguindo as atividades replicadas em aplicações bem-sucedidas. Estas atividades foram organizadas em 8 pilares interdependentes, com metas e objetivos específicos à cada um deles e a seguir eles são descritos com base em Nakajima (1988), Suzuki (1994) e Jain et al. (2014).

Segundo Nakajima, o pilar da melhoria focada procura identificar e eliminar perdas e desperdícios nos equipamentos ou processos críticos. São necessários esforços intensivos nos três meses iniciais da implantação para demonstrar resultados e aumento da confiança da equipe. É essencial o uso de ferramentas e técnicas para melhorias específicas como cinco porquês, indicador *Overall Equipment Effectiveness* (OEE) e FMEA (Jain et al., 2014).

Na manutenção autônoma, Jain et al. (2014) defende que atividades de manutenção mais simples, como limpeza, ajustes, apertos e lubrificação possam a ser realizadas pelos próprios operadores, mudando o conceito de que só podem ser realizadas pelo setor de manutenção e proporcionando senso de autonomia ao operador. É um dos paradigmas mais difíceis de serem quebrados e quanto mais antiga a organização, mais complicada sua implementação.

Na manutenção planejada são organizadas as atividades de manutenção de maior complexidade, as quais necessitam de conhecimento técnico e/ou ferramentas específicas (Nakajima, 1988). Este pilar procura manter as condições de funcionamento estabelecidas nos anteriores através de planos de manutenção apoiados em indicadores como o MTBF (*Mean Time Before Failure*) e MTTR (*Mean Time to Repair*) ao longo do ciclo de vida do equipamento contando com a elaboração de planilhas de manutenção preventiva (Jain et al., 2014).

As atividades de treinamento e educação tem por objetivo treinar e manter profissionais capazes de executar e difundir as práticas dos pilares da MPT (Suzuki, 1994). É considerado um dos pilares mais importantes para o sucesso da implantação a longo prazo, já que a partir dele é possível alinhar métodos de trabalho às metas organizacionais, conduzindo revisões e atualizações periódicas das necessidades de treinamentos (Jain et al., 2014).

Suzuki (1994) indica que a prevenção da manutenção é composta por atividades de melhoria antes mesmo da aquisição do equipamento e do início do seu ciclo de vida. Suas atividades envolvem a busca por mitigação de problemas com novos equipamentos, utilizando o conhecimento adquirido a partir da experiência com equipamentos já em uso, e a proposição de iniciativas para a melhoria da manutenção através da prevenção (Jain et al., 2014).

Manutenção da qualidade tem como principal objetivo manter a qualidade da produção (Nakajima, 1988). Por meio de ações tanto no processo produtivo quanto no equipamento, age nos componentes que afetam a qualidade e controla defeitos e variações nos produtos. Jain et al. (2014) salientam que este pilar busca atingir o zero defeito ao rastrear e solucionar problemas com os equipamentos e causa raiz dos desvios do processo.

A MPT administrativa estabelece atividades para aumentar a eficiência das funções administrativas e logísticas. Suzuki (1994) defende que a MPT não se limita a manufatura, visto que ela depende das outras atividades de suporte dentro das organizações e é possível aumentar a efetividade da produção melhorando a organização em sua totalidade. Jain et al. (2014) indicam o uso de ferramentas como os cinco sentidos (5S) para organizar e otimizar o ambiente de trabalho, em conjunto com a remoção de procedimentos operacionais desnecessários, com o foco em atividades que envolvam altos custos para a instituição.

O oitavo pilar, segurança e saúde ambiental, considera ações para prevenção e eliminação dos impactos ambientais negativos nas organizações. Análise de acidentes e treinamentos para prevenção são imprescindíveis para aumentar a confiança, segurança e rendimento dos trabalhadores (Suzuki, 1994). Dessa forma, pode-se alcançar um ambiente de trabalho seguro e apropriado aos colaboradores, com a eliminação de situações que possam causar acidentes ou lesões (Jain et al., 2014).

INDICADORES DE DESEMPENHO

Indicadores de desempenho são ferramentas para medir e avaliar o progresso e a eficácia de uma organização, equipe ou processo. Eles fornecem informações quantitativas e qualitativas que permitem uma análise objetiva do desempenho em relação a metas estabelecidas. Ao definir indicadores relevantes e acompanhá-los regularmente, as empresas podem identificar áreas de melhoria, tomar decisões baseadas em dados e ajustar suas estratégias para otimização dos resultados (Gregório et al., 2018). Fogliatto e Ribeiro (2009) indicam que todos os equipamentos estão sujeitos a perdas e, para melhorar o rendimento desses equipamentos, é preciso reconhecer, medir e eliminar essas perdas.

Silveira et al. (2019) identificam que o tempo é uma métrica importante na análise da confiabilidade de sistemas, permitindo quantificá-la. Neste sentido, os autores sustentam que os parâmetros mais utilizados estão envolvidos com o tempo de operação e o número de falhas, em que se destacam o tempo médio entre falhas (MTBF – *mean time between failures*), para itens reparáveis, e o tempo médio até falhar (*mean time to failure*), envolvendo itens não reparáveis.

Segundo Setiawan e Purba (2021) e Azid et al. (2018) o OEE, em português chamado de Índice de Rendimento Operacional Global (IROG) é o indicador frequentemente utilizado na implantação da MPT para medir a eficiência produtiva. De acordo com Nakajima (1988), ele é composto por três elementos: disponibilidade, desempenho e qualidade e sua multiplicação fornece uma ampla visão do processo produtivo, proporcionando oportunidades de melhoria e a eliminação de perdas. Vital e Lima (2020) destacam que a disponibilidade é o elemento do OEE mais impactado pelas atividades da MPT, seguido pelo desempenho, sendo o pilar da melhoria focada o maior responsável pelos ganhos.

A disponibilidade (Equação 1), segundo Pomorski (2004), é o tempo em que o equipamento está pronto e disponível para produção em relação ao tempo total disponível teórico. Ele considera falhas de equipamentos, manutenções não planejadas, setups e ajustes, quanto maior seu valor, maior é a capacidade dos equipamentos em trabalhar sem interrupções (Nakajima, 1988). Em termos práticos, segundo Kyrillos e Milreu (2024), a disponibilidade é depende tanto da manutenibilidade quanto da confiabilidade, estando vinculada ao MTTR e ao MTBF.

$$\text{Disponibilidade} = \frac{\text{Tempo disponível para produção}}{\text{Tempo total disponível}} \times 100 \quad (1)$$

O desempenho (Equação 2) compara a velocidade real de produção com a velocidade teórica esperada. Ele considera as perdas por ociosidade, pequenas paradas e redução de velocidade e avalia o quão eficiente o equipamento ou processo está produzindo em relação ao seu potencial máximo (Pomorski, 2004).

$$\text{Desempenho} = \frac{\text{Velocidade ideal teórica}}{\text{Velocidade real}} \times 100 \quad (2)$$

A qualidade (Equação 3), segundo Suzuki (1994), avalia a quantidade de produtos ou serviços dentro das especificações de qualidade estabelecidas. Ele considera a quantidade de produtos defeituosos produzidos e retrabalhos para medir capacidade do equipamento/processo de produzir de acordo com o padrão esperado.

$$\text{Qualidade} = \frac{\text{Quantidade produzida sem defeito}}{\text{Quantidade total produzida}} \times 100 \quad (3)$$

Segundo Nakajima (1988), as condições ideais para os elementos do indicador OEE são: disponibilidade maior que 90%, desempenho maior que 95% e taxa de qualidade maior que 99%, totalizando assim, o valor do OEE de 85%. Em estudo, Fam et al. (2018) demonstraram que os pilares da manutenção autônoma, manutenção planejada e melhoria focada, foram responsáveis por 91,2% da variação no OEE. Para Vital e Lima (2020), cada pilar afeta de forma diferente os elementos do indicador OEE e após a implementação do pilar da melhoria focada e manutenção planejada houve um aumento no indicador OEE de 12,5 a 33,3%.

PILAR DA MELHORIA FOCADA

A implantação do pilar melhoria focada, conforme Nakajima (1988), é realizada de maneira sistemática com auxílio de ferramentas e técnicas, documentando visualmente o progresso para monitoramento de todos os envolvidos. Segundo Takahashi e Osada (2013), atividades iniciais buscam ampliar a confiabilidade e manutenibilidade, reduzindo paradas por manutenção não programada e operações facilitadoras. Assim, é preciso definir quais fatores colaboram para queda de rendimento, através de averiguação geral do equipamento, aliada ao processo produtivo, visando a identificação e supressão de perdas (Jain et al., 2014).

Assim, o Pilar de Melhoria Focada auxilia na solução de temas específicos e identificáveis em busca de soluções de custo prazo, buscando maximizar a eficácia global de equipamentos, processos e da organização (Manfredini, 2009; Oliveira et al., 2015). Para isso, Pomorski (2004) indica que pode ser feita a utilização de uma série de ferramentas da qualidade, como Gráficos de Pareto, cinco porquês, Diagrama de causa e efeito, FMEA e Análise da Árvore de Falhas (*Fault Tree Analysis*). Neste contexto, o passo zero pode se referir a definição do tópico de melhoria, qual setor, processo ou equipamento crítico serão analisados para eliminação das perdas. Mesmo quando benefícios da implantação da MPT são demonstrados, pode haver descrença por parte da equipe durante as primeiras etapas da implantação e o foco inicial é demonstrar os resultados rapidamente focando nas perdas crônicas (Nakajima, 1988).

No passo um, avalia-se o contexto geral das práticas de manutenção atuais e são estabelecidas as metas da implantação. Além disso, Marinheiro (2013) indica que a capacidade do processo deve ser analisada para identificação das seis grandes perdas. No passo dois, os equipamentos são inspecionados e elimina-se pequenas falhas por meio de procedimentos de limpeza, lubrificação e apertos buscando trazer o equipamento para sua condição básica de funcionamento (Suzuki, 1994).

A partir de Marinheiro (2013), identifica-se que o terceiro passo consiste na análise detalhada das causas das falhas mais complexas através da utilização de ferramentas mais robustas, compara-se a condição e sintomas com equipamentos similares, avaliam-se as variáveis existentes no processo e determinam-se as possíveis causas e consequências. No passo quatro a participação de todos é ainda mais importante para o sucesso dos passos seguintes, visto que são propostas melhorias para eliminar as possíveis causas/modos de falhas e são considerados todos os efeitos positivos e negativos no processo para evitar maiores problemas (Nakajima, 1988).

No quinto passo é elaborado o plano de ação para descrever as etapas, sequenciar as atividades de implantação das melhorias e definir as responsabilidades (Nakajima, 1988). Além disso, são estabelecidos prazos e metas que serão avaliados no passo seis, permitindo assim identificar quais ações foram mais e menos eficazes e consolidar os ganhos da implantação da MPT (Pomorski, 2004).

ANÁLISE DOS MODOS E EFEITOS DE FALHA

A FMEA é uma técnica de análise de falhas que tem como objetivo reconhecer e avaliar as falhas potenciais de um produto ou processo (Mendes & Ribeiro, 2011; Almeida, 2015). A partir dela é possível determinar ações para reduzir ou eliminar a chance de ocorrência dessas falhas e documentar um referencial técnico para auxiliar no desenvolvimento de projetos (Gehlen et al., 2018). Considerando o setor de serviços, sua aplicação possibilita a melhoria da gestão qualidade e a otimização de processos (Santos & Jerônimo, 2019). Para isso, a técnica auxilia na busca pela excelência, já que revela pontos fracos do sistema e fornece subsídios para atividades de melhoria contínua (Stamatis, 2003; Arenhart et al., 2020).

Segundo Fogliatto e Ribeiro (2009), existem dois tipos de FMEA: de projeto e de processo. A FMEA de projeto é um documento que deve ser iniciado logo após o esboço do produto, focando em componentes e subsistemas antes de serem fabricados, de forma a mitigar ou eliminar falhas potenciais (Oliveira, 2015). Por sua vez, a FMEA de processo é usada para identificar modos potenciais de falha que podem ocorrer em um processo, tanto industrial quanto administrativo, que impactem seu desempenho (Gehlen et al., 2018). A partir disso, o processo de aplicação da FMEA pode ser conduzido com base fundamentada principalmente nas obras de Stamatis (2003), Fogliatto e Ribeiro (2009) e McDermott et al. (2008).

Stamatis (2003) ressalta a importância da análise FMEA ser feita por equipes multifuncionais, de pessoal com conhecimento de projeto, manufatura, qualidade, confiabilidade, vendas e outras áreas de conhecimento pertinentes à análise. Paralelamente, deve-se reunir documentos que servirão de suporte ao desenvolvimento da FMEA de processo, como descrição das etapas do processo, normas aplicáveis, especificações a serem atendidas e manuais.

Após a formação da equipe e a obtenção dos documentos de suporte, a elaboração da FMEA de processo pode ser iniciada com apoio de uma planilha (McDermott et al, 2008). O cabeçalho é particular de cada empresa e contém informações como número da FMEA, identificação do processo, identificação das etapas do processo, departamento responsável pelo estudo, dados do coordenador e participantes, e data do documento (Figura 1).

Figura 1. Exemplo da estruturação de uma Planilha FMEA associada a estudo de chicote elétrico de sistemas de iluminação veicular

(1)	(2)	(3)	(4)	(5)	(6)	(7)	(8)	(9)	(10)	(11)	(12)
Item	Função	Modo potencial de falha	Efeito	S	Causa	O	Controles de prevenção	Controles de detecção	D	R	Ação recomendada
Chicote do alternador	Levar energia do motor de partida para o alternador e caixa de fusíveis	Curto circuito	Pane nos instrumentos do painel	8	Fios desencapados	5	Treinamento	Teste de funcionalidade	4	160	Ampliar uso de tubos corrugados
		Circuito desconectado	Sistema de iluminação inoperável	8	Falha no uso de trava de segurança	2	Treinamento	Teste de funcionalidade	2	32	Não há
				8	Oxidação de terminais	4	Desenvolvimento de fornecedores	Não há	10	320	Desenvolver dispositivo protetor
		Circuito queimado	Sistema de iluminação inoperável	10	Aquecimento demasiado dos fios por percurso incorreto	3	Revisão de projeto	Não há	10	300	Aprimorar bancada de testes de fios
				10	Aquecimento demasiado dos fios por falta de proteção	1	Não há	Não há	10	100	Desenvolver dispositivo protetor

Fonte: Adaptado de Fogliatto & Ribeiro (2009) e Peeters et al. (2018).

Conforme Fogliatto e Ribeiro (2009), as primeiras colunas descrevem as etapas e operações, seguindo a sequência de etapas estabelecida no fluxograma de processo, permitindo visualização de todo o processo em análise, facilitando o entendimento pela equipe. Peeters et al. (2018) indicam que a terceira coluna é referente aos modos potenciais de falha, informando as possíveis maneiras pelas quais um processo pode falhar em atender às especificações do projeto. Todos os modos potenciais de falha pertinentes ao processo devem ser listados, incluindo exceções e situações específicas.

Stamatis (2003) informa que a coluna referente aos efeitos potenciais de falha lista os resultados dos modos de falha que são percebidos pelo cliente interno ou externo. Cada modo de falha pode gerar um ou mais efeitos e dessa maneira, é imprescindível a descrição de cada um deles de forma clara para análises futuras. Os efeitos são avaliados qualitativamente por meio de uma escala de severidade (S) em que 1 representa um efeito com severidade muito baixa e 10 um efeito com severidade muito alta (Mcdermott et al., 2008).

Na coluna das causas/mecanismos potenciais de falhas são evidenciadas as possíveis origens dos modos de falhas analisados (Fogliatto & Ribeiro, 2009). Os autores defendem a centralidade desta etapa, sendo importante listar as causas de forma completa e concisa para facilitar os esforços de correção e melhoria do processo. As causas e mecanismos podem ser categorizados em uma escala de 1 a 10 em relação a probabilidade de sua ocorrência (O) em que 1 representa causas com chances remotas, enquanto 10 representa causas com a maior frequência de ocorrência na operação.

Nas colunas de controles de detecção e prevenção a equipe deve identificar os controles atuais já utilizados no processo para prevenção ou detecção causas e modos de falha, como o uso de dispositivos *Poka-Yoke*, Controle Estatístico do Processo (CEP) e inspeções (Stamatis, 2003; Ribeiro & Fogliatto, 2009). O registro dos controles de prevenção e detecção é realizado em colunas separadas e são avaliados em paralelo com os modos potenciais de falha em relação a probabilidade de detecção (D) por meio de uma escala de 1 a 10, em que 1 representa alta probabilidade de detecção e 10 representa a impossibilidade de detecção.

Os valores de severidade, ocorrência e detecção são coletados para compor a coluna do risco (R), o qual é calculado a partir da multiplicação dos três fatores (Gehlen et al., 2018). Quanto maior o valor desses três itens, maior será o risco, variando entre valores de 1 e 1.000. Fogliatto & Ribeiro (2009) salientam que a equipe responsável deve priorizar seus esforços nas áreas de maior risco, geralmente acima de 80 ou 100, entretanto o valor pode variar de acordo com o contexto e com a rigorosidade da equipe responsável pela análise.

Após a priorização dos modos de falha através do cálculo de risco, as ações recomendadas devem ser direcionadas aos itens com maior risco, visando reduzir a severidade, ocorrência ou não-detecção (Stamatis, 2003). As ações recomendadas podem envolver a revisão dos procedimentos de manufatura e montagem, a incorporação de novos controles e o uso de tecnologias alternativas, entre outras (Fogliatto & Ribeiro, 2009).

PROCEDIMENTOS METODOLÓGICOS

CONTEXTO DO OBJETO

O local do estudo foi um centro automotivo da cidade de Santa Maria, Rio Grande do Sul, com 32 anos de atividades no setor e que possui uma rede de três lojas no município. A empresa presta serviços de troca de pneus, balanceamento, geometria, desempenho de roda e mecânica básica e comercializa produtos como pneus, rodas, peças e acessórios, sendo classificada como uma empresa do setor terciário da economia.

Foi escolhida uma das três sedes para realização do estudo, nomeada “Matriz” onde há maior fluxo de clientes e maior demanda de serviço. A matriz conta com 35 funcionários distribuídos em sete setores: vendas (cinco), estoque (cinco), montagem (14), mecânica (três), administração (sete) e recursos humanos (um). Os produtos mais comercializados são pneus de diferentes modelos e para diversas categorias de veículos e, com isso, o serviço de troca de pneus é o mais realizado.

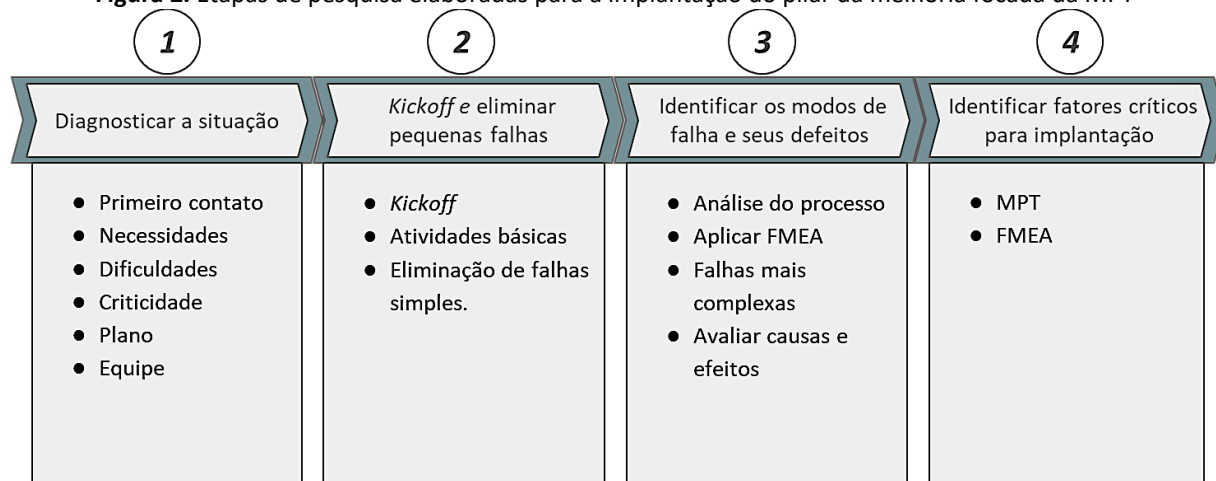
Na Matriz, em média, são atendidos 30 veículos e realizadas 70 trocas/dia. A demanda pode variar entre 10 veículos e 15 trocas/dias, com menor movimento e até mais de 50 veículos e 130 trocas/dias na maior demanda. Historicamente, sexta-feira e sábado são dias com maior fluxo de clientes, enquanto terça e quarta, dias de menor movimento. No ramo de serviços automotivos, fatores como feriados e datas festivas têm ampla influência e meses, como janeiro e fevereiro, são expressivos na quantidade de atendimentos e pneus trocados.

O setor da montagem é responsável pela prestação do serviço de troca de pneus e conta com um chefe de pista, um auxiliar, 2 geometristas e 10 montadores, distribuídos nos seguintes equipamentos: 4 elevadores (2 pneumáticos para veículos leves e 2 hidráulicos para veículos pesados), 4 desmontadoras e 3 balanceadoras (uma computadorizada e duas motorizadas). Além disso, há um segundo pavilhão com 5 elevadores (3 pneumáticos e 2 hidráulicos), 3 desmontadoras e 3 balanceadoras (uma computadorizada e duas motorizadas), utilizado em dias de picos de demanda e como sistema auxiliar em caso de falha dos equipamentos.

MÉTODO E ETAPAS DE APLICAÇÃO

O estudo é de natureza aplicada, pois buscou solucionar problemas relacionados à manutenção de equipamentos e melhoria de processos em uma empresa do setor terciário. Segundo Gerhardt e Silveira (2009), pesquisas desta natureza tem como objetivo gerar conhecimentos para aplicação na prática e com foco na solução de problemas reais. Ademais, o estudo teve uma abordagem qualitativa e quantitativa já que foi entendida a situação atual da manutenção na empresa através de um diagnóstico de situação e, por meio do indicador de desempenho, foi monitorada a implantação do pilar da melhoria focada da MPT (Figura 2).

Figura 2. Etapas de pesquisa elaboradas para a implantação do pilar da melhoria focada da MPT



Fonte: Autores (2025).

- Etapa 1: Diagnosticar a situação: realizar o primeiro contato com a empresa para introdução do pilar da melhoria focada e entender quais são as necessidades e dificuldades. Determinar qual processo ou equipamento é crítico e a partir disso, estabelecer o indicador para monitoramento. Definir o plano piloto de implantação, bem como o time responsável composto pelo estudante, gerente e operadores, para então realizar o mapeamento do processo e identificar perdas e fatores pertinentes à manutenção;

- Etapa 2: *Kickoff* e eliminar pequenas falhas: realizar o *kickoff* da implantação na empresa e por meio de atividades como lubrificação, limpeza, aperto de parafusos e inspeções de rotina, eliminar pequenas falhas e efeitos da deterioração para estabelecer as condições básicas de funcionamento do equipamento;

- Etapa 3: Identificar os modos de falha e seus efeitos: aplicar a FMEA para identificar os potenciais modos de falha que podem ocorrer no processo e equipamentos, considerando as etapas, componentes e interações. Avaliar as possíveis causas e efeitos e determinar a severidade, ocorrência e detecção para priorização das ações de corretivas;

- Etapa 4: Identificar fatores críticos para implantação do pilar da melhoria focada e utilização da FMEA: avaliar aplicação da MPT e da FMEA na empresa e identificar fatores críticos para implantação.

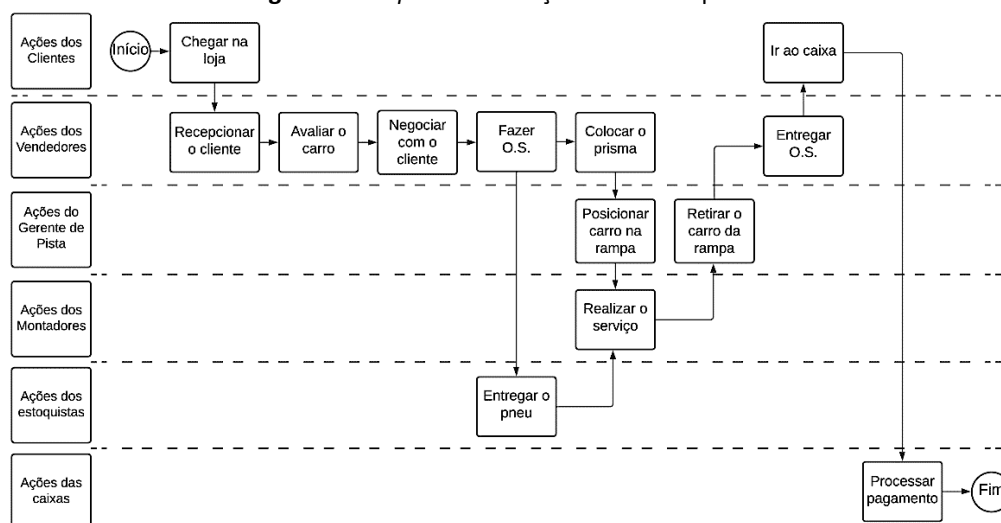
RESULTADOS

DIAGNÓSTICO DA SITUAÇÃO

Para avaliar o processo e compreender de forma sistemática os elementos e interações envolvidas foi elaborado o *blueprint* do serviço de troca de pneus prestado pela empresa (Figura 3). O processo de vendas tem início com a recepção do cliente com seu veículo pelos vendedores. É realizada uma avaliação inicial do carro e a inspeção dos pneus para identificar pontos de atenção não conhecidos pelo cliente. Em seguida, no balcão de vendas, ocorre a negociação e a criação de uma Ordem de Serviço (OS) contendo seus dados, dados do veículo e os produtos e serviços acordados. A OS é posicionada no para-brisa, o estoquista é

informado dos insumos necessários e o carro é posicionado em um dos elevadores dando início ao processo de troca de pneus. Após a finalização, o cliente é informado e encaminhado ao caixa enquanto o veículo é retirado do elevador, encerrando o atendimento.

Figura 3. *Blueprint* do serviço de troca de pneus



Fonte: Autores (2025).

Necessidades e dificuldades identificadas no processo

Ao analisar o *blueprint* do serviço e considerar a dependência direta dos setores como o de vendas e estoque, torna-se evidente a criticidade do setor da montagem. Além disso, levando em conta as características do serviço, em que o cliente possui total liberdade para acompanhar e a estratégia da empresa em fomentar a interação durante todo o processo, é imprescindível atenção especial ao setor e aos processos nele realizados.

O processo de troca de pneus não se estava padronizado no momento do diagnóstico, os montadores não possuíam estações de trabalho específicas e executavam suas atividades de acordo com a conveniência e preferência. Além disso, não havia treinamentos ou um processo de integração específico para os novos funcionários admitidos no setor, estes eram apenas instruídos a acompanhar a execução do trabalho dos montadores experientes e impedidos de desempenhar etapas críticas.

A empresa não possuía indicadores de desempenho específicos para os processos, utilizava apenas indicadores financeiros e controlava itens e serviços críticos. Dessa maneira, foi proposto o indicador de desempenho OEE para avaliar a situação atual da empresa em relação a disponibilidade dos equipamentos, desempenho e qualidade.

Plano de implantação

A partir da análise de necessidades e dificuldades, o plano piloto de implantação foi elaborado para o processo crítico da instituição (troca de pneus), com a estimativa do indicador OEE. Assim, para medição da disponibilidade, utilizou-se um bloco de ocorrências, monitorando individualmente as ocorrências de manutenção de cada equipamento, que foram enumeradas em trios, consistindo em um elevador, uma balanceadora e uma desmontadora. No período da realização da pesquisa foram registradas 26 ocorrências de manutenção nas quatro estações. A estação dois apresentou o maior número de ocorrências (dez), enquanto a desmontadora dois foi o equipamento (oito) mais indisponível, no total de quatro horas e nove minutos. A partir dos tempos de manutenção foi possível determinar a disponibilidade de cada equipamento de acordo com o número de dias úteis no mês e então calcular a disponibilidade do setor, com base na média dos valores individuais.

O desempenho foi proposto para acompanhamento do processo e definido como a relação entre a velocidade do serviço de troca de pneus, considerada como a ideal teórica pela empresa, com a mensuração da velocidade real do serviço de troca de pneus. Para simplificação, estabeleceu-se duas velocidades teóricas ideais para os dois serviços mais comuns: 20 minutos para troca de 2 pneus e 28 minutos para troca de 4 pneus. A velocidade do serviço foi considerada como o período em que o veículo sobe no elevador até o momento que o montador realiza o último aperto dos parafusos das rodas. Realizou-se a medição por meio de câmeras de segurança e foram avaliados 2.887 veículos. Foram registradas as quantidades de pneus, modelo do veículo, estação e serviços adicionais realizados (conserto de roda e pneu, balanceamento, montagem e rodízio). Para eliminar quaisquer ruídos, serviços adicionais foram filtrados e para cálculo do desempenho utilizou-se a média entre os 2 valores obtidos na troca de 2 e 4 pneus.

Para avaliar a qualidade, foram considerados os serviços prestados que não atenderam aos padrões de qualidade esperados e não atendem as expectativas dos clientes tais como volante trepidando, válvulas vazando e problemas que necessitaram retornos para retrabalho. Ao todo foram registradas 20 ocorrências e para o cálculo da qualidade foram considerados o número total de veículos atendidos em cada mês. Os defeitos observados no período, eram conexos a posição errada de pneus, ocasionando trepidação e/ou tendência no volante.

Identificação de perdas

No período de medição aferiu-se valores que Nakajima (1988) considerou como ideais para disponibilidade (>90%) e qualidade (>99%) em todos os meses, enquanto o desempenho (>95%) apenas em abril, afetando fortemente o OEE, que estava acima do ideal (>85%) em 3 meses (Tabela 1).

Tabela 1. Resultados de OEE e seus elementos

	Março	Abril	Maio	Junho
Disponibilidade	99,78%	99,80%	99,74%	99,78%
Desempenho	84,40%	99,60%	89,10%	84,70%
Qualidade	99,20%	99,60%	99,50%	99,50%
OEE	84,00%	99,00%	88,00%	84,00%

Fonte: Autores (2025).

Apesar de uma leve tendência de decrescimento dos 3 elementos, não pode ser considerada como conclusiva, já que houve oscilações dos valores e o método de coleta dos dados não estava consolidado. Assim, o período de avaliação foi curto e na fase inicial de implantação podem ocorrer ruídos os quais tornam os dados menos fidedignos. A tendência da disponibilidade pode ter sido gerada pela intensificação das investigações nos equipamentos e intervenções para eliminação de pequenas falhas. No desempenho, justifica-se a tendência por fatores como sazonalidade atípica relatada pela empresa nos meses avaliados, por mudanças realizadas que carecem de mais tempo para ratificar resultados e por férias ou realocações.

Ressalta-se que defeitos de qualidade são de baixa detecção pela empresa, devido a impossibilidade de realizar testes futuros ao serviço. Além disso, alguns defeitos de qualidade estão associados a percepção do cliente e podem não ser constatados imediatamente após o serviço, mas em situações específicas de uso. No que diz respeito à manutenção, não havia um setor específico com mão de obra especializada e a maioria das ações de manutenção realizadas na empresa são corretivas. Manutenções preventivas eram realizadas apenas nos elevadores e geradores pelos fabricantes visando não perder a garantia de fabricação.

Ações de manutenção simples, como troca de peças, vistorias básicas e limpeza eram realizadas por uns montadores, sem periodicidade, cronograma ou responsabilidades definidas. Já ações mais complexas, que exigem desmontagem do equipamento ou conhecimento técnico eram realizadas por um dos funcionários com experiência empírica em manutenção e em casos extremos eram contratadas empresas terceirizadas.

KICKOFF E ELIMINAÇÃO DE PEQUENAS FALHAS

O *kickoff* da implementação do primeiro pilar da manutenção produtiva total ocorreu por meio de duas reuniões. A primeira reunião contou apenas com a diretoria e gerentes, enquanto a segunda incluiu os funcionários dos setores da montagem e estoque. O objetivo dessas reuniões foi apresentar os conceitos da MPT, as metas, os objetivos e o foco inicial na identificação e eliminação de pequenas falhas. Além disso, foi apresentado o indicador de desempenho OEE e sua importância para acompanhar o progresso da implantação.

Foram apresentadas as primeiras propostas de melhorias com foco nas ferramentas, limpeza e organização do ambiente. Além disso, foram definidas reuniões mensais com os gerentes com o intuito de planejar e alinhar ideias. Foram programadas reuniões mensais com os setores da montagem e estoque a fim de acompanhar a implantação das melhorias e possibilitar *feedback* dos colaboradores (Quadro 1).

Quadro 1. Pequenas falhas iniciais identificadas e as respectivas soluções implementadas

Pequenas falhas	Soluções implementadas
- Parafusos soltos/faltantes - Falta de lubrificação - Nível de óleo baixo - Equipamento não fixado no chão - Ausência de pintura - Peças danificadas - Sujeira - Quantidade insuficiente de balanceadoras - Chaves de rodas empenadas/quebradas - Pneus e carrinhos de transporte atrapalhando movimentação	- Levantamento de todas as ferramentas e materiais - Aquisição de ferramentas e materiais necessários - Troca de chaves de rodas - Reorganização de chaves de rodas - Reposicionamento de pneus novos e usados - Reposicionamento de carrinhos de transporte - Registro de melhorias através de notas adesivas - Calibração semanal das balanceadoras - Uso de balanceadora adicional - Elaboração de quadro <i>Kanban</i> para acompanhamento de melhorias

Fonte: Autores (2025).

As primeiras medidas foram direcionadas à identificação e solução de pequenas falhas, tais como parafusos soltos/faltantes, falta de lubrificação, nível de óleo baixo, equipamento não fixado no chão, ausência de pintura, peças danificadas e sujeira. Devido ao alto volume de utilização das balanceadoras e do impacto na qualidade do serviço, foi definida a calibração semanal pelo funcionário responsável pela manutenção.

Durante o processo de troca de pneus foram identificadas filas nas etapas de inspeção da roda e balanceamento, indicando que a quantidade de balanceadoras no setor era um gargalo operacional. Por ser utilizada na etapa com maior tempo de ciclo do processo (balanceamento) e considerando que havia espaço disponível e equipamentos reservas, foi proposta uma balanceadora adicional no setor.

Todas as ferramentas e materiais utilizados no processo foram listados visando entender sua utilização e determinar sua criticidade. Foram adquiridas novas facas para as desmontadoras e balanceadora com maior durabilidade e com cabo ergonômico para o processo de retirada de válvula e chumbos. Chaves de rodas empenadas ou quebradas foram substituídas e foram posicionadas num local mais adequado. Para melhorar a movimentação e organização, foram realocados os pneus novos, pneus descartados e carrinhos de transporte, evitando que fossem posicionados em áreas de movimentação e trabalho.

Para aprimorar o controle e organização, possibilidades de melhorias identificadas ou propostas foram registradas por meio de notas adesivas e categorizadas de acordo com as variáveis de processo: equipamentos, materiais, processo, pessoas, gestão e outros. Um quadro *Kanban* foi utilizado para acompanhamento e gestão da implantação das melhorias e ao final de cada mês, aquelas concluídas eram apresentadas em reunião e arquivadas.

ANÁLISE DOS MODOS E EFEITOS DE FALHA

Aplicou-se a FMEA de processo para identificar pontos de falha e possíveis melhorias no serviço de troca de pneus. Com auxílio dos gerentes, chefe de pista, montadores e dos manuais dos equipamentos, o processo foi mapeado em seis etapas: (i) retirada do pneu-roda do veículo, (ii) desmontagem do pneu da roda, (iii) inspeção da roda, (iv) montagem do pneu, (v) balanceamento do pneu-roda e (vi) remontagem do pneu-roda no veículo. Posteriormente, cada uma delas foi subdividida em subetapas (62) (Figura 4). As etapas de desmontagem do pneu e balanceamento apresentaram, cada uma, 39 modos de falha diferentes do total de 146 identificados. Isto se justifica devido a quantidade de subetapas e por serem realizadas nos principais equipamentos do processo, na desmontadora e balanceadora.

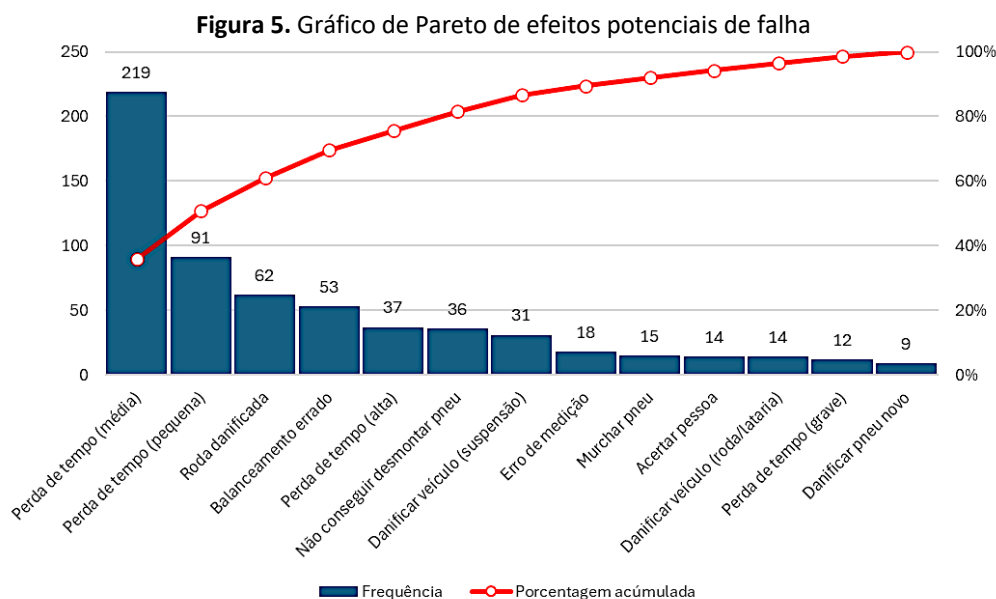
Figura 4. Etapas e subetapas do processo de troca de pneus



1	Posicionar carro na rampa	32	Regular braço da desmontadora
2	Posicionar calços	33	Posicionar espátula no pneu
3	Verificar ordem de serviço	34	Acionar desmontadora
4	Afrouxar os parafusos	35	Liberar roda
5	Elevar veículo	36	Calibrar pneu parcialmente
6	Retirar parafusos	37	Calibrar pneu totalmente
7	Retirar pneu-roda do veículo	38	Testar válvula
8	Transportar pneu-roda para a desmontadora	39	Tampar válvula
9	Retirar o núcleo da válvula	40	Transportar pneu-roda para balanceadora
10	Posicionar pneu-roda na destalonadora	41	Posicionar e fixar pneu-roda na balanceadora
11	Destalonar pneu da roda	42	Medir <i>offset</i>
12	Posicionar roda-pneu nos garfos	43	Registrar <i>offset</i>
13	Aproximar e regular braço da desmontadora	44	Medir talão do pneu
14	Posicionar espátula no pneu	45	Registrar talão do pneu
15	Acionar rotação da máquina	46	Verificar raio da roda
16	Retirar pneu da roda	47	Registrar raio da roda
17	Transportar pneu velho	48	Acionar balanceadora
18	Liberar roda	49	Verificar medição e preparar chumbo
19	Transportar roda para balanceadora	50	Limpar local e colar chumbo
20	Posicionar e Fixar roda na balanceadora	51	Acionar balanceadora
21	Retirar chumbos antigos	52	Verificar medição
22	Acionar balanceadora	53	Retirar pneu-roda da balanceadora
23	Inspecionar visualmente roda	54	Inspecionar chumbo
24	Retirar roda da balanceadora	55	Transportar pneu-roda para o veículo
25	Transportar roda para desmontadora	56	Posicionar pneu-roda no veículo
26	Posicionar nos garfos	57	Apertar parafusos/roscas manualmente
27	Retirar válvula antiga	58	Apertar parcialmente (chave de roda)
28	Instalar válvula nova	59	Baixar veículo
29	Buscar pneu novo	60	Apertar totalmente (chave de roda)
30	Passar vaselina no pneu	61	Retirar calços
31	Posicionar pneu na roda	62	Retirar carro da rampa

Fonte: Autores (2025).

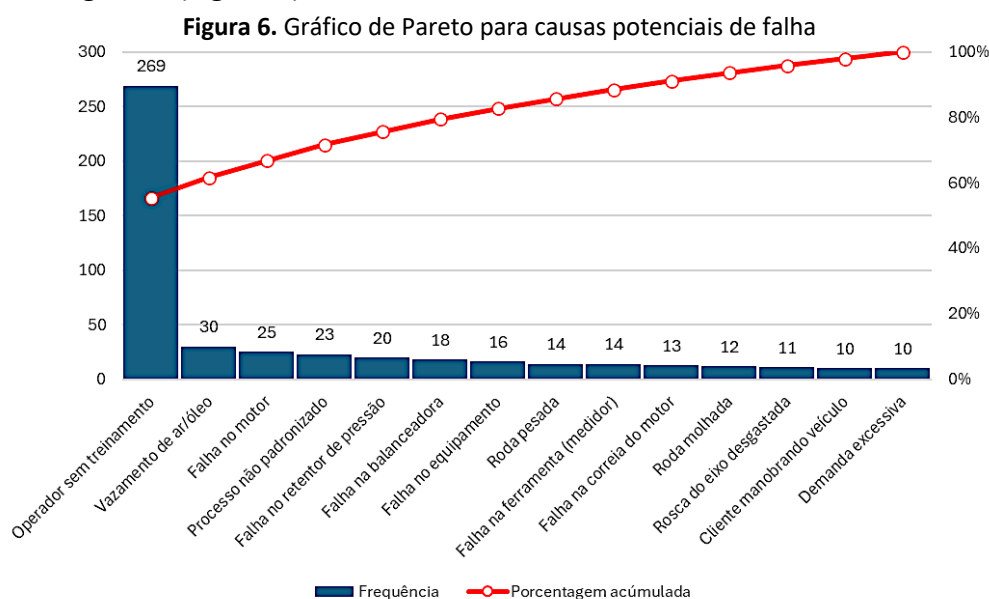
Foram verificados 85 efeitos que foram ordenados em relação a quantidade de vezes em que foram observados e plotados em um gráfico de Pareto. Para fins de apresentação, os 13 efeitos de maior ocorrência no decorrer das 62 subetapas do processo de troca de pneus foram identificados e plotados no gráfico de Pareto (Figura 5).



Fonte: Autores (2025).

Os dois efeitos mais frequentes foram perda de tempo (média) e perda de tempo (pequena), verificados 219 e 91 vezes, respectivamente. Dos efeitos que impactam a qualidade do serviço e a satisfação do cliente, danificar roda e balanceamento errado foram observados com maior frequência, 62 e 53 vezes respectivamente. Ambos foram classificados com severidade 7, quando há uma alta queda de desempenho do serviço, porém não há risco de segurança nem perda das funções primárias do veículo. Ressalta-se que o balanceamento errado é uma das possíveis causas para o defeito de qualidade observado com maior frequência, volante trepidando.

Em relação as causas potenciais de falha, 134 foram identificadas, em que as 14 causas de maior ocorrência ao longo das subetapas do processo de troca de pneus foram identificadas e inseridas no gráfico (Figura 6).



Fonte: Autores (2025).

Operador sem treinamento/descuido foi apurada 269 vezes, significando 31% do percentual total das causas, teve sua ocorrência classificada como seis e detecção cinco. O controle de prevenção observado foi o impedimento de funcionários novos realizarem tarefas críticas, como o balanceamento e o posicionamento dos veículos nos elevadores. O resultado de causas relacionadas a treinamento e descuido deve-se a quantidade de etapas com a utilização de ferramentas manuais e pela abordagem com foco no processo. Além disso, a utilização dos equipamentos é relativamente simples, composta por ações de pressionar pedais que acionam pistões e motores elétricos para efetuar tarefas com baixo impacto comparadas a manufatura.

As causas relacionadas aos equipamentos obtiveram os maiores valores de detecção, visto que não foram encontrados controles para prevenção e o único controle de detecção eram inspeções indiretas ou aleatórias realizadas pelo funcionário da manutenção. Vazamento de ar/óleo e falha no retentor de pressão foram verificadas 30 e 20 vezes, respectivamente, ambas apresentando ocorrência cinco e severidade dos efeitos variando entre um e dez.

O risco resultante foi obtido pela multiplicação dos três atributos, identificando os modos de falha que possuem prioridade para realização de ações. Na Figura 7, como exemplo, são listados os dois modos de falha com maiores riscos e as ações recomendadas para bloquear as causas. Foram propostas ações para níveis de riscos maiores que 300 (Apêndice I); demais modos de falha e respectivas ações recomendadas, devido à limitação de espaço, podem ser solicitados aos autores.

Figura 7. Modos potenciais de falha com maiores riscos e ações recomendadas

Modo potencial de falha	Efeito potencial de falha	Causa potencial de falha	Risco	Ações recomendadas
Posicionar pneu no lado errado do carro	Vibração no volante	O. S. com informação incompleta/errada	490	- Padronizar o processo de criação de OS; - Treinar os funcionários; - Melhorar OS.
	Volante puxando			
Baixar veículo rápido demais	Acertar alguém	Vazamento de ar/óleo	450	- Definir um responsável por estação; - Realizar manutenção preventiva periódica.
		Falha no retentor de pressão		

Fonte: Autores (2025).

O maior risco verificado entre os modos de falha foi de 490 para posicionar pneu no lado errado, com os efeitos de vibração do volante e volante puxando e causa como OS com informação incompleta/errada. Esse modo pertence a etapa de remontagem do pneu-roda no veículo, a causa OS com informação incompleta/errada tem origem no setor de vendas e seus efeitos afetam a qualidade do serviço prestado, necessitando retorno do cliente para retrabalho.

A primeira ação recomendada foi padronizar o processo de preenchimento da OS para possibilitar maior consistência das atividades realizadas e assim, evidenciar outras possibilidades de melhorias e redução de erros. Recomendou-se a realização de treinamentos periódicos dos funcionários, tanto vendedores quanto montadores, em relação ao que foi definido na padronização e para salientar a importância da etapa e os efeitos da má realização na qualidade do serviço prestado.

Outra ação recomendada foi a melhoria da OS para torná-la mais intuitiva e visual, já que exibia campos não utilizados, faltantes, fonte pequena e informações irrelevantes à realização do serviço. Sugeriu-se a definição de campos extras e serviços vendidos posteriormente, evitando escrita manual, que dificulta a visualização de informações importantes.

O segundo modo de falha com maior risco foi baixar o veículo rápido demais da subetapa de baixar o veículo. Este modo de falha está associado ao elevador, seu risco resultante foi 450 por ter efeitos que afetam a segurança e detecção nove, por não ter métodos eficientes de detecção das causas de vazamento de ar/óleo e falha do retentor de pressão.

Foi recomendada a designação de um funcionário por estação para ser responsável pela limpeza, inspeção, lubrificação e apertos dos equipamentos e assim, melhorar a detecção das possíveis falhas. Além disso, recomenda-se também a realização de manutenções preventivas periódicas de acordo com os manuais dos equipamentos.

FATORES CRÍTICOS PARA IMPLANTAÇÃO DO PILAR DE MELHORIA FOCADA DA TPM E DA FMEA

Com o objetivo de avaliar a aplicação do projeto na empresa e identificar fatores críticos para sua implantação, foram elencadas as principais dificuldades associadas com a etapa de *Kickoff*, a definição de indicadores, a necessidade de capacitação da equipe de trabalho e o entendimento do contexto da empresa (Quadro 2).

Quadro 2. Fatores críticos para implantação do pilar de melhoria focada da TPM e da FMEA

Fatores críticos	Dificuldades associadas
<i>Kickoff</i>	Introdução de conceitos da MPT; comunicação; definições de responsabilidades
Definição de indicadores	Monitoramento anterior com base subjetiva; incorporação da tomada de decisão baseada em dados; coleta de dados
Necessidade de capacitação da equipe de trabalho	Treinamentos teóricos e práticos; necessidade de mudança de cultura organizacional
Entendimento do contexto da empresa	Análise de informações prévias por parte da empresa; adaptações de acordo com o setor de atuação e a realidade operacional da empresa

Fonte: Autores (2025).

A realização do *kickoff* para iniciar a implantação da MPT foi um dos fatores críticos identificados. Nas duas reuniões iniciais foi realizada a introdução dos conceitos, do planejamento e dos objetivos do trabalho, sendo a primeira delas com a diretoria e os gerentes e a segunda com o setor da montagem. Foi essencial estabelecer uma comunicação clara e direta, selecionando apenas informações pertinentes para evitar excesso de informação. Como a MPT ainda não era conhecida na empresa, foi possível esclarecer dúvidas, apresentar o planejamento e definir o papel de cada um durante a implantação.

Outro fator crítico foi a definição do indicador OEE para avaliação da implantação e da situação da manutenção e do serviço, dado que, previamente ao estudo, o monitoramento era baseado apenas na percepção subjetiva dos gerentes e chefe de pista. O indicador possibilitou uma forma mais eficiente para monitorar o processo, através de informações quantitativas, possibilitando a tomada de decisão fundamentada em dados. A coleta destes também se mostrou crítica, necessitando de um funcionário específico para coleta dos tempos de serviço e da colaboração da equipe para os dados referentes as manutenções dos equipamentos e defeitos de qualidade.

Treinamentos e capacitação dos funcionários são críticos para a continuidade da implantação do pilar da melhoria focada e da MPT, já que ela depende da mudança de cultura e da criação de novos hábitos. A capacitação aumenta também a motivação e o engajamento dos funcionários, tornando-os mais propensos a permanecer na empresa e, assim, contribuindo para o sucesso da MPT. A compreensão do processo e da situação da manutenção também foram críticos. As informações que a empresa já possuía agilizaram a etapa e possibilitaram o aprofundamento do conhecimento sobre o processo. Foi possível avaliar as ações diretamente e considerar, por meio da FMEA, fatores que ainda não haviam sido avaliados, como falhas no processo e falhas nos equipamentos.

Foi indispensável considerar as características do setor terciário e de empresas prestadoras de serviços, sendo necessárias adaptações das ações de acordo com a realidade e contexto da empresa. Devido a demanda imprevisível, não é possível a paralização e mobilização de um setor por longos períodos e, assim, dias de menor demanda foram utilizados para realização de reuniões e ações de manutenção.

CONSIDERAÇÕES FINAIS

Este estudo implantou o pilar de melhoria focada da MPT no processo crítico de troca de pneus em um centro automotivo. Seguiu-se uma metodologia estruturada em etapas envolvendo diagnóstico da situação, *kickoff* e eliminação de pequenas falhas, identificar modos de falhas e seus efeitos e identificar fatores críticos para implantação. Destaca-se que dos seis passos para a implantação do pilar da melhoria focada, cinco foram concluídos e o último foi iniciado, demonstrando a viabilidade da aplicação e consolidando a maior parte da estrutura do pilar no ambiente considerado.

Neste sentido, na etapa de diagnóstico da situação, a análise do processo de troca de pneus revelou falta de padronização e indicadores. Já o cálculo do OEE apontou o desempenho como perda crítica, contrastando com os indicadores de disponibilidade e qualidade. Além disso, observaram-se práticas de manutenção corretiva e atividades básicas não sistematizadas. O *kickoff* foi realizado a partir da apresentação da MPT e do OEE à diretoria e aos colaboradores da empresa. Foram identificadas e eliminadas pequenas falhas como parafusos soltos, falta de lubrificação e sujeira. Implementou-se uma nova balanceadora, reorganizaram-se ferramentas e adotou-se um quadro *Kanban* para gestão das melhorias.

A análise FMEA no processo de troca de pneus mapeou 146 modos de falha distribuídos em 62 subetapas. A análise de Pareto revelou “perda de tempo (média)” como efeito mais frequente, e “roda danificada” e “balanceamento errado” como principais impactos na qualidade. A causa raiz dominante foi “operador sem treinamento”. Os cálculos de prioridade de risco identificaram modos de falha críticos, como “posicionar pneu no lado errado do carro”, cuja causa raiz foi atribuída ao preenchimento inconsistente da Ordem de Serviço no setor de vendas. Ações foram recomendadas para solução de modos de falha acima do nível de risco 300, em que podem ser destacados padronização do processo, reformulação do documento de OS e implementação de treinamentos periódicos.

Os fatores críticos identificados para a implantação foram o comprometimento dos envolvidos, a comunicação, a definição dos objetivos, a adaptação ao contexto e o monitoramento. O *kickoff* e a realização de reuniões mensais foi determinante para o entendimento dos objetivos da MPT, possibilitou o feedback da implantação e melhorou a comunicação interna da empresa. Considerar o contexto e conhecer o processo permitiu identificar as necessidades e definir as ferramentas corretas para maior efetividade das ações. A coleta de dados e o monitoramento dos processos do setor da montagem, conforme relatado pelos gerentes, demonstrou a importância de dados quantitativos para a tomada de decisão e planejamento.

A pesquisa apresentou limitações que podem ser destacadas: (i) considerou-se apenas o pilar da melhoria focada da MPT; (ii) ferramentas complementares à FMEA, como a Análise da Árvore de Falhas não foram utilizadas; e (iii) não foi possível monitorar a efetividade das ações recomendadas após a finalização da implantação. Em estudos futuros da implantação da MPT, sugere-se adotar uma abordagem qualitativa para investigar os efeitos na qualidade do serviço prestado, bem como o impacto na equipe envolvida na implantação. Além disso, sugere-se a aplicação de outros pilares da MPT ou a combinação deles, a fim de avaliar eficácia e a capacidade adaptação em relação ao contexto de aplicação.

REFERÊNCIAS

- Antunes, J., Alvarez, R., Bortolotto, P., Klippel, M., & Pellegrin, I. (2008). Sistemas de produção: conceitos e práticas para projeto e gestão da produção enxuta. Porto Alegre: *Bookman*.
- Ali, A. Y. (2019). Application of total productive maintenance in service organization. *International Journal of Research in Industrial Engineering*, 8(2), 176-186.
<https://doi.org/10.22105/riej.2019.170507.1076>
- Almeida, P. S. D. (2015). Manutenção mecânica industrial: princípios técnicos e operações. São Paulo: *Saraiva*.
- Arenhart, R. S., Pizzolato, M., & Mendes, A. A. (2020). Contribution of the maintenance plans based on reliability centered maintenance for measuring instruments in public higher education institutions. *Brazilian Journal of Operations & Production Management*, 17(2), e2020873.
<https://doi.org/10.14488/BJOPM.2020.020>
- Arromba, I. F., Anholon, R., Rampasso, I. S., Silva, D., Quelhas, O. L. G., Santa-Eulalia, L. A., & Leal Filho, W. (2021). Difficulties observed when implementing Total Productive Maintenance (TPM): empirical evidences from the manufacturing sector. *Gestão & Produção*, 28(3), e5300.
<https://doi.org/10.1590/1806-9649-2021v28e5300>
- Azid, N. A. A., Shamsudin, S. N. A., Yusoff, M. S., & Samat, H. A. (2018). Conceptual analysis and survey of total productive maintenance (TPM) and reliability centered maintenance (RCM) relationship. *International Conference on Recent Advances in Industrial Engineering and Manufacturing*, 012050.
<https://doi.org/10.1088/1757-899X/530/1/012050>
- Corrêa, H. L. & Ganesi, I. G. N. (2019). Administração estratégica de serviços. 2a ed. São Paulo: *Atlas*.
- Fam, S. F., Prastyo, D. D., Loh, S. L., Utami, S., & Yong, D. H. Y. (2018). Total productive maintenance practices in manufacture of eletronic components & boards industry in Malaysia. *Journal of Telecommunication, Eletronic and Computer Engineering*, 10(2-8), 97-101.
<https://doi.org/jtec.utem.edu.my/jtec/article/view/4467>
- Ferrarezzo, E. M., Reis, T. L., Machado, P. F., & Henrique, R. O. (2017). Gestão de operações e serviços. Londrina: *Editora Distribuidora Educacional S.A.*
- Fitzsimmons, J. A., & Fitzsimmons, M. J. (2014). Administração de serviços: operações, estratégia e tecnologia da informação. 7a ed. Porto Alegre: *Bookman*.
- Fogliatto, F., & Ribeiro, J. L. D. (2009). Confiabilidade e manutenção industrial. Rio de Janeiro: *Elsevier*.
- Gehlen et al., R. Z. C. (2018). Desenvolvimento de produtos. Porto Alegre: *SAGAH*.
- Goelzer, D. P., Pizzolato, M., & Arenhart, R. S. Gerhardt, T. E. & Silveira, T. D. (2009). Métodos de pesquisa. Porto Alegre: *Editora da UFRGS*.
- Gregório, G. F. P., Santos, D. F., & Prata, A. B. (2018). Engenharia de manutenção. Porto Alegre: *Grupo A*.
- Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística. (2020). Pesquisa anual de serviços. IBGE. Recuperado de <https://questionarios.ibge.gov.br/downloads-questionarios/pas-pesquisa-anual-de-servicos.html>
- Jain, A., Bhatti, R., & Singh, H. (2014). Total productive maintenance (TPM) implementation practice: a literature review and directions. *International Journal of Lean Six Sigma*, 5(3), 293-323.
<https://doi.org/10.1108/IJLSS-06-2013-0032>
- Kyrillos, S. L. & Milreu, F. J. S. (2024). Gestão integrada da produção e operações com as redes de negócios. São Paulo: *Blucher*.
- Lozada, G. (2016). Administração de produtos e serviços. Porto Alegre: *SAGAH*.
- Manfredini, A. (2009). Manutenção autônoma em operações na Procter & Gamble Porto. Dissertação de Mestrado - *Faculdade de Engenharia, Universidade do Porto*. Recuperado de <https://repositorio-aberto.up.pt/bitstream/10216/60211/1/000134763.pdf>
- Marinheiro, J. B. M. (2013). A manutenção produtiva total e a produtividade: estudo de caso em uma indústria. Dissertação de Mestrado - *Universidade Federal de Pernambuco*. Recuperado de <https://repositorio.ufpe.br/bitstream/123456789/13135/1/DISSERTA%C3%87%C3%83O%20Jos%C3%A9%20Bonif%C3%A1cio%20Morais%20Marinheiro.pdf>
- McDermott, R. E., Mikulak, R. J., & Beauregard, M. R. (2008). The basics of FMEA. 2a ed. Boca Raton: *CRC Press*.
- Mendes, A. A., & Ribeiro, J. L. D. (2011). Um estudo do suporte quantitativo necessário para a operacionalização da MCC. *Produção*, 21(4), 583-93.
<http://dx.doi.org/10.1590/S0103-65132011005000032>.
- Nakajima, S. (1988). Introduction to TPM. Portland: *Productivity Press*.
- Nishal, M., Ramprasad, K., Arun Theja, A. J., Ajavy Saravanan, S., & Abishek, S. (2018). Need for total productive maintenance in SME and barriers in implementing TPM in SME. *International Journal of Mechanical and Production Engineering*, 6(6), 15-20.
<https://doi.org/iraj.doionline.org/dx/IJMPE-IRAJ-DOIONLINE-12547>
- Oliveira, A. C. M. D., Kuhl, C., Prado, A. E., Gorgulho, G., & Pacagnella Junior, A. C. (2015). Estudo de implantação do pilar de melhoria focada da metodologia World Class Manufacturing em uma empresa do setor automotivo do interior de São Paulo. *Spacios*, 36(10), 11. Recuperado de

<https://www.revistaespacios.com/a15v36n10/15361012.html>

Oliveira, G., Pizzolato, M., & Braghirolli, L. F. (2017). Barreiras na qualificação da manutenção em empresas de pequeno e médio porte do setor metal mecânico. *Exacta*, 15(2), 203-221. <https://doi.org/https://doi.org/10.5585/exactaep.v15n2.6406>

Peters, J. F. W., Basten, R. J. I., & Tinga, T. (2018). Improving failure analysis efficiency by combining FTA and FMEA in a recursive manner. *Reliability Engineering and System Safety*, 172, 36-44. <https://doi.org/10.1016/j.ress.2017.11.024>

Pomorski, T. R. (2004). Total productive maintenance (TPM) concepts and literature review. Chelmsford: *Brooks Automation*.

Santos, J. K. R. S. & Jerônimo, T. B. (2019). Aplicabilidade da FMEA de processo: o caso de uma pequena empresa de alta tecnologia. *Revista Gestão Industrial*, 15(2). <https://doi.org/http://dx.doi.org/10.3895/gi.v15n2.8602>

Silveira, A. M., Vilseke, A. J., Pezzatto, A. T., & Gregório, G. F. P. (2019). Confiabilidade de sistemas. Porto Alegre: *SAGAH*.

Siqueira, A. C. B. (2005). Marketing empresarial, industrial e de serviços. São Paulo: *Saraiva*.

Setiawan, S. & Purba, H. H. (2021). A systematic literature review of total productive maintenance on industries. *Performa: Media Ilmiah Teknik Industri*,

20(2), 97-108.

<https://doi.org/10.20961/performa.20.2.50087>

Slack, N., Brandon-Jones, A., & Burgess, N. (2023). Administração da produção. 10a ed. Barueri: *Atlas*.

Stamatis, D. H. (2003). Failure mode and effect analysis: FMEA from theory to execution. 2a ed. Wisconsin: *ASQ Quality Press*.

Sutoni, A., Setyawan, W., Mudandar, T. (2019). Total productive maintenance (TPM) analysis on Lathe machines using overall equipment effectiveness method and six big losses. *Journal of Physics: Conference Series* 1179, 012089. <https://doi.org/10.1088/1742-6596/1179/1/012089>

Suzuki, T. (1994). TPM in process industries. New York: *Productivity Press*.

Takahashi, Y. & Osada, T. (2013). Manutenção Produtiva Total. 5a ed. São Paulo: *IMAM*.

Tortorella, G. L. et al. (2024). Digitalization of maintenance: exploratory study on the adoption of Industry 4.0 technologies and total productive maintenance practices. *Production Planning & Control*, 35(4), 352-372. <https://doi.org/10.1080/09537287.2022.2083996>

Vital, J. C. M. & Lima, C. R. C. (2020). Total productive maintenance and the impact of each implemented pillar in the overall equipment effectiveness. *International Journal of Engineering and Management Research*, 10(2), 142-150. <https://doi.org/https://doi.org/10.31033/ijemr.10.2.17>