



OTIMIZAÇÃO DO PROCESSO DE SET UP EM UMA MÁQUINA CORTE E DOBRA INDUSTRIAL¹

OPTIMIZATION OF THE SET UP PROCESS IN AN INDUSTRIAL CUTTING AND BENDING MACHINE

Raiane Rodrigues Negrao | raiane.negrao@outlook.com | FATEC SJC

Newton E. Yamada | newton.yamada@fatec.sp.gov.br | FATEC SJC

RESUMO

Este estudo tem como objetivo melhorar os procedimentos de *set up* em uma máquina de corte e dobra industrial de tela para tubos, utilizando metodologias de melhoria contínua como troca rápida de ferramentas (SMED), diagrama de espaguete e cronoanálise que pertencem e integram a filosofia da Manufatura Enxuta (*Lean manufacturing*). A otimização por meio da análise de campo, levantamento dos tempos de *set up* e revisão da literatura técnica disponível possibilitou identificar gargalos no processo de troca de ferramentas, permitindo a implementação de melhorias que culminaram na redução de tempo significativa. O resultado obtido foi uma redução no tempo de *set up* de até 30%, refletindo diretamente na eficiência operacional, produtividade e maior segurança dos colaboradores com a redução de intervenções não programadas como por exemplo, início do *set up* sem ter todos os recursos disponíveis. Conclui-se que com a otimização do processo de *setup* na máquina corte e dobra industrial, houve aumento de produtividade e percepção de maior segurança para os colaboradores.

Palavras-chaves: Cronoanálise. Eficiência industrial. Otimização. Troca de ferramentas.

ABSTRACT

This study aims to improve the setup procedures of an industrial tube screen cutting and bending machine, using continuous improvement methodologies such as quick tool change (SMED), spaghetti diagram and chronoanalysis that belong to and integrate the Lean Manufacturing philosophy. Optimization through field analysis, set-up time survey and review of available technical literature made it possible to identify bottlenecks in the tool change process, allowing the implementation of improvements that culminated in a significant time reduction. The result obtained was a reduction in set-up time of up to 30%, directly reflecting on operational efficiency, productivity and greater employee safety with the reduction of unscheduled interventions such as starting the set-up without having all the resources available. It is concluded that with the optimization of the setup process in the industrial cutting and bending machine, there was an increase in productivity and a perception of greater safety for employees.

Keywords: Chronoanalysis. Industrial efficiency. Optimization. SMED.

¹ Artigo apresentado no Congresso Cimatech da Fatec de São José dos Campos, 2024

1. INTRODUÇÃO

No cenário dinâmico da indústria moderna, a busca pela eficiência operacional é uma constante. Neste contexto, a otimização dos procedimentos de *setup* em máquinas industriais é crucial para minimizar tempos de inatividade e maximizar a produtividade. Conforme Shingo em seu livro “*Zero Quality Control: Source inspection and the poka-yoke system*” não se pode ter uma produção adequada a menos que sejam minimizadas todas as formas de perda (Shingo, 1996).

Este trabalho foca na análise e melhoria dos *setups* em uma máquina de tela para tubos, visando a redução do tempo necessário para a preparação da máquina e o aumento da eficiência operacional. Este estudo oferece, além dos benefícios práticos específicos para a máquina analisada, um modelo que pode ser adaptado a outros contextos industriais.

As ferramentas e metodologias aplicadas são suficientemente flexíveis para serem replicadas em diferentes ambientes produtivos, mediante ajustes conforme as características particulares de cada processo. Dessa forma, o trabalho não apenas busca resolver problemas pontuais, mas também fornecer um referencial para outras organizações interessadas em aprimorar seus processos de *set up* e alcançar níveis elevados de produtividade e segurança (Moura *et al.*, 2024).

2. EMBASAMENTO TEÓRICO

A fundamentação teórica deste estudo aborda metodologias como *lean manufacturing*, troca rápida de ferramentas e diagrama de espaguete, que auxiliam na identificação e eliminação de desperdícios no processo de *setup*. A troca rápida de ferramenta por exemplo, propõe a separação entre atividades internas e externas no *set up*, permitindo uma preparação mais ágil e eficiente da máquina (Shingo, 1996).

2.1 Ferramentas de melhoria contínua e técnicas de otimização de *Set up*

O tempo de *set up*, definido como o tempo necessário para preparar uma máquina para uma nova operação, é um dos fatores críticos na eficiência de processos produtivos. A otimização do *set up* é crucial para minimizar tempos de inatividade e maximizar a produtividade (Moura; Moura, 2019).

Conforme Shingo (1996), a redução das perdas durante o *setup* é vital para a produção eficiente. A aplicação de técnicas como a Troca Rápida de Ferramentas (TRF) e outras metodologias de melhoria contínua pode resultar em ganhos significativos tanto em produtividade quanto em segurança operacional.

Lean manufacturing é uma filosofia de gestão focada na eliminação de desperdícios e na maximização do valor para o cliente. Segundo Womack e Jones (1998), os princípios fundamentais do *Lean* incluem a definição de valor do ponto de vista do cliente, a identificação e eliminação de desperdícios, e a criação de um fluxo contínuo nos processos de produção. Aplicando esses princípios ao *setup*, é possível identificar atividades que não agregam valor e, portanto, devem ser eliminadas ou reduzidas (Sousa *et al.*, 2024).

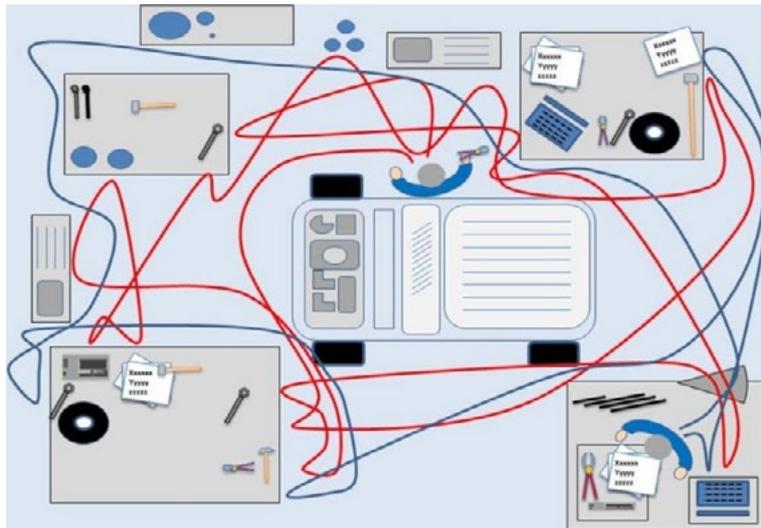
2.2 Troca rápida de ferramentas (SMED)

A troca rápida de ferramentas ou SMED (*Single Minute Exchange of Die*) é uma técnica desenvolvida para reduzir significativamente o tempo de *setup*. propõe que os *setups* podem ser otimizados através da separação das operações internas (que só podem ser realizadas com a máquina parada) das operações externas (que podem ser realizadas com a máquina em operação). Ao transformar operações internas em externas e simplificar o processo de *setup*, o SMED pode reduzir drasticamente o tempo de preparação de máquinas (Shingo, 1996).

2.3 Diagrama de espaguete

O Diagrama de espaguete é uma ferramenta visual utilizada para mapear o movimento de operadores e materiais no chão de fábrica. Essa técnica ajuda a identificar movimentos desnecessários e otimizar o leiaute da área de trabalho. Ao aplicar o Diagrama de Espaguete no *set up*, é possível reduzir o tempo e o esforço envolvidos, melhorando a eficiência geral do processo. Conforme ilustrado na Figura 1, o processo de movimentação dos operadores no chão de fábrica é otimizado para minimizar deslocamentos desnecessários (Martin; Osterling, 2014).

Figura 1 | Diagrama de espaguete ilustrando o fluxo de movimentação dos operadores.



Fonte: Novidá (2024).

2.4 Cronoanálise

A cronoanálise envolve a medição precisa do tempo gasto em cada etapa do processo de *set up*. De acordo com Barnes (1980), essa técnica permite uma análise detalhada das atividades, ajudando a identificar gargalos e áreas de melhoria e carga mental de trabalho (De Moura *et al.*, 2023). A cronoanálise é essencial para estabelecer uma linha de base e medir o impacto das melhorias implementadas como ilustrado na Figura 2.

Figura 2 | Cronoanálise

Estudo do Processo		Processo: Linhas do Tubo de Combustível P, G, A				Observador: Antônio Carlos				Data/Hora: 20 Set. 2024 15:00h		Página 1/1		
ETAPAS DO PROCESSO	OPERADOR										MÁQUINA Tempo de Ciclo	Observações		
	Elemento de Trabalho	Tempo				Observado		Menor Repetido						
Montagem I	Pegar o tubo dobrado e apertar no dispositivo de fixação	6	6	5	5	4	5				5		Operador deve martelar para fixar	
	Pegar o conector, colocar e grampear	4	4	4	3	4					4		Operador empilha as suas próprias mangueiras (peças)	
	Pegar a mangueira e colocar no dispositivo de fixação	4	5	4	4	4					4	4		
	Iniciar o ciclo										1			
	Soltar e Retirar	2	2	3	2	2	2					2		
	Prender a mola	8	6	7	6	7	5					6		
Montagem II	Pegar o tubo e colocar no dispositivo de fixação	5	5	4	5	5					5			
	Pegar a mangueira e montar a braçadeira do lado direito	4	4	5	4	4					4		Peças distantes; muita caminhada	
	Colocar no dispositivo de fixação e grampear	3	4	4	4	4					4			
	Pegar a braçadeira do lado esquerdo e montar na mangueira	5	4	4	3	4	4					4		
	Colocar no dispositivo de fixação e grampear	4	4	4	4						4			
	Pegar a válvula e colocar no dispositivo de fixação	5	4	4	4						4			
	Iniciar o ciclo										1	7		
	Soltar e Retirar	5	4	4	3	4					4		Há necessidade de inspecionar a qualidade?	

Fonte: Autores (2024).

2.5 Segurança e bem-estar dos colaboradores

A otimização dos procedimentos de *set up* nas empresas é fundamental para melhorar a eficiência interna e gerar impactos econômicos e sociais significativos. Moura, Jesus e Souza (2019) destacam que a redução do tempo de *set up*, através do método *Single Minute Exchange of Die* (SMED), aumenta a flexibilidade e a capacidade de resposta das empresas, essencial para a competitividade.

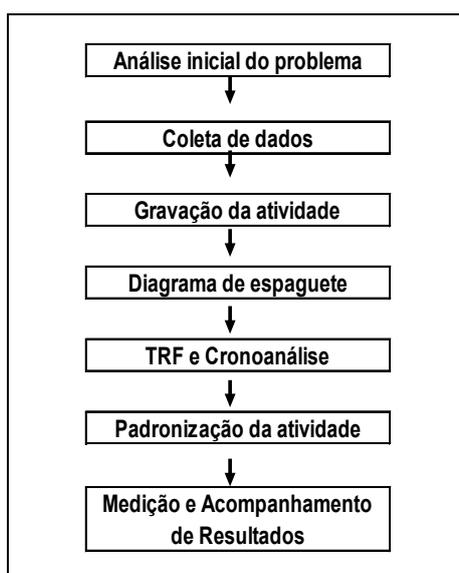
Slack, Chambers e Johnston (2007) enfatizam que a melhoria dos processos produtivos também beneficia as condições de trabalho, reduzindo o estresse e a carga de trabalho dos colaboradores. Isso promove um ambiente de trabalho mais seguro e saudável, aumentando a satisfação e a produtividade dos funcionários (Oliveira *et al.*, 2023).

3. METODOLOGIA

Neste capítulo serão detalhadas as estratégias adotadas, incluindo o planejamento do sequenciamento de materiais, dimensionamento de recursos, implementação de técnicas de melhoria contínua e aplicação de ferramentas de análise de campo.

O projeto foi realizado com o objetivo de melhorar o desempenho de uma máquina que apresentava *set ups* demorados, afetando diretamente sua eficiência. A abordagem do problema seguiu uma sequência de etapas ilustradas na Figura 3.

Figura 3 | Etapas da pesquisa



Fonte: Autores (2024).

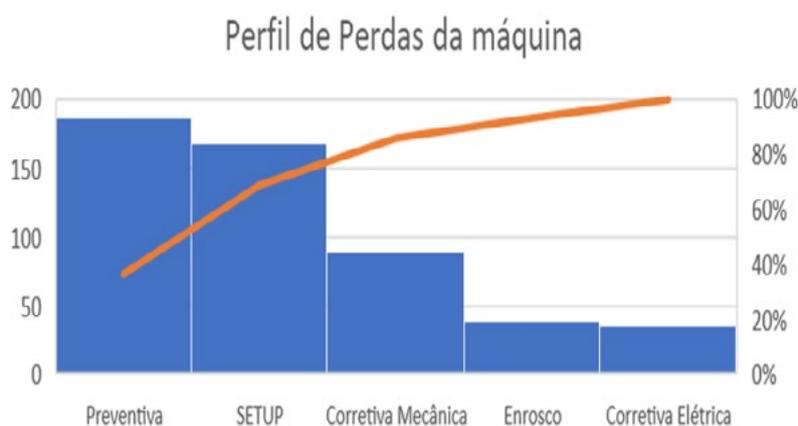
A primeira etapa consistiu no levantamento e estudo dos indicadores de desempenho da máquina. Foram analisados dados referentes a um período de seis meses.

Nessa análise, foram avaliados o tempo e a frequência de cada interrupção da máquina, em especial os *set ups*, que se mostraram como um dos principais gargalos, tanto pelo número de ocorrências quanto pela duração excessiva de cada um.

4. RESULTADOS E DISCUSSÕES

A investigação para entender as causas dos gargalos são ilustrados na Figura 4 sobre o perfil de perdas da máquina.

Figura 4 | Perfil de perdas da máquina durante o período analisado.



Fonte: Autores (2024).

Detalhamento e o levantamento de todas as possibilidades de *set up* para cada material processado pela máquina.

Após a análise dos indicadores, foi realizada uma avaliação detalhada no ambiente de trabalho, focada nos *set ups*. Essa análise envolveu o acompanhamento direto do processo de *setup* com diferentes operadores, permitindo observar as variações nos tempos de execução e identificar as etapas que geravam mais desperdício de tempo.

O mapeamento do fluxo de atividades foi fundamental para detectar ineficiências e apontar oportunidades de melhoria.

No Quadro 1, foram mapeadas as partes específicas da máquina que exigem ajustes durante o *set up*, assim como a porcentagem de intervenções em cada uma dessas áreas. Esse detalhamento

permitiu uma visualização clara das áreas de maior impacto no tempo total de *set up*, facilitando o direcionamento das ações de melhoria.

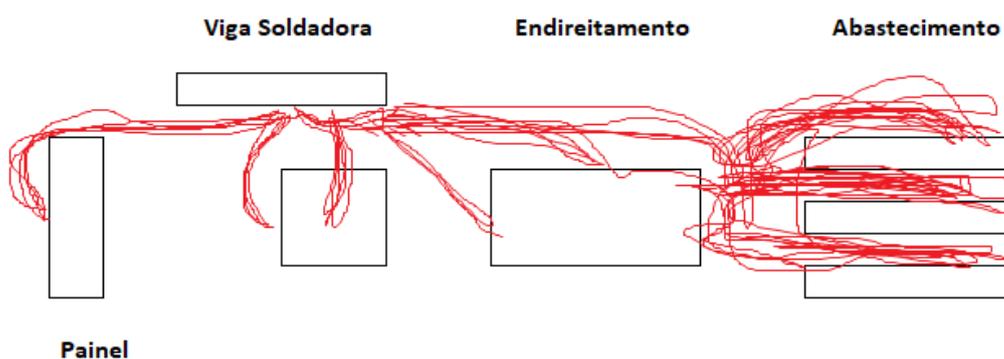
Quadro 1 | Levantamento dos ajustes de *setup* em cada situação.

Tipos	Abastecimento	Endireitamento	Looping	Prensa	Solda	Bandeja	Unidade de Avanço	Modificação(%)
PN01 x PN01	X	X	X		X			57,14%
PN01 x PN02	X	X	X	X	X	X	X	100,00%
PN02 x PN01	X	X	X	X	X	X	X	100,00%
PN03 x PN03	X	X	X		X		X	57,14%
PN02 x PN02	X	X	X	X		X		71,43%
PN03 x PN01	X	X	X		X		X	71,43%
PN02 x PN03	X	X	X	X	X	X	X	100,00%
PN01 x PN03	X	X			X			42,86%
PN03 x PN02	X	X	X	X	X	X	X	100,00%

Fonte: Autores (2024).

Após a análise dos indicadores, foi realizada uma avaliação de campo, focada nas atividades de *setup*. Durante essa fase, foram realizadas gravações em vídeo dos *setups* e cronoanálise com o cenário mais crítico, conforme foi mapeado, capturando todas as atividades executadas pelos operadores. Com as gravações em vídeo, também foi possível elaborar o diagrama de espaguete, o que permitiu visualizar o fluxo de trabalho e identificar movimentações desnecessárias conforme ilustra Figura 5.

Figura 5 | Diagrama de espaguete elaborado para análise de movimentações no fluxo de trabalho.

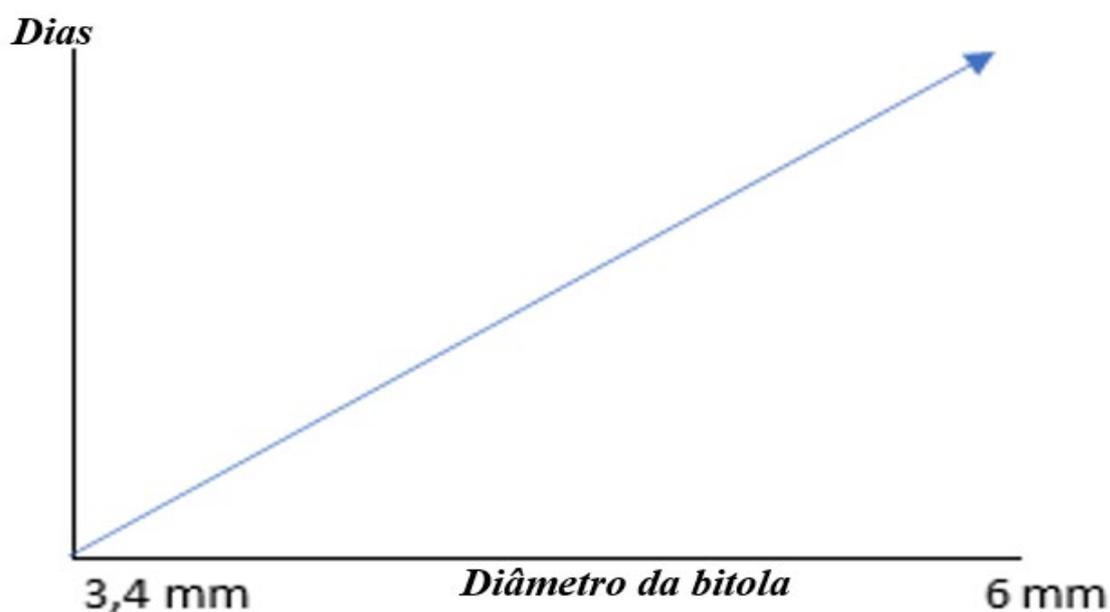


Fonte: Autores (2024).

Com o mapeamento detalhado de cada ação foi classificado duas classes, as macroatividades e microatividades. A partir desse mapeamento, foi possível identificar atividades que poderiam ser eliminadas, controladas ou melhoradas, visando a otimização do processo.

A primeira condição identificada foi a necessidade de organizar o sequenciamento dos materiais conforme a espessura (bitola) do material. O fluxo otimizado deveria seguir um padrão crescente, começando com as bitolas menores e aumentando até a maior. Após atingir a maior bitola, o sequenciamento deve voltar para a menor e iniciar novamente a subir de forma crescente, conforme a demanda. Esse padrão permite uma transição mais suave entre *set ups*, evitando o retrabalho de ajustes complexos na máquina ao alternar entre bitolas muito diferentes conforme a Figura 6.

Figura 6 | Representação de uma programação ideal de sequenciamento de bitola.



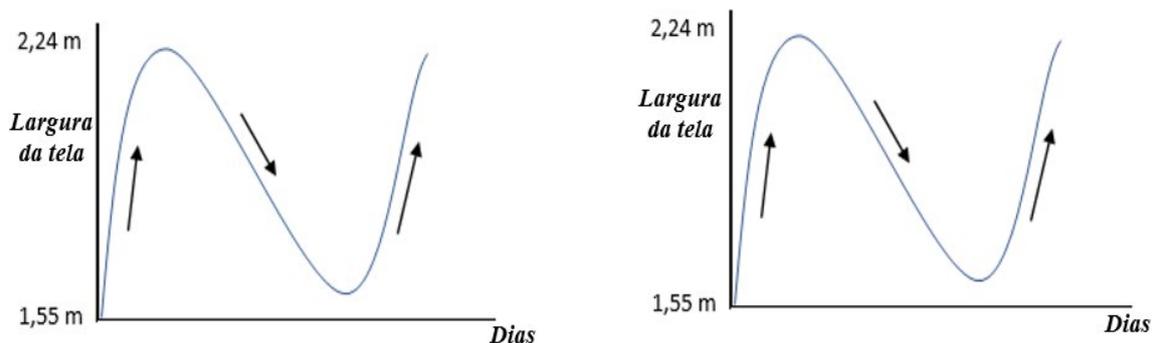
Fonte: Autores (2024).

A segunda condição tratou da sequência em termos de dimensão. Se o mês anterior finalizou com a máquina operando na maior dimensão de material, o ideal seria continuar o processo descendente no próximo ciclo, ajustando progressivamente para dimensões menores.

Quando necessário, o processo deveria subir novamente de forma sequencial, garantindo uma transição gradual e ordenada.

Esse método de sequenciamento contínuo minimiza os ajustes radicais na máquina, reduzindo o tempo e o esforço necessários para cada *set up* conforme a Figura 7.

Figura 7 | Representação de uma programação ideal de sequenciamento de dimensão.



Fonte: Autores (2024).

Essas duas condições visam maximizar a eficiência da programação ao permitir que a máquina opere de forma contínua e otimizada, sem que sejam necessários ajustes significativos entre *setups*, o que contribui diretamente para a redução do tempo de parada.

Durante a análise dos *setups* mais demorados, foi possível mapear diversas etapas que apresentavam desperdícios significativos de tempo. Dentre esses, um dos principais problemas identificados foi a movimentação desnecessária dos operadores.

Os operadores precisavam percorrer grandes distâncias para buscar ferramentas e insumos, o que aumentava o tempo total de *setup*.

Outro desperdício identificado foi o fato de que a equipe operacional preparava os insumos necessários para o *setup* enquanto a máquina já estava parada, prolongando o tempo de inatividade.

Durante a análise, foi constatado que os operadores não seguiam um padrão formalizado para a realização dos *setups*, o que gerava inconsistências no processo e aumentava o tempo de operação. Não havia um documento que consolidasse os principais pontos e parâmetros da máquina já mapeados, o que dificultava a execução eficiente dos *setups*.

As entrevistas com operadores e equipe técnica foram realizadas para obter uma perspectiva prática das dificuldades e facilidades no processo de *setup*.

Os operadores foram incentivados a descrever os passos que consideravam mais demorados ou complexos, permitindo o levantamento de sugestões sobre melhorias potenciais.

5. ANÁLISE DOS RESULTADOS

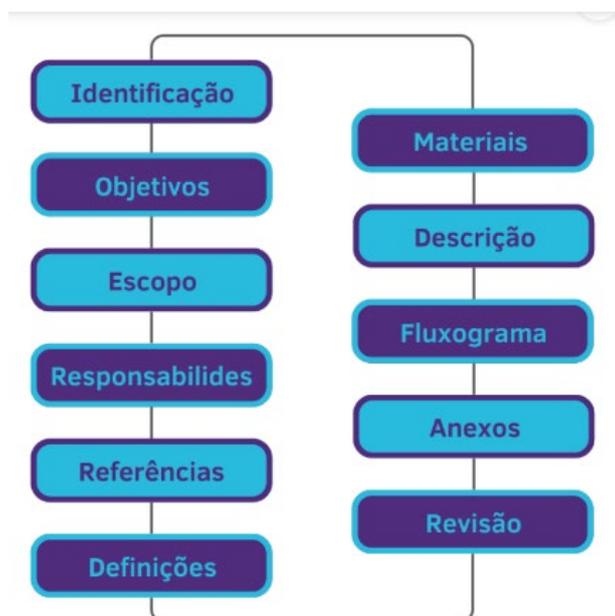
Nesta seção, será apresentada uma análise crítica dos resultados obtidos ao longo do projeto, com base nas técnicas e metodologias aplicadas, comparando-os com as expectativas traçadas na fundamentação teórica. O objetivo é verificar a eficácia das estratégias adotadas, bem como apontar possíveis limitações e áreas de melhoria.

Os resultados foram coletados por meio da aplicação de técnicas como o Diagrama de Espaguete, a Cronoanálise, e a Troca Rápida de Ferramentas (TRF), além da implementação de um padrão formal de *setup* e do treinamento dos operadores.

5.1 Padronização e treinamento

A formalização de um padrão de *setup*, incluindo a criação de vídeos operacionais e a realização de treinamentos “*in loco*”, foi outra ação de destaque. A padronização dos procedimentos, aliada ao acompanhamento de uma semana no equipamento, resultou em maior consistência na execução dos *setups*, o que foi essencial para garantir a sustentabilidade das melhorias ao longo do tempo. Conforme mostra a Figura 8.

Figura 8 | Estrutura de procedimentos operacionais padrão



Fonte: Docnix (2024).

5.2 Desperdícios minimizados no processo

Na análise dos *set ups* mais demorados, foram mapeadas etapas com desperdícios significativos de tempo, destacando-se a movimentação desnecessária dos operadores. Eles precisavam percorrer grandes distâncias para buscar ferramentas e insumos, o que aumentava o tempo total de *setup*. Para minimizar esse desperdício, foi realizada uma reestruturação do *layout* da área de trabalho, posicionando os materiais e ferramentas mais próximos dos pontos de uso, facilitando o acesso e reduzindo significativamente o tempo perdido com deslocamentos.

5.3 Redução do tempo de *set up*

A redução do tempo de *setup* foi uma das principais metas deste projeto. Com todas as etapas concluídas, houve uma diminuição de um pouco mais de 30% no tempo médio de *setup*, comparado com os valores ilustrados na Figura 9, onde está a média dos 6 meses anteriores a implementação da melhoria. Esse resultado está alinhado com as expectativas teóricas, que sugerem que a aplicação de técnicas mencionadas anteriormente.

Figura 9 | Comparação do tempo de *setup* antes e depois das melhorias.



Fonte: Autores (2024).

No início do estudo, o processo de *set up* apresentava altos níveis de desperdício, principalmente devido à movimentação excessiva dos operadores e à preparação dos insumos durante a parada da máquina. Essa dinâmica resultava em *set ups* prolongados, reduzindo a eficiência geral da operação. A simplificação dos ajustes e a organização do fluxo de trabalho foram essenciais para alcançar os resultados esperados.

6. CONSIDERAÇÕES FINAIS

Os resultados obtidos ao longo deste estudo mostram que a aplicação das metodologias de melhoria contínua, como a troca rápida de ferramentas e o diagrama de espaguete, foi eficaz na redução do tempo de *set up* e no conseqüente aumento da eficiência operacional da máquina analisada. A otimização do processo permitiu não apenas uma significativa diminuição do tempo ocioso, mas também contribuiu para uma melhor utilização dos recursos produtivos.

Ressalta-se que uma limitação deste estudo é que ele depende do comprometimento dos operadores em aderir às novas práticas, o que pode variar ao longo do tempo, impactando a sustentabilidade das melhorias implementadas, para garantir a sustentabilidade das melhorias implementadas, faz-se necessário a manutenção das práticas estabelecidas.

O treinamento contínuo dos operadores, a revisão periódica dos padrões operacionais e a adaptação das soluções conforme mudanças no ambiente produtivo. Somente com essa abordagem será possível assegurar que os benefícios obtidos ao longo deste estudo se perpetuem no longo prazo, contribuindo para a competitividade e eficiência do processo.

Outro desperdício identificado foi o fato de que a equipe operacional preparava os insumos necessários para o *set up* enquanto a máquina já estava parada, prolongando o tempo de inatividade. Para resolver esse problema, foi implementada uma nova abordagem, na qual os insumos já estariam preparados e dispostos antes do início do *set up*, de modo que os operadores pudessem acessá-los imediatamente quando necessário, sem que a máquina precisasse parar para aguardar essa preparação. Essa alteração não apenas reduziu o tempo de *set up*, mas também garantiu que a máquina ficasse o menor tempo possível fora de operação, aumentando a eficiência do processo.

REFERÊNCIAS

- BARNES, R. M. Estudo de Movimentos e de Tempos: Projeto e Medida do Trabalho. Edgard Blücher, 1980.
- DE MOURA, R. A.; OLIVEIRA, M. R.; SILVA, M. B. 2023. Neurociência para leigos: o papel do hipocampo no aprendizado e na memorização consolidada. ODS n. 04. Oct 2023. XII CICTED: Congr. Intern. Ciência, Tecn. e Desenvolvimento. Unitau. DOI:[10.29327/XIICICTED23.734223](https://doi.org/10.29327/XIICICTED23.734223)
- DOCNIX. Procedimentos operacionais. Estrutura de procedimentos operacionais padrão. Disponível em: <https://docnix.com.br/documentos-registros/procedimentos-operacionais-padrao-pedronizacao-eficiente/>. Acesso em: 20 out. 2024.
- MARTIN, K.; OSTERLING, M. Mapeamento de Fluxo de Valor: Como Visualizar Trabalho e Alinhar Liderança para Transformação Organizacional. McGraw-Hill, 2014.
- MOURA, R. A.; ANJOS, G. F. C.; MONTEIRO, M. C.; GOUSSAIN, B. G. C. S. Delineamento de experimentos (DoE) e neuroergonomia aplicados em processos fabris. Revista Sodebras. Vol. 19. n° 221, pp 31-36. 2024. ISSN 1809-3957. DOI: <https://doi.org/10.29367/stz4kf04>
- MOURA, R. A.; JESUS, N. M. R.; SOUZA, R. S. Antropometria e ergonomia como ferramentas de vanguarda produtivas nas indústrias do futuro. Revista Sodebras. Vol. 14. Ed.157. 2019, p.109-112. ISSN. 1809-3957. DOI: <https://doi.org/10.29367/issn.1809-3957.14.2019.157.109>
- MOURA, R. A.; MOURA, M. L. S. 2019. Aplicação da engenharia estrutural segura na montagem do veículo “baja” para aprendizado acadêmico e aprimoramento profissional dos discentes. Sodebras. v14. n12, pp 31-36. 2019. ISSN 1809-3957. DOI: [10.29367/issn.1809-3957.14.2019.162.31](https://doi.org/10.29367/issn.1809-3957.14.2019.162.31)
- NOVIDÁ. Diagrama de espaguete. Uma ferramenta industrial. Blog da Novidá, 2024. Disponível em: <https://www.novida.com.br/blog/diagrama-de-espaguete/>. Acesso em: 27 mai. 2024.
- OLIVEIRA, M. R. DE, MOURA, R. A. DE., & SILVA, M. B. (2023). Priming memory and its important role in learning and in the social and professional behavior of individuals: Memória Priming e seu importante papel no aprendizado e no comportamento social e profissional dos indivíduos. *Concilium*, 23(21), 1–10. <https://doi.org/10.53660/CLM-2382-23S10>
- SHINGO, S. Controle de Qualidade Zero: Inspeção na Fonte e o Sistema Poka-Yoke. Porto Alegre: Bookman, 1996.
- SOUSA, V. J. D E, RICETTO, M. R. S., MOURA, R. A. DE, OLIVEIRA, M. R. DE, & SILVA, M. B. (2024). Analysis of Management Practices in A Non-Governmental Organization. Revista De Gestão Social E Ambiental, 18(11), e09646. <https://doi.org/10.24857/rgsa.v18n11-045>
- WOMACK, J. P.; JONES, D. T. A Mentalidade Enxuta nas Empresas: Elimine o Desperdício e Crie Riqueza. Rio de Janeiro: Campus, 1998.

“O conteúdo expresso no trabalho é de inteira responsabilidade dos Autores.”