

UNIVERSIDADE DE FEDERAL DE MATO GROSSO DO SUL
CAMPOS DE TRÊS LAGOAS

MARIA CLARA ALMEIDA PAIVA

APLICAÇÃO DA METODOLOGIA SMED EM MÁQUINAS VIRADEIRAS

TRÊS LAGOAS/MS

2024

MARIA CLARA ALMEIDA PAIVA

APLICAÇÃO DA METODOLOGIA SMED EM MÁQUINAS VIRADEIRAS

Trabalho de conclusão de curso apresentado como parte das exigências para cumprimento de requisitos obrigatórios não disciplinares, do curso de Engenharia de Produção, da Universidade Federal do Mato Grosso do Sul – UFMS.

Prof. Dr. Thiago Galbati Lagoin

Orientador

TRÊS LAGOAS/MS

2024

RESUMO

O presente trabalho investiga a aplicação da metodologia SMED (Single Minute Exchange of Die) para aumentar a produtividade de máquinas viradeiras em uma empresa de refrigeradores comerciais. O objetivo central foi detalhar o processo de implementação da metodologia SMED no centro de produção das máquinas viradeiras e avaliar seus possíveis impactos na redução dos tempos de setup e consequentes melhorias na produtividade e no índice de OEE em uma empresa de refrigeradores comerciais. Para isto, o artigo se trata de um estudo de caso com abordagem quantitativa, com propósito exploratório e natureza aplicada. Foram mapeadas e analisadas as atividades do setup por meio de 8 etapas: seleção da máquina, definição do tempo de setup alvo, seleção dos membros da equipe, documentação dos elementos e microelementos do setup da máquina usando o procedimento existente, transformação dos elementos e microelementos do setup da máquina em uma forma visual, análise dos elementos e microelementos do setup da máquina, repetição imediata da análise dos elementos e microelementos e repetição do workshop. Após a implementação das melhorias, houve redução do tempo de setup e um consequente aumento da eficiência operacional e melhora de 3,23% no OEE das máquinas analisadas.

Palavras-chave: SMED; Setup; OEE.

ABSTRACT

This study investigates the application of the SMED (Single Minute Exchange of Die) methodology to increase the productivity of bending machines in a commercial refrigerator company. The main objective was to detail the implementation process of the SMED methodology in the production center of bending machines and evaluate its potential impacts on reducing setup times, improving productivity, and increasing the OEE index in a commercial refrigerator company. This research is a case study with a quantitative approach, exploratory purpose, and applied nature. Setup activities were mapped and analyzed through eight steps: machine selection, definition of the target setup time, selection of team members, documentation of the machine's setup elements and microelements using the existing procedure, transformation of the machine's setup elements and microelements into a visual form, analysis of the machine's setup elements and microelements, immediate repetition of the analysis of elements and microelements, and repetition of the SMED workshop. After implementing the improvements, a reduction in setup time was achieved, resulting in increased operational efficiency and a 3,23% improvement in the OEE of the analyzed machines.

Keywords: SMED; Setup; OEE.

1. INTRODUÇÃO

Em virtude da competitividade global, as empresas anseiam por variedade e flexibilidade para atender aos requisitos dos clientes. Com o foco constante na melhoria dos processos e na redução dos custos de produção, adotam metodologias que possibilitem alcançar suas metas estratégicas. No setor de manufatura, há uma busca contínua por aumentar a eficiência tanto dos processos quanto dos equipamentos para que se reduza o tempo necessário de execução das atividades que não agregam valor ao produto (Oliveira et al., 2018).

A filosofia Lean Manufacturing visa melhorar continuamente o sistema produtivo por meio da redução de desperdícios. Dentre eles, os tempos consumidos com as esperas para que os produtos entrem em processamento nos diferentes postos produtivos são os mais críticos e devem ser eliminados. As indústrias que anseiam por diferenciação buscam viabilizar os lotes econômicos pequenos para dar mais flexibilidade e rapidez à produção (Tubino, 2015).

Shingo (1985) afirma que a principal dificuldade encontrada nestes pequenos lotes diversificados são as operações de setup necessárias. Desse modo, quando não é possível diminuir a quantidade de setups, busca-se reduzir os tempos de setup das máquinas, já que a redução deste tempo é fundamental para desenvolver uma posição industrial competitiva. A teoria e as técnicas para se realizar operações de setup em um número de minutos expresso em um único dígito foi desenvolvido por Shigeo Shingo e é conhecido como sistema SMED, sendo SMED a sigla para Single-Minute Exchange of Die (Troca Rápida de Ferramentas).

As organizações utilizam o Indicador de Eficiência Global do Equipamento (Overall Equipment Effectiveness) para monitorar a eficiência dos seus maquinários em três âmbitos: disponibilidade, performance e qualidade que são divididas em seis grandes perdas (Lehn, 2018). Esta análise dos percentuais do OEE possibilita as empresas adotarem estratégias mais assertivas para seus processos maquinários (Oliveira et al., 2019).

Nesse sentido, se for analisado que a disponibilidade da máquina está com percentual baixo, o tempo de parada por falhas no equipamento e/ou paradas por setup é alto. Deve-se avaliar e otimizar os processos de manutenção e de setup, pois isso significa que há itens que estão sendo deixados de produzir por manutenções e/ou preparo para a fabricação de novos itens. Reduzir este tempo ao máximo garante um resultado de OEE muito mais competitivo.

Logo, é possível afirmar que a produção diversificada de baixo volume não é a causa dos problemas enfrentados pelas fábricas, mas sim a produção que envolve múltiplos setups e pequenos lotes (Shingo, 1985). Assim, surge a seguinte pergunta norteadora de pesquisa: Como a aplicação da metodologia SMED pode impactar na redução dos tempos de setup, de maneira a acarretar uma melhoria geral dos índices de OEE de máquinas viradeiras em uma empresa manufatureira de refrigeradores comerciais?

Diante disso, o presente artigo tem como objetivo detalhar o processo de aplicação da metodologia SMED no centro de produção das máquinas viradeiras e avaliar seus possíveis impactos na redução dos tempos de setup e consequentes melhorias na produtividade e no índice de OEE em uma empresa de refrigeradores comerciais.

Para o alcance desses objetivos, foi avaliada a situação atual dos setups realizados nas máquinas viradeiras e aplicada a metodologia SMED para avaliar os possíveis impactos nos tempos de setup. A metodologia abordada foi dividida em oito etapas para garantir uma abordagem sistemática, detalhada e uma estruturação eficiente do processo de redução dos tempos de setups.

Van Goubergen (2002) afirma que é de extrema importância reduzir os tempos de setup, já que possui um impacto significativo nos custos de produção devido à diminuição do tamanho dos lotes, maior throughput nos gargalos da empresa e aumento da disponibilidade das máquinas, o que torna a empresa ainda mais competitiva.

REFERENCIAL TEÓRICO

2.1 LEAN MANUFACTURING

Após Segunda Guerra Mundial, a Toyota, indústria japonesa, ansiava por vantagem competitiva em relação as empresas norte-americanas. Segundo Shingo (2000), antes da guerra, acreditavam que a melhor maneira de reduzir as perdas de produção era reduzindo o tempo proporcional destinado para os setups, aumentando os lotes. Entretanto, os custos de produção aumentaram e o capital investido em estoques tornou-se insustentável.

Diferentemente das indústrias automotivas norte-americanas, a Toyota não poderia reduzir seus custos produzindo em larga escala, mas sim produzindo muitos modelos em quantidades pequenas com baixos estoques (Hopp, 2013). Com este cenário vigente, tornou-se necessária a redução dos desperdícios das ações que não geravam valor ao cliente final e o

reconhecimento que somente uma pequena fração do esforço e do tempo total da produção poderiam gerar este valor.

O sistema de produção Lean Manufacturing é entendido como uma abordagem que visa a melhoria da eficiência operacional, por meio da redução sistemática e sustentável dos desperdícios do processo (Martins e Laugeni, 2015) e do uso de princípios da melhoria contínua. Ele classifica as atividades em dois tipos: atividades que agregam valor (AV), ou seja, são aquelas atividades que, na percepção do cliente final, tornam o produto/serviço mais valioso e atividades que não agregam valor (NAV), que são as atividades que, na percepção do cliente final, não tornam o produto/serviço mais valioso e não são necessárias.

Todas as atividades que geram recurso, mas não criam valor, foram denominadas, por Womack e Jones (1996) de *muda*, que significa desperdício e foram classificados em sete:

- Transporte (movimentações de produtos, materiais e pessoas pela fábrica);
- Estoque;
- Movimentação (movimentos improdutivos ou em excesso);
- Esperas (tempo que o produto passa pela fábrica sem ser processado, movimentado ou inspecionado);
- Superprodução (produzir mais que o necessário ou antes do necessário);
- Superprocessamento (quando são realizados esforços adicionais, desnecessários ou que não agregam valor ao produto final); e
- Defeitos.

Para que fosse possível alcançar os níveis de produtividade de seus concorrentes, Ohno (1997) baseou-se em dois pilares para descrever o sistema desenvolvido na Toyota: o just in time (produzir apenas quando necessário) e a automação (automatizar com toque humano). Os objetivos do just in time, segundo Edwards (1983), são os sete zeros: zero defeitos, tamanhos do lote zero, zero setups, zero paradas de máquinas, zero deslocamentos, lead time zero, zero variações. A metodologia desenvolvida para alcançar a ideia de “zeros setups” foi denominada de SMED.

2.2 5S

O 5S (5 sentidos), desenvolvido no Japão no século XX, é uma metodologia voltada à organização do ambiente de trabalho, promovendo eficiência por meio da eliminação do desnecessário, limpeza, padronização e disciplina. Embora frequentemente reduzido à esfera

física como uma simples "faxina" (Housekeeping), o 5S possui uma abordagem mais abrangente, que integra dimensões física, intelectual e social, promovendo mudanças em valores, crenças e hábitos.

Para sua efetividade, exige o engajamento de todos, especialmente da alta liderança, que deve incentivar a melhoria contínua (Kaizen), fortalecer o senso de utilidade e garantir segurança e inclusão no processo. Segundo Gomes et al. (1998), "Consciência por si só não basta. Para mudar, o homem precisa da vontade".

Baseado em cinco conceitos fundamentais derivados do japonês - Seiri (utilização), Seiton (ordenação), Seiso (limpeza), Seiketsu (asseio) e Shitsuke (autodisciplina) - o 5S transcende a organização física, promovendo transformações estruturais e culturais indispensáveis para a sustentabilidade e a eficiência organizacional. De acordo com Haruyuki (1983), o senso de utilização envolve classificar os itens existentes, identificar aqueles realmente necessários e descartar o que é desnecessário. Quanto ao senso de ordenação, é essencial designar um local específico para todos os itens essenciais, garantindo organização. No senso de limpeza, destaca-se a importância de manter os equipamentos, ferramentas e o ambiente de trabalho limpos. Para o senso de padronização, o autor enfatiza que é fundamental preservar as práticas implementadas, assegurando sua continuidade. Por fim, o senso de disciplina requer criar o hábito de manter o local de trabalho limpo e organizado, além de seguir rigorosamente as regras estabelecidas.

2.3 SMED

A metodologia SMED (Single Minute Exchange of Die) foi desenvolvida por Shigeo Shingo em meados de 1950, ao longo de 19 anos, no sistema de produção da Toyota. É uma metodologia integrada no Lean Manufacturing baseada em um conjunto de técnicas que possibilitam a redução do tempo de preparo das máquinas (setup) para um tempo inferior a 10 minutos, a fim de aumentar a produtividade e diminuir o tempo gasto com ações que não geram valor ao cliente final.

Kusar et al (2010) desenvolveu oito passos para a implementação da redução do tempo de setup nas operações de manufatura:

1. Seleção da máquina.
2. Definição do tempo de setup alvo.
3. Seleção dos membros da equipe.

4. Documentação dos elementos e microelementos do setup da máquina usando o procedimento existente.
5. Transformação dos elementos e microelementos do setup da máquina em uma forma visual.
6. Análise dos elementos e microelementos do setup da máquina.
7. Repetição imediata da análise dos elementos e microelementos.
8. Repetição do workshop SMED.

2.4 OEE

O Indicador de Eficiência Global do Equipamento (Overall Equipment Effectiveness) é definido por Martins e Laugeni (2015) como:

$$OEE = ID \times IE \times IQ \quad (1)$$

Está diretamente relacionado as seis grandes perdas que a Manutenção Produtiva Total (TPM) visa eliminar. O índice de disponibilidade, representado na equação 1 por ID, é definido pelas duas primeiras perdas:

1. Quebras: quantidade de itens que deixam de ser produzidos devido à quebra da máquina;
2. Ajustes: quantidade de itens que deixam de ser produzidos devido a preparação e/ou ajustes da máquina.

O índice da eficiência, representado na equação 1 por IE, é definido pelas duas próximas perdas:

3. Pequenas paradas/tempo ocioso: quantidade de itens que deixam de produzidos devido à pequenas paradas no processo;
4. Baixa velocidade: quantidade de itens que deixam de ser produzidos devido à velocidade mais baixa que a nominal da máquina.

E, por fim, o índice de qualidade, representado na equação 1 por IQ, é definido pelas duas últimas grandes perdas:

5. Qualidade insatisfatória: quantidade de itens que são perdidos por qualidade insatisfatória quando o processo já entrou em regime;
6. Perdas com start-up: quantidade de itens que são perdidos por qualidade insatisfatória quando o processo ainda não entrou em regime.

Desmembrando a eficiência geral do equipamento nestes três índices, é possível a identificação de fatores que influenciam negativamente, o que facilita a detecção de oportunidades de melhoria mais assertivas.

3. MÉTODO APLICADO

3.1 CARACTERIZAÇÃO DA PESQUISA

Este artigo possui o propósito exploratório, considerando que foi realizado a fim de avaliar os impactos da aplicação da metodologia SMED no OEE do setor de viradeiras em uma indústria fabricante de refrigeradores comerciais. A pesquisa exploratória, segundo Gil (2002), tem por finalidade proporcionar maior familiaridade com o problema, com o intuito de o tornar mais explícito ou construir hipóteses pesquisáveis para estudos posteriores. O artigo possui natureza aplicada, levando em conta que propõe ações futuras para a empresa.

Se tratando da abordagem, o estudo possui uma abordagem quantitativa, já que é focado em análises de setups que implica em interações com métodos quantitativos. Para explorar o tema, foi realizado um estudo de caso, em que foi discutido o possível impacto positivo nos índices de OEE no setor de fabricação da empresa. Yin (2010) define estudo de caso como uma estratégia de pesquisa que esclarece decisões, os motivos pelas quais são tomadas, como foram implantadas e quais os resultados obtidos.

3.2 PROCEDIMENTOS METODOLÓGICOS

Seguindo a metodologia proposta por Kušar et al (2010), o estudo procedeu da seguinte forma:

Passo 1) Seleção da máquina: A seleção da máquina para redução do tempo de setup deve ser feita pela gestão de manufatura e critérios pré-definidos devem ser levados em consideração: máquinas com tempos de setup altos, com alta frequência de setup e setores considerados gargalo da empresa.

A problemática desta pesquisa está relacionada aos baixos índices de OEE das máquinas, causados pela necessidade de produzir uma ampla variedade de componentes metálicos com diferentes tamanhos, estampos e dobras, o que gera um elevado número de setups. A implementação da metodologia SMED foi definida como estratégia, com foco no grupo de máquinas de menor OEE. Após análises, o estudo concentra-se no primeiro setor priorizado, conforme demonstrado na figura 1: as máquinas viradeiras, responsáveis pelas

dobras dos componentes metálicos fabricados pela empresa. Os dados para análise de OEE foram retirados do sistema MES (sistema de execução de manufatura) que a empresa possui.

Figura 1: OEE Atual das Máquinas Viradeiras.



A figura 1 apresenta a análise de OEE, com um índice total de 59,88%. O indicador de disponibilidade revela que as máquinas estão operacionais apenas 59,93% do tempo planejado, sugerindo uma perda significativa de tempo. O setup é o maior responsável por perdas, representando 7,32%, seguido pela troca de embalagens, que consome 7,02% do tempo disponível. A manutenção também tem uma participação significativa, contribuindo com 6,79% para a redução do OEE. Além disso, o tempo dedicado às necessidades pessoais dos operadores e à espera pelo abastecimento de materiais adiciona 4,06% e 3,43% de perdas, respectivamente.

Já o indicador de performance indica que, quando as máquinas estão em operação, elas atingem a capacidade máxima, sem perdas de velocidade ou atrasos. Por fim, o índice de qualidade demonstra que quase todas as peças produzidas estão dentro dos padrões estabelecidos, com um número mínimo de rejeitos ou necessidade de retrabalhos.

Passo 2) Definição do tempo de setup alvo: A definição do valor alvo para a redução do tempo de setup é crucial para o sucesso da implementação do método SMED, pois exerce um impacto direto sobre a motivação da equipe envolvida. Além disso, serve como um direcionador para o processo de melhoria contínua, promovendo o engajamento e a cooperação entre os participantes.

Neste caso, foi definido que os tempos de setup devem reduzir 30%. Com melhorias nos outros fatores, o índice de OEE deverá se elevar para 75%, meta estabelecida pela alta gerência ao setor de fabricação. Deste modo, foi elaborada uma matriz de setup, demonstrada na tabela

2, com os itens que mais são produzidos e com os mais altos tempos de setups, dados analisados por meio do sistema MES que gera os relatórios de peças versus tempo de operação e paradas em geral. As informações contidas na tabela são os tempos de setups que foram avaliados.

Passo 3) Seleção dos membros da equipe: A equipe selecionada deve incluir: um líder de equipe, um moderador de equipe e outros membros como um operador de setup, um redator de protocolo, um operador de cronometragem, um fotógrafo, um cinegrafista, e um membro da equipe para desenhar um diagrama do percurso realizado pelo operador de setup.

A equipe selecionada por implementar o SMED incluiu 4 membros: uma estagiária em engenharia de produção como líder de equipe e redatora de protocolo, um analista de processos júnior como moderador de equipe e cinegrafista, um analista de processos sênior responsável pela cronometragem, e uma estagiária em engenharia de produção para desenhar os diagramas dos percursos realizados pelos operadores de setup.

Passo 4) Documentação dos elementos e microelementos do setup da máquina usando o procedimento existente: A situação atual de setup da máquina é executada e documentada. A sequência real e o tempo de execução dos elementos/microelementos do setup da máquina são definidos. Algumas ferramentas estão disponíveis para documentar os elementos e microelementos do setup da máquina, como por exemplo: observações diretas, formulários para preenchimento das atividades, fotos, vídeos de todo o processo de setup da máquina e diagramas de espaguete para monitorar os percursos realizados pelo operador de setup da máquina.

Foi elaborada uma folha de registro de setup para documentar de forma detalhada as situações atuais dos setups analisados. Esta folha registra cada elemento e microelemento do processo de setup, desde a preparação das ferramentas até os ajustes finais, fornecendo uma visão clara das atividades envolvidas. Além disso, também foram elaborados diagramas de espaguete para ser possível analisar o deslocamento de cada operador.

Quadro 1: Folha de Registro de Setup.

REGISTRO DE SETUP					
CÓDIGO:			MÁQUINA:		
MODELO:			DATA:		
OPERADOR:				RESPONSABILIDADE	
DESCRIÇÃO	TEMPO INICIAL	TEMPO FINAL	VISTO	RE	ATIVID.
OBS.:					

Fonte: Autoria própria.

Passo 5) Transformação dos elementos e microelementos do setup da máquina em uma forma visual: Os dados obtidos sobre os elementos e microelementos do setup da máquina são transcritos de maneira que seja de fácil entendimento.

No presente estudo, foi utilizada uma Changeover Analysis Sheet (Folha de Análise de Setup) para registrar e detalhar todas as atividades envolvidas no processo de setup das viradeiras representada no quadro 2. Essa ferramenta permite uma análise aprofundada de cada elemento do setup, possibilitando identificar oportunidades de melhora e redução do tempo de troca. Está dividida em diversas seções que facilitam o levantamento e a análise das atividades.

- Descrição da Atividade: foram retiradas as informações da folha de registro de setup.
- Tempo: são anotados os tempos de início e término de cada atividade, sendo calculada a duração de cada uma. Isso permite identificar as atividades mais demoradas, que podem ser alvo de melhorias para a redução do tempo total de setup.
- Tipo de Atividade:
 - Processo desnecessário: relacionado diretamente às operações desnecessárias.
 - Transporte: movimentação de peças e ferramentas.
 - Espera: tempos ociosos que ocorrem durante o setup.
 - Ajustes: configurações e ajustes de ferramentas ou parâmetros da máquina.
 - Outros: qualquer outra atividade que não se enquadre nas categorias anteriores.
- ECRS-Analysis: a análise ECRS (Eliminar, Combinar, Reorganizar, Simplificar) é aplicada para avaliar quais atividades podem ser eliminadas, combinadas, reorganizadas ou simplificadas, com o objetivo de tornar o processo mais enxuto e eficiente.
- Interno/Externo: o setup é dividido entre atividades internas, que só podem ser realizadas com a máquina parada, e externas, que podem ser realizadas enquanto a máquina está em operação. O foco da análise está em transformar o maior número possível de atividades internas em externas, como preconiza a metodologia SMED.
- Observações e Tempos Relevantes: são feitas anotações sobre eventuais dificuldades, recomendações ou características específicas de cada atividade. Além disso, são registrados tempos relevantes, que podem ser analisados para priorizar melhorias.

Quadro 2: Changeover Analysis Sheet.

Folha de Análise de Setup (Changeover Analysis Sheet)																	
Máquina:																	
Processo:																	
Informação:					Tipo de Atividade				ECRS-Análise		I / E						
Nº	Descrição da Atividade	Tempo		Duração	Processo desnecessário	Transporte	Espera	Ajuste	Outros	Eliminar	Combinar	Reorganizar	Simplificar	Interno	Externo	Observações	Tempos Relevantes
		de	até	[hh:mm:ss]													
				Novo Tempo Total	0,0	0	0	0	0	0				0	0		

Fonte: Autoria própria.

Passo 6) Análise dos elementos e microelementos do setup da máquina: Neste passo, o time deve reunir-se e realizar a análise da operação de setup por meio da aplicação das 4 fases da metodologia SMED propostas por Shingo (2000), além de uma quinta fase proposta por Kušar *et al.* (2010).

Fase 0: Análise da situação atual.

Após a identificação das atividades realizada no Passo 4, o moderador deve apresentá-las ao restante do time para que todos tenham conhecimento de como a troca de ferramentas é realizada atualmente.

Fase 1: Separação do setup interno e externo.

O moderador apresenta todas as atividades realizadas durante o setup e o time as definem como setup interno (operações que podem ser realizadas com a máquina parada) ou setup externo (operações que podem ser realizadas com a máquina operando).

Fase 2: Transformação de setup interno em externo.

O moderador junto a equipe deve avaliar e converter ao máximo possível as operações e converter as operações de setup interno em externo.

Fase 3: Melhoria de microelementos internos e externos

A equipe propõe sugestões para melhorias dos microelementos internos e externos. O moderador registra todas as ideias de possíveis melhorias.

Fase 4: Otimização de Todos os Aspectos da Operação de Setup

Nesta fase, é realizada a padronização dos setups interno e externo, e o princípio de melhoria contínua é colocado em prática. Todos envolvidos sugerem melhorias.

Para análise dos setups interno e externo, foram seguidas as 4 fases da metodologia SMED propostas por Shingo (1985):

- Fase 0: Após a identificação das atividades realizada no Passo 4, foi apresentada a análise da situação atual para o time, por meio do Changeover Analysis Sheet.
- Fase 1: As atividades realizadas durante o setup foram definidas pelo time como setup interno (operações que podem ser realizadas com a máquina parada) ou setup externo (operações que podem ser realizadas com a máquina operando).
- Fase 2: Foram convertidas ao máximo possível as operações de setup interno em externo.
- Fase 3: A equipe se reuniu para propor sugestões para melhorias dos microelementos internos e externos para reduzir o tempo de setup. Todas as ideias, que surgiram a partir da análise da fase 2, foram registradas em um plano de ação apresentado no quadro 3.

Quadro 3: Plano de Ação – Viradeiras.

2024 SMED Single Minute Exchange of Dies		PESOS:		CLASSIFICAÇÃO		ANÁLISE				
				ALTA	6,5 à 10	Dificuldade de implementar	Impacto Tempo	Impacto Movimentação	Impacto Seguração	PONTO
				MEDIA	3 à 6,5					
				BAIXA	0 à 3					
						25%	50%	20%	5%	
AÇÕES	MÁQUINA	TIPO	PRIORIZAR	IMPACTO	Dificuldade de implementar	Impacto Tempo	Impacto Movimentação	Impacto Seguração	PONTO	
1										
2										
3										

Fonte: Autoria própria.

Já na fase 4, proposta por Kušar et al (2010), para organizar e priorizar as melhorias no setup das máquinas viradeiras, as ações foram classificadas por máquina e tipo de intervenção. Cada ação é analisada em termos de impacto e dificuldade de implementação, facilitando a organização das melhorias.

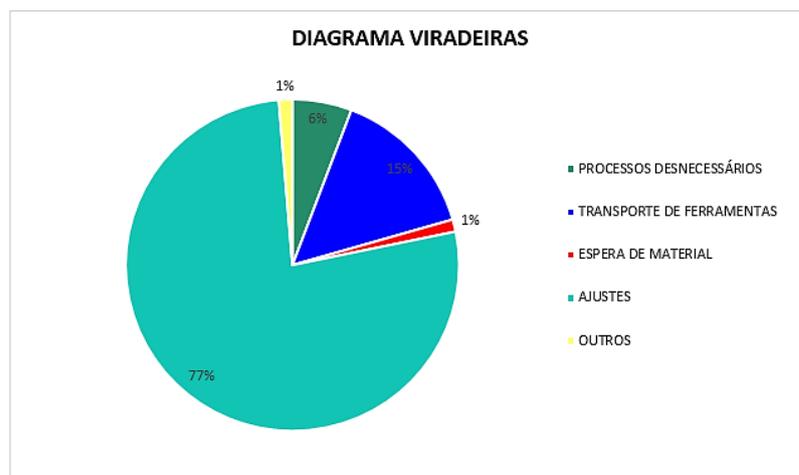
Os critérios de impacto avaliados incluem a dificuldade de implementação, o impacto na redução do tempo de setup, a redução da movimentação desnecessária e o impacto para a segurança dos operadores. As ações que trazem maior impacto na redução de tempo e são mais fáceis de implementar recebem maior prioridade na execução.

As ações são classificadas em categorias de alta, média e baixa prioridade, com um sistema de pontuação que atribui pesos maiores para a redução do tempo (50%), seguido pela dificuldade em implementar (25%), movimentação (20%) e segurança (5%). Essa análise

permite a implementação eficiente das ações, começando pelas mais impactantes e fáceis de executar, acelerando a aplicação das melhorias no processo de setup.

A elaboração do plano de ação possibilitou uma análise completa de todos os setups realizados, destacando as atividades que mais impactam o tempo total de cada operação. A figura 2 representa a totalidade dos setups estudados, facilitando a visualização dos tipos de atividades que contribuem de forma mais significativa para a duração dos setups.

Figura 2: Totalidade de Setups.



Fonte: Autoria própria.

Assim, evidenciam-se os principais fatores críticos que impactam negativamente todos os setups analisados: processos desnecessários, transporte de ferramentas, espera de material, ajustes e outros.

Passo 7) Repetição imediata da análise dos elementos e microelementos: Se o tempo de setup alvo definido no passo 2 não foi alcançado, a equipe repete imediatamente a análise dos microelementos do setup da máquina.

Passo 8) Repetição do workshop SMED: A redução do tempo de setup é um processo contínuo, o que torna essencial a realização periódica de workshops de SMED, geralmente a cada seis meses. Esse ciclo constante de revisões permite que a empresa avance gradualmente em direção à meta de atingir tempos de setup inferiores a 10 minutos.

4. RESULTADOS ESPERADOS

Após a aplicação das etapas da metodologia SMED, foram desenvolvidas ações específicas para reduzir os tempos de setup das máquinas. Essas ações foram direcionadas aos pontos críticos identificados ao longo do estudo, com o objetivo de implementar melhorias

práticas e mensuráveis. As iniciativas propostas, destacadas a seguir, foram selecionadas com base em seu potencial de gerar maiores impactos na eficiência do processo.

As ações 1, 2, 3, 4 e 5 foram efetivamente implementadas, enquanto para as ações 6, 7, 8 e 9, foram realizadas estimativas dos percentuais de melhorias alcançadas até o momento da realização deste trabalho. Para as estimativas, foi considerado o setup de maior duração, correspondente à troca do Fundo do Tanque pelo Fundo do Gabinete. Essa escolha justifica-se por abranger todos os diagnósticos dos problemas identificados, tornando-se, assim, o caso mais representativo para análise.

Ações 1 e 2) Definir operador “coringa” para execução do setup e confeccionar dois carrinhos para as ferramentas menores.

A designação de um operador dedicado exclusivamente à realização dos setups resultou em uma execução mais ágil, devido à sua alta especialização na tarefa. Essa mudança também gerou impactos significativos nos tempos de pré e pós-setup. Enquanto os demais colaboradores permanecem focados na produção ativa, o operador responsável pelo setup pode antecipar etapas, como a separação das ferramentas necessárias para o próximo ajuste.

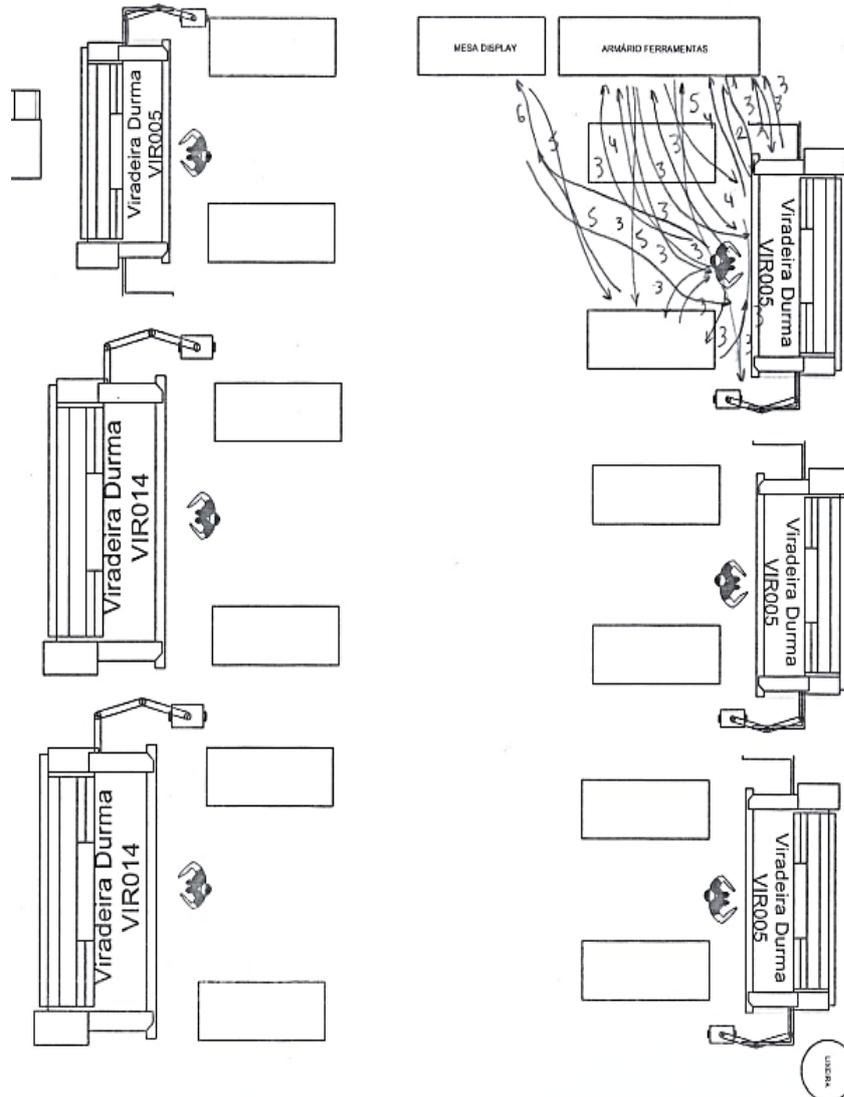
Durante a análise, foi constatado que o preenchimento da folha de registro de inspeção - documento utilizado para verificar se as dobras estão dentro das tolerâncias especificadas - demandava, em média, 2 minutos ao final de cada setup. Com a inclusão do “preparador”, foi possível eliminar esse tempo do setup principal, pois ele assume a tarefa de preenchimento da folha enquanto o operador da máquina inicia imediatamente a produção do novo lote. Essa reorganização otimizou o fluxo de trabalho e contribuiu para uma significativa redução do tempo total de setup, já que foi ganho um tempo médio de 2 minutos em cada setup.

Considerando que os operadores gastavam, em média, 1 minuto e 31 segundos (equivalente a 6,20% do tempo total de setup de 24 minutos e 28 segundos) buscando ferramentas durante o setup, foram desenvolvidos dois carrinhos específicos para que o “preparador” pudesse coletar e posicionar antecipadamente as punções e matrizes necessárias. Essa iniciativa eliminou a necessidade de deslocamentos excessivos por parte dos operadores, reduzindo significativamente o desperdício de esforço em 6,20% do tempo.

No caso do setup com maior duração analisado, o operador percorreu 89 passos, totalizando 72,98 metros, conforme ilustrado no diagrama de espaguete apresentado na Figura 3. Na Figura 3 pode-se observar a movimentação dos colaboradores durante o setup, exibindo

a ocorrência de repetições de percurso. É importante destacar que essa análise foi realizada na máquina localizada mais próxima do local de armazenamento das ferramentas, evidenciando que setups em máquinas mais distantes geram deslocamentos ainda mais extensos. Com a adoção dos carrinhos e a atuação do preparador, esses deslocamentos foram praticamente eliminados, otimizando o processo.

Figura 3: Diagrama de Espaguete - Setup Fundo do Gabinete.



Fonte: Autoria própria.

A Tabela 2 apresenta os percentuais de redução obtidos após a realização das ações 1 e 2. Esses percentuais foram aplicados aos tempos registrados na Matriz de Setup, refletindo as melhorias alcançadas e possibilitando uma visão clara dos impactos positivos no processo.

Tabela 1: Percentual Reduzido Ações 1 e 2.

SETUPS	MÉDIA 2023 (MINUTOS)	MÉDIA 2024 (MINUTOS)	%
Fundo Gabinete	12	9	25
Reforço	24	22	8,94
Duto	23	19	17,39
Corpo de Porta	28	22	21,28
Base Compressor	21	16	21,41

Fonte: Autoria própria.

Para calcular a redução percentual dos tempos de setup de 2023 e 2024, foi realizada uma análise comparativa, utilizando relatórios gerados pelo software das máquinas. Essa análise considerou a média dos tempos de setup realizados anteriormente pelos próprios operadores e comparou-se com a média dos tempos obtidos após a execução dos setups pelos “preparadores” junto à utilização dos carrinhos confeccionados. Estas duas melhorias ocasionaram uma redução média de 18,80% no tempo total dos setups estudados (1 hora, 14 minutos e 40 segundos).

Ações 3, 4 e 5) Compra de um armário apropriado, organização das ferramentas menores e confecção de uma nova mesa display com suporte para as ferramentas maiores.

Com base nos tempos coletados, constatou-se que a desorganização das ferramentas consumia 6,97% do tempo total de setup de 24 minutos e 28 segundos devido à necessidade de procurá-las, ou seja, cerca de 1 minuto e 42 segundos por setup. Para mitigar esse problema, foi solicitada a aquisição de um armário apropriado para o armazenamento das ferramentas menores, permitindo que as ferramentas maiores, anteriormente armazenadas em local externo ao setor de viradeiras, fossem realocadas para um local mais próximo e acessível.

A introdução do “preparador” eliminou completamente o tempo dedicado à busca pelas ferramentas, uma vez que essa atividade passou a ser realizada durante o período de pré-setup. Considerando que o setor opera em dois turnos, foi adotada a metodologia 5S para organizar as ferramentas de maneira eficiente:

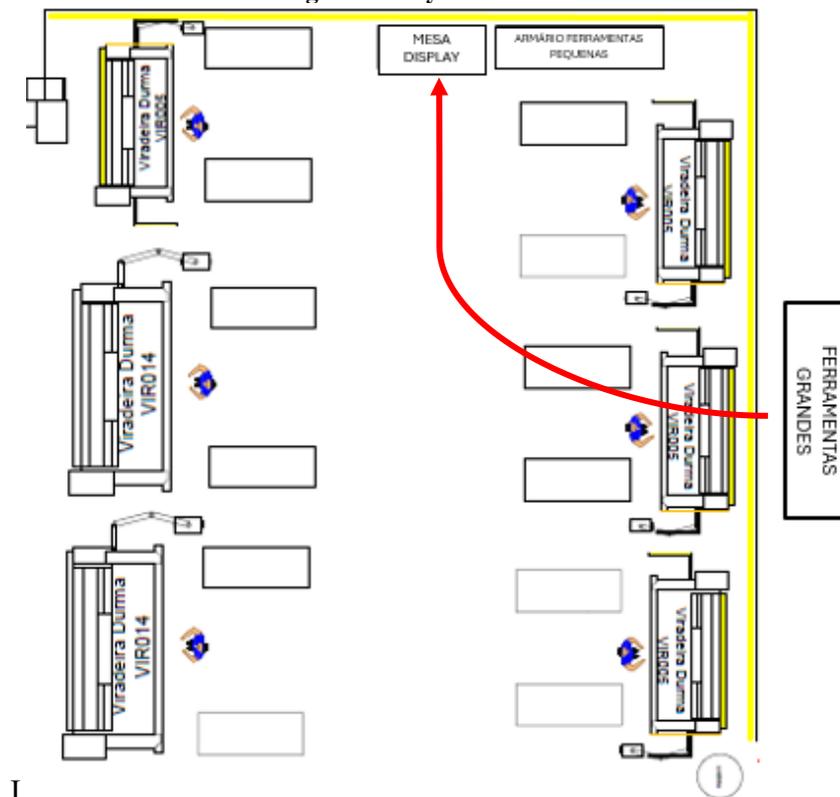
- Senso de Utilização: foram revisadas e removidas as ferramentas que não são mais utilizadas, eliminando itens obsoletos.
- Senso de Organização: as ferramentas foram organizadas de acordo com sua utilização em um armário apropriado para armazenamento e ainda foram separadas entre punções e matrizes, e classificadas conforme tamanho e função.
- Senso de Limpeza: foi definido que as ferramentas serão limpas mensalmente.

- Senso de Padronização: foi estabelecido que todos os colaboradores devem organizar e reposicionar as ferramentas após o setup, garantindo que a ordem e a eficiência sejam mantidas de maneira constante, independentemente do turno ou colaborador.
- Senso de Disciplina: os colaboradores serão treinados para manter a organização e garantir que todas as ferramentas estejam em seus locais designados, evitando perdas de tempo com buscas desnecessárias.

Dessa forma, os “preparadores” dos turnos A e B não enfrentam mais dificuldades para localizar as ferramentas necessárias, eliminando a possibilidade de que esse fator impacte negativamente o tempo de setup.

Após a conclusão das ações 3 e 4, identificou-se uma oportunidade para a criação de uma nova mesa display com um suporte destinado às punções e matrizes maiores, que não eram acomodadas no armário (ação 5). A Figura 4 apresenta o layout do setor das viradeiras e o posicionamento do armário em que as ferramentas maiores eram armazenadas.

Figura 4: Layout Atual Viradeiras.



I

Fonte: Autoria própria.

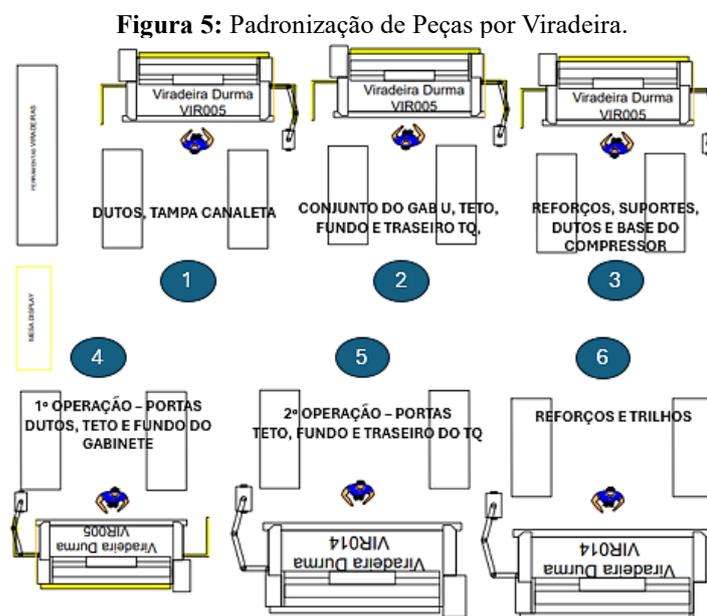
Desta forma, além de otimizar o espaço no layout fabril, as ferramentas foram posicionadas próximas às máquinas, minimizando os deslocamentos realizados pelas empilhadeiras.

Ação 6) Padronização de programas entre máquinas.

Haverá o estabelecimento de um número fixo de programas para todas as máquinas, por item produzido. Esses programas incluirão todos os parâmetros salvos para as dobras de cada peça. No caso do setup escolhido, observou-se que foram gastos 4 minutos e 14 segundos apenas para o ajuste manual das configurações, o que corresponde a 17,3% do tempo total. A expectativa é que essa padronização resulte em uma redução de 70% (2 minutos e 58 segundos) no tempo gasto, uma vez que os parâmetros mais complexos e demorados estarão previamente salvos, resultando em um novo tempo estimado para os ajustes de 1 minuto e 16 segundos.

Ação 7) Padronização da produção de peças por viradeira.

Serão definidos padrões de produção para reduzir o número de setups necessários, agrupando a fabricação de peças semelhantes em sequência. Esta definição será estudada analisando as punções e matrizes necessárias para cada tipo de peça. Espera-se que haja uma diminuição significativa na frequência de setups, aumentando o percentual de disponibilidade das máquinas. Embora seja uma ação de elevada complexidade, trata-se da medida mais priorizada pela gerência, considerando o impacto substancial que proporcionará na melhoria da disponibilidade dos equipamentos. A Figura 5 apresenta uma possível alocação das peças para cada máquina.



Fonte: Autoria própria.

Ação 8) Substituição de teflon por um suporte com película de poliuretano.

A substituição do teflon por uma película de poliuretano proporcionará uma proteção mais eficaz contra amassados nas peças, eliminando a necessidade de cortar e aplicar fita manualmente nas punções e matrizes, processo que atualmente consome 1 minuto e 15 segundos no setup do Fundo do Gabinete. As fitas são aplicadas nas punções para evitar que estas danifiquem as peças que ficam visíveis no produto final durante o processo de dobra.

Com a implementação de suportes fixos nas máquinas 2, 4 e 5 (conforme ilustrado na Figura 5), dedicadas à produção de peças pré-pintadas, espera-se a redução de 100% do tempo destinado a esta atividade, que significa uma redução de 5,10% do tempo total de setup de 24 minutos e 28 segundos, já que os suportes permanecerão fixos nas máquinas.

Vale ressaltar que as peças zincadas, que não ficam expostas no produto final, não apresentam impactos estéticos e, portanto, não exigem a mesma atenção na proteção contra amassados. Desta maneira, para os itens zincados Reforço e Base do Compressor, este percentual de redução não se aplicará.

Ação 9) Aquisição de um sistema de trava rápida para ferramentas.

Atualmente, o processo de prender e soltar as punções consome um tempo de 58 segundos no setup de Corpo de Porta 1, 5 minutos e 12 segundos no setup de Corpo de Porta 2 e uma média de 1 minuto e 20 segundos para o restante das peças analisadas. O novo sistema será implementado nas viradeiras 1, 2, 3, 4 e 5, conforme apresentado na Figura 5. Com essa ação, espera-se uma redução de 70% no tempo dedicado a essa atividade, considerando que, 30% ainda será destinado à movimentação da liberação da trava rápida. Ou seja, os novos tempos serão de 17 segundos para o Corpo de Porta 1, 1 minuto e 34 segundos para o Corpo de Porta 2 e 24 segundos para o restante das peças.

No Apêndice A, apresenta-se um quadro resumido com as ações propostas e as respectivas reduções estimadas, tendo como referência o setup mais representativo e de maior duração. As estimativas de redução para os demais setups analisados foram calculadas com base nas reduções mencionadas nas ações 1 a 9 e estão demonstradas nas Equações 2 a 6 apresentadas na Tabela 3 (Matriz de Setup Futura).

A) Estimativa de Redução Setup Reforço:

$$00:15:48 - (00:01:25 + 00:01:55 + 00:00:56) = 00:10:26 \quad (2)$$

B) Estimativa de Redução Setup Duto:

$$00:11:00 - (00:01:54 + 00:00:46 + 00:01:20 + 00:00:56 + 00:00:34) = 00:06:30 \quad (3)$$

C) Estimativa de Redução Setup Corpo de Porta 1:

$$00:11:43 - (00:02:29 + 00:00:49 + 00:01:25 + 00:00:41 + 00:00:36) = 00:05:43 \quad (4)$$

D) Estimativa de Redução Setup Corpo de Porta 2:

$$00:20:35 - (00:04:22 + 00:01:26 + 00:02:30 + 00:03:38 + 00:01:03) = 00:12:59 \quad (5)$$

E) Estimativa de Redução Base do Compressor:

$$00:11:41 - (00:02:30 + 00:00:49 + 00:01:25 + 00:00:56) = 00:06:01 \quad (6)$$

Após a implementação das ações propostas, projeta-se uma redução expressiva nos tempos de setup, conforme evidenciado na Tabela 3. As porcentagens apresentadas foram calculadas com base na diferença entre o tempo total do tempo de cada setup analisado e o tempo reduzido após realização das ações 1 a 9.

Tabela 2: Matriz de Setup Futura.
MATRIZ DE SETUP - VIRADEIRAS

Legenda	Anterior	Estimado					
FAMÍLIAS	Fundo Gabinete	Reforço	Duto	Corpo Porta - 1	Corpo Porta - 2	Fundo Tanque	Base Compressor
Fundo Gabinete							00:11:41 48,50% 00:06:01
Reforço							
Duto		00:15:48 33,97% 00:10:26		00:11:43 51,21% 00:05:43	00:20:35 36,92% 00:12:59		
Corpo Porta - 1							
Corpo Porta - 2							
Fundo Tanque	00:24:28 53,00% 00:11:30		00:11:00 40,91% 00:06:30				
Base Compressor							

Fonte: Autoria própria.

Os resultados apresentados evidenciam possíveis reduções expressivas nos tempos de setup, comprovando o alcance da meta de 30% de redução estabelecida para todas as trocas analisadas. Em alguns casos, os tempos foram reduzidos pela metade, demonstrando a eficiência e robustez das estratégias implementadas.

A aplicação da metodologia SMED revelou-se altamente eficaz ao identificar atividades que poderiam ser eliminadas, simplificadas ou realizadas externamente ao tempo de máquina parada. Esse resultado reforça o impacto positivo da ferramenta não apenas na diminuição do tempo de setup, mas também na melhoria geral da produtividade e na redução de desperdícios associados aos processos.

Com a redução dos tempos de setup analisados, tanto nos processos atuais quanto nos futuros, estima-se que a redução média total atingirá 44,09%. Esse progresso é refletido na diminuição do percentual de tempo de setup, que passará de 7,32% para 4,09%, contribuindo diretamente para o aumento da disponibilidade das máquinas. Como consequência, o OEE será elevado de 59,88% para 63,11%, consolidando os ganhos em eficiência e produtividade. Esses resultados reforçam o impacto estratégico do SMED na otimização dos processos produtivos.

Esses avanços também consolidam a importância de uma abordagem estruturada e analítica para a otimização dos processos, confirmando que o investimento em ferramentas de melhoria contínua não apenas atinge metas de redução, mas também impulsiona a eficiência global do sistema produtivo.

Recomenda-se a realização de um novo workshop do SMED (passo 8) após seis meses da implementação das ações. Esse workshop será essencial não apenas para garantir a continuidade das melhorias implementadas, mas também para identificar novas oportunidades de otimização que possam surgir, especialmente considerando a variabilidade dos produtos fabricados.

CONCLUSÕES

O objetivo deste trabalho foi aplicar a metodologia SMED nas máquinas viradeiras de uma empresa de refrigeradores comerciais, visando a redução da meta de 30% do tempo de setup proposta no passo 2 e, conseqüentemente, o aumento da produtividade. Por meio da análise detalhada das operações de setup e da implementação de melhorias baseadas nas fases do SMED, este estudo buscou oferecer uma solução prática e teórica para otimização dos processos de produção, com foco na redução de variabilidade, no aumento da disponibilidade

das máquinas e na melhoria da eficiência global do equipamento (OEE), em que se verificou um aumento de 3,23% no OEE.

O principal resultado esperado com a implementação da metodologia SMED foi a redução significativa no tempo de setup das viradeiras, o que resultará em um aumento na produtividade das máquinas e na eficiência do processo de fabricação. A aplicação das ferramentas de mapeamento de processos e análise de tempo permitiu identificar as atividades que podem ser reduzidas ou eliminadas durante os setups, otimizando o uso do tempo e os recursos disponíveis. Essa redução no tempo de setup também visou contribuir em uma maior flexibilidade na produção, possibilitando a fabricação de uma variedade maior de componentes metálicos sem comprometer a eficiência operacional.

Em termos teóricos, o estudo reforça a importância da aplicação do SMED no contexto de empresas de manufatura, especialmente aquelas que enfrentam altos índices de setup devido à diversidade de componentes produzidos. Além disso, a pesquisa contribui para o entendimento das implicações da metodologia SMED em ambientes industriais com equipamentos como as viradeiras, trazendo novos insights sobre a adaptação da metodologia a diferentes cenários.

Para futuras pesquisas, recomenda-se a continuidade da aplicação da metodologia SMED em outros tipos de máquinas e processos, para explorar sua adaptabilidade e os efeitos em diferentes cenários de produção.

Em suma, a aplicação do SMED demonstrou ser uma abordagem eficiente para a redução do tempo de setup e aumento da produtividade, mas ainda há espaço para novas investigações e ajustes nas práticas para garantir resultados sustentáveis e de longo prazo no ambiente industrial.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- BUSSO, C. M.; MIYAKE, D. I. **Análise da aplicação de indicadores alternativos ao Overall Equipment Effectiveness (OEE) na gestão do desempenho global de uma fábrica.** *Production*, São Paulo, v. 23, n. 2, p. 205–225, 2013. Disponível em: <https://doi.org/10.1590/S0103-65132012005000068>. Acesso em: 17/09/2024.
- EDWARDS, J. N. **MRP and Kanban-American Style.** APICS 26th Conference Proceedings, 586-603, 1983.
- GIL, A. C. **Como elaborar projetos de pesquisa.** São Paulo: Atlas. 4ed, 2002.
- GOMES, D. et al. **Aplicando 5S na gestão da qualidade total.** São Paulo: Pioneira, 1998.
- HOPP, W. J. **A ciência da fábrica.** 3 ed. Porto Alegre: Bookman, 2013.
- Hirano, H. **JIT Factory Revolution: A Pictorial Guide to Factory Design of the Future.** Cambridge: Productivity Press. ISBN 0-915299-44-5, 1988.
- KUŠAR, J. **Reduction of machine setup time.** *Strojnicki Vestnik/Journal of Mechanical Engineering*, v. 56, n. 12, p. 833–845, 2010.
- LEHN, P. D. **A importância da definição e padronização dos tempos na determinação da capacidade produtiva.** *Revista Pesquisa e Ação*, v. 4, n. 2, 2018.
- MARTINS, P. G.; LAUGENI, F. P. **Administração da Produção.** 3ed. São Paulo: Saraiva, 2015.
- OHNO, T. **O Sistema Toyota de Produção: além da produção em larga escala.** 2. ed. São Paulo: Editora McGraw-Hill, 1997.
- OLIVEIRA, F. S.; MENDES, L. D. S.; COSTA, R. A. **Implantação do sistema de produção enxuta em uma indústria de autopeças utilizando a metodologia lean manufacturing.** *Anais do X SIMPROD*, 2018.
- OLIVEIRA, M.; BATISTA, S.; REIS, D.; VERONEZE, G.; MACIEL, R. **Application of FMEA for improvement in the manufacturing process of mobile phones in a factory of the Industrial Pole of Manaus.** *International Journal for Quality Research*, [s. l.], v. 13, n. 4, p. 1021–1036, 2019.
- SHINGO, S. **A revolution in manufacturing: The SMED System.** Cambridge: Productivity Press, 1985.

SHINGO, S. **Sistema de Troca Rápida de Ferramenta**. Bookman. Porto Alegre, 2000.

TUBINO, D. F. **Manufatura Enxuta como Estratégia de Produção: A Chave para a Produtividade Industrial**. São Paulo: Atlas, 2015.

VAN, G. D.; VAN, G. H. **Rules for integrating fast changeover capabilities into new equipment design**. Robotics and Computer Integrated Manufacturing, vol. 18, p. 205-214, 2002.

WOMACK, J. P.; Jones, D. T. **Lean thinking. Banish waste and create wealth in your corporation**. New York: Simon & Schuster, 1996.

YIN, Robert K. **Estudo de caso: planejamento e métodos**. 4. ed. Porto Alegre: Bookman, 2010.

APÊNDICE A – Reduções do Setup do Fundo Menor

SETUP ANALISADO	DIAGNÓSTICOS	AÇÕES	PROPOSTAS	REDUÇÃO (SETUP)	SETUPS APLICÁVEIS
FUNDO GABINETE	<p>Falta de especialização</p> <p>Tempo elevado para preenchimento do registro de inspeção (2 minutos)</p> <p>Tempo elevado para busca de ferramentas (1 minuto e 31 segundos)</p> <p>Movimentação excessiva: 89 passos = 72,98 metros</p>	<p>Definição de um “preparador”</p> <p>Confecção de 2 carrinhos</p>	<p>Execução mais ágil</p> <p>Mitigação do tempo gasto para o registro de inspeção</p> <p>Mitigação do tempo destinado à busca de ferramentas</p> <p>Redução da movimentação para 11 passos = 13,41 metros</p> <p>Redução de 25% do tempo total de setup</p>	6 minutos e 7 segundos	FUNDO GABINETE
					REFORÇO
					DUTO
					CORPO PORTA 1
					CORPO PORTA 2
					BASE COMPRESSOR
	<p>Tempo elevado para procura de ferramentas (1 minuto e 42 segundos)</p>	<p>Definição de um “preparador”</p> <p>Aquisição de armário</p> <p>Aplicação do 5S</p> <p>Confecção de uma mesa com suporte</p> <p>Mudança no layout</p>	<p>Mitigação do tempo de procura de ferramentas durante o setup, reduzindo 6,97% do tempo total de setup</p>	1 minuto e 42 segundos	FUNDO GABINETE
					REFORÇO
					DUTO
					CORPO PORTA 1
					CORPO PORTA 2
					BASE COMPRESSOR
	<p>Tempo elevado para ajustes de parâmetros (4 minutos e 14 segundos)</p>	<p>Padronização de programas entre máquinas</p>	<p>Redução de 70% do tempo gasto de 4 minutos e 14 segundos, reduzindo 12,13% do tempo de setup total</p>	2 minutos e 58 segundos	FUNDO GABINETE
					REFORÇO
					DUTO
					CORPO PORTA 1
					CORPO PORTA 2
					BASE COMPRESSOR
	<p>Quantidade elevada de setup, ocasionando baixo índice de disponibilidade (53,93%)</p>	<p>Padronização da produção de peças por viradeira</p>	<p>Diminuição significativa na frequência de setups, aumentando o percentual de disponibilidade das máquinas</p>	-	FUNDO GABINETE
					REFORÇO
					DUTO
					CORPO PORTA 1
					CORPO PORTA 2
					BASE COMPRESSOR
<p>Tempo elevado para cortar e aplicar fita manualmente nas punções e matrizes (1 minuto e 15 segundos)</p>	<p>Implementação de um suporte com película de poliuretano</p>	<p>Mitigação do tempo gasto destinado à atividade, que representa 5,10% do tempo total de setup</p>	1 minuto e 15 segundos	FUNDO GABINETE	
				DUTO	
				CORPO PORTA 1	
				CORPO PORTA 2	
<p>Tempo elevado dedicado à remoção e fixação das punções (1 minuto e 20 segundos)</p>	<p>Aquisição de um sistema de trava rápida para ferramentas</p>	<p>Mitigação de 70% tempo gasto destinado à atividade</p>	56 segundos	FUNDO GABINETE	
				REFORÇO	
				DUTO	
				CORPO PORTA 1	
				CORPO PORTA 2	
				BASE COMPRESSOR	

Fonte: Autoria própria.