



UNIVERSIDADE FEDERAL DE PERNAMBUCO
CENTRO DE TECNOLOGIA E GEOCIÊNCIAS
DEPARTAMENTO DE ENGENHARIA QUÍMICA
CURSO DE ENGENHARIA QUÍMICA

RAFAELA MENDES MATOS

**APLICAÇÃO DO MÉTODO *SINGLE MINUTE EXCHANGE OF DIE* (SMED) NA
ATIVIDADE DE *SETUP* DA MÁQUINA CASTER**

Recife

2024

RAFAELA MENDES MATOS

**APLICAÇÃO DO *MÉTODO SINGLE MINUTE EXCHANGE OF DIE* (SMED) NA
ATIVIDADE DE *SETUP* DA MÁQUINA CASTER**

Trabalho de Conclusão de Curso apresentado ao Curso de Engenharia Química da Universidade Federal de Pernambuco, como requisito parcial para obtenção do título Bacharel em Engenharia Química.

Orientador (a): Daniella Carla Napoleão

Recife

2024

Ficha de identificação da obra elaborada pelo autor,
através do programa de geração automática do SIB/UFPE

Matos, Rafaela Mendes.

Aplicação do método Single Minute Exchange of Die (SMED) na atividade de setup da máquina caster / Rafaela Mendes Matos. - Recife, 2024.
52 : il., tab.

Orientador(a): Daniella Carla Napoleão

Trabalho de Conclusão de Curso (Graduação) - Universidade Federal de Pernambuco, Centro de Tecnologia e Geociências, Engenharia Química - Bacharelado, 2024.

1. Desperdícios. 2. Manutenção Produtiva Total. 3. setup. 4. Troca Rápida de Ferramentas. I. Napoleão, Daniella Carla. (Orientação). II. Título.

660 CDD (22.ed.)

RAFAELA MENDES MATOS

**APLICAÇÃO DO MÉTODO *SINGLE MINUTE EXCHANGE OF DIE* (SMED) NA
ATIVIDADE DE *SETUP* DA MÁQUINA CASTER**

Trabalho de Conclusão de Curso
apresentado ao Curso de Engenharia
Química da Universidade Federal de
Pernambuco, como requisito parcial para
obtenção do título de Bacharel em
Engenharia Química.

Aprovado em: 27/03/2024

BANCA EXAMINADORA

Profa. Dra. Daniella Carla Napoleão (Orientadora)
Universidade Federal de Pernambuco

Profa. Dra. Nattany Tayany Gomes de Paula (Examinadora Interna)
Universidade Federal de Pernambuco

Msc Fernanda Sobreira Silva (Examinadora Externa)
Universidade Federal de Pernambuco

Dedico este trabalho aos meus pais,
pois somente através do seu apoio
contínuo pude concluir esta jornada.

AGRADECIMENTOS

Agradeço aos meus pais, Suennia e Márcio, meu irmão Gabriel, meu avô Romão e meu parceiro Rafael por todo amor, apoio e motivação que recebi ao longo de todos esses anos e que foi fundamental para que eu continuasse o curso até o fim.

Agradeço aos meus colegas de graduação, que cruzaram o meu caminho em algum momento dessa jornada, mas que de alguma forma me ajudaram a atravessar as adversidades do curso com um sorriso no rosto, seja através de um trabalho ou em grupo, compartilhando materiais de estudo ou, simplesmente, sendo um bom ouvinte e ponto de apoio quando os desafios da graduação eram maioria em nossas vidas.

Agradeço também aos meus colegas de estágio da ASA e CBA, por todo acolhimento, suporte e mentoria, contribuindo para a minha formação e amadurecimento enquanto futura profissional da Engenharia, impulsionando-me a desbravar esse mundo tão complexo e dinâmico que é a Indústria.

Agradeço à minha gestora, Amanda Nogueira, por acreditar no meu trabalho desde o início e estar sempre disposta a me ajudar a conciliar a vida de estagiária e estudante em fim de curso, sempre da melhor forma possível.

Agradeço à minha orientadora, Daniella Napoleão, por toda compreensão, suporte, e direcionamento que me auxiliaram na elaboração deste trabalho.

Enfim, agradeço à todas as pessoas que direta ou indiretamente fizeram parte do maior desafio da minha vida, a graduação.

RESUMO

A eliminação de desperdícios é uma pauta cada vez mais discutida nas empresas que buscam por aumentar a sua competitividade frente ao mercado global através da adoção de filosofias voltadas para a produção enxuta. Um dos seis principais desperdícios identificados pela Manutenção Produtiva Total (do inglês *Total Productive Maintenance* - TPM), são as perdas por parada de máquina atreladas ao *setup*, isto é, são procedimentos de troca de configurações em uma máquina ou processo. Para mitigar esse tipo de perda muitas empresas estão adotando a metodologia de Troca Rápida de Ferramentas (do inglês *Single Minute Exchange of Die* - SMED) para reduzir o tempo gasto na mudança de configuração (*setup*) em suas operações. Com base nesse entendimento, o presente trabalho busca apresentar a implementação de um roteiro de melhoria contínua baseado na metodologia SMED realizado na atividade de troca de cilindros laminadores da máquina *caster* em uma indústria metalúrgica. Para isto, inicialmente realizou-se uma coleta de dados históricos em que foram definidos os objetivos do trabalho e a partir do menor tempo registrado dentre as atividades de troca filmados, realizou-se a padronização da atividade e levantamento de oportunidades de melhoria. Com o intuito de eliminar as anomalias observadas ao longo do trabalho, prosseguiu-se com a realização de análises metodológicas utilizando ferramentas da qualidade como diagrama de Pareto e diagrama de Ishikawa, seguidas de uma análise dos 5 Por quês, onde identificou-se a causa raiz para a anomalia de maior tempo a fim de diminuir o tempo de parada de máquina relacionada a esse problema. Por fim, como passos futuros a conclusão do projeto, espera-se a realização de novos levantamentos de melhorias a partir do novo padrão definido, bem como dos métodos de regulagens presentes na atividade de troca de cilindro.

Palavras-chave: Desperdícios; Manutenção Produtiva Total; *setup*; Troca Rápida de Ferramentas.

ABSTRACT

Eliminating waste is an increasingly discussed topic in companies seeking to increase their competitiveness in the global market through the adoption of philosophies focused on lean production. One of the six main wastes identified by Total Productive Maintenance (TPM) are losses due to machine downtime linked to setup, that is, they are procedures for changing settings in a machine or process. To mitigate this type of loss, many companies are adopting the Single Minute Exchange of Die (SMED) methodology to reduce the time spent changing configuration (setup) in their operations. Based on this understanding, the present work seeks to present the implementation of a continuous improvement roadmap based on the SMED methodology carried out in the activity of changing rolling cylinders of the caster machine in a metallurgical industry. To this end, initially a collection of historical data was carried out in which the objectives of the work were defined and based on the shortest time recorded among the filmed exchange activities, the activity was standardized and opportunities for improvement were surveyed. In order to eliminate the anomalies observed throughout the work, methodological analyzes continued using quality tools such as Pareto diagram and Ishikawa diagram, followed by 5 whys analyzes, where the cause was identified root for the longest anomaly in order to reduce machine downtime related to this problem. Finally, as future steps towards completing the project, new improvements are expected to be carried out based on the new defined standard, as well as the adjustment methods present in the cylinder exchange activity.

Keywords: Waste; Total Productive Maintenance; setup; Single Minute Exchange of Die.

LISTA DE FIGURAS

Figura 1 – Fluxograma sintetizado do processo <i>upstream</i>	16
Figura 2 – Fluxograma representativo do processo <i>midstream</i>	18
Figura 3 – Representação do método de lingotamento contínuo.	18
Figura 4 – Representação do método de lingotamento.....	19
Figura 5 – Representação do método de fundição contínua por vazamento	19
Figura 6 – Modelo de uma máquina de laminação <i>caster</i>	21
Figura 7 – Representação das etapas de laminação do alumínio até o produto acabado.	21
Figura 8 – Exemplo de diagrama de Pareto para análise dos motivos de	26
Figura 9 - Exemplo de diagrama de Ishikawa.	27
Figura 10 – Esquema representativo da execução dos 5 Porquês.	28
Figura 11 - Formulário para análise ECRS.....	29
Figura 12 – Modelo de folha de observação para análise dos tempos da atividade de troca de cilindros <i>caster</i>	31
Figura 13 – Diagrama de Pareto dos tempos <i>setup</i> por categoria.	33
Figura 14 - Capturas das filmagens da troca de cilindros, sendo (a) montagem dos mancais, (b) retirada de metal do trilho e (c) retirada dos cilindros do <i>housing</i>	35
Figura 15 – Procedimento operacional do novo padrão.....	38
Figura 16 – Modelo de <i>checklist</i> pré- <i>setup</i> de cilindros <i>caster</i>	39
Figura 17 – Tempos de troca de cilindro.	40
Figura 18 – Frequência de anomalias registradas.	41
Figura 19 – Tempo de duração das anomalias.	41
Figura 20 – Análise do diagrama de causa-efeito para análise do problema.....	43
Figura 21 – Matriz para classificação das melhorias de regulagem.	45

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 – Formulário para registro dos tempos e anomalias relacionadas ao <i>setup</i>	34
Tabela 2 – Tempos de <i>setup</i> para definição do ponto de partida e objetivo do roteiro.	34
Tabela 3 – Definição dos melhores tempos por atividade do <i>setup</i> (continua).	35
Tabela 3 – Definição dos melhores tempos por atividade do <i>setup</i> (continuação)....	36
Tabela 4 – Definição dos tempos das macroatividades do <i>setup</i>	37
Tabela 5 – Matriz de priorização 9/3/1 para definição do principal motivo causador da anomalia indisponibilidade de ponte.	42
Tabela 6 – Modelo de formulário para análise ECRS.	44
Tabela 7 – Formulário para treinamento dos padrões de regulação.....	46

LISTA DE QUADROS

Quadro 1 – Principais perdas identificadas pelo TPM.....	14
Quadro 2 – As seis grandes perdas da Manutenção Produtiva Total relacionadas à eficiência global dos equipamentos de produção.....	23
Quadro 3 – Análise dos Porquês para investigação da causa raiz para o problema de ponte rolante parada.	43

LISTA DE ABREVIATURA E SIGLAS

MES	<i>Manufacturing Execution System</i>
SMED	<i>Single Minute Exchange of Die</i>
TPM	<i>Total Productive Maintenance</i>
TPS	<i>Toyota Production System</i>

SUMÁRIO

1 INTRODUÇÃO	13
2 FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA	16
2.1 PROCESSO DE FABRICAÇÃO DO ALUMÍNIO	16
2.1.1 Produção de alumínio primário (segmento <i>upstream</i>)	16
2.1.2 Produção de intermediários (segmento <i>midstream</i>).....	17
2.1.3 Produção de transformados (segmento <i>downstream</i>)	20
2.2 DESPERDÍCIOS EM UM PROCESSO E A IMPORTÂNCIA DA PRODUÇÃO ENXUTA.....	22
2.3 SMED COMO METODOLOGIA PARA REDUÇÃO DO TEMPO DE <i>SETUP</i>	23
2.4 FERRAMENTAS DA QUALIDADE	25
2.4.1 Diagrama de Pareto.....	25
2.4.2 Diagrama de Ishikawa.....	26
2.5 OUTROS MÉTODOS DE ANÁLISE E RESOLUÇÃO DE PROBLEMAS	27
2.5.1 5 Porquês.....	27
2.5.2 Método ECRS.....	28
3 METODOLOGIA.....	30
3.1 ESCOLHA DO <i>SETUP</i> E DEFINIÇÃO DE MÉTRICAS E OBJETIVOS	30
3.2 DEFINIÇÃO DO PADRÃO ATUAL	30
3.3 DEFINIÇÃO DE SISTEMA DE REGISTRO DE TEMPOS E ANOMALIAS ...	31
3.4 ANÁLISE E RESOLUÇÃO DE ANOMALIAS	32
3.5 MELHORAMENTO DO PADRÃO DEFINIDO E MÉTODOS DE REGULAGEM	32
4 RESULTADOS E DISCUSSÃO	33
4.1 ESCOLHA DO TIPO DE <i>SETUP</i> , DEFINIÇÃO DO PONTO DE PARTIDA E OBJETIVO.....	33
4.2 DEFINIÇÃO DO MELHOR PADRÃO ATUAL.....	35
4.3 ANÁLISE DE DADOS DO SISTEMA PARA REGISTRO DE TEMPOS E ANOMALIAS.....	39
4.4 ANÁLISE E MAPEAMENTO DA RESOLUÇÃO DAS ANOMALIAS	40
4.5 PASSOS FUTUROS: Melhoramento do padrão DE <i>SETUP</i> definido ANTERIORMENTE e DOS métodos de regulagem PRESENTES NA TROCA DE CILINDRO	44
5 CONCLUSÃO.....	48
REFERÊNCIAS	

1 INTRODUÇÃO

O alumínio, na forma de ligas metálicas, é considerado um dos insumos mais promissores em termos de aplicabilidade e sustentabilidade disponíveis no mercado. Características como durabilidade, leveza, resistência a corrosão e maleabilidade atrelada à alta resistência mecânica fazem deste metal um material utilizado na maioria dos segmentos industriais, tais como automotivo, bens de consumo, farmacêutico e energético. Isto faz com que seja considerado um participante relevante na cadeia produtiva do mundo e do Brasil, tendo movimentado cerca de R\$ 89 milhões em 2019, considerando desde a mineração da bauxita à fabricação de produtos acabados, segundo a Associação Brasileira de Alumínio (ABAL) (IBRAM, 2021).

O fluxo de produção do alumínio é considerado extenso e divide-se em três principais frentes: *upstream*, *midstream* e *downstream*. O primeiro diz respeito ao alumínio bruto, onde a alumina refinada é produzida a partir da mineração da bauxita. No processo que emprega o fluxo *midstream*, a alumina é transformada em matéria-prima na forma de produtos semiacabados como lingotes, chapas e perfis de alumínio. No *downstream*, este material então segue para ser transformado em sua forma final como se utiliza no dia a dia, no interior de embalagens de alimentos, remédios, revestimento de automóveis, entre outros (Dilallo, 2014).

Todo processo produtivo, em menor ou maior escala, possui desperdícios atrelados às suas atividades. A tentativa de mitigar estas perdas é um desafio diário na rotina da maioria das indústrias, pois afeta diretamente a competitividade da organização ao prejudicar a viabilidade financeira do negócio através do aumento do custo operacional, diminuindo, por consequência, a margem de lucro e o valor agregado ao produto acabado (Godina *et al.*, 2018).

Segundo a filosofia da Manutenção Produtiva Total, do inglês *Total Productive Maintenance* (TPM), deve-se empregar uma metodologia de melhoria de processos com foco em maximizar a eficiência do equipamento e fluxo de produção utilizados a partir da identificação e posterior eliminação de todas as perdas neles existentes. Para este método, os desperdícios podem ser categorizados em 6 grandes perdas, agrupadas em três grupos principais, conforme pode ser observado no Quadro 1.

Quadro 1– Principais perdas identificadas pelo TPM.

Grupos principais	6 principais perdas
Perdas por parada de máquina	Falha do equipamento
	Setup e ajustes
Perdas de velocidade	Ociosidade e pequenas paradas
	Redução de velocidade
Perdas por defeito	Defeitos
	Diminuição de rendimento

Fonte: adaptado de García *et al.* (2012)

Uma das principais perdas é o *setup* e ajustes a ele atrelados, que acontece durante a troca de um produto ou modificação de uma característica deste. Segundo a consultoria *Industry Fórum UK* (2015), o *setup* é definido como a parcela de tempo necessária para realizar uma mudança em um processo desde a última parte de um ciclo de produção até a primeira parte boa e repetível da próxima execução de produção. Os ajustes dentro desse tempo geralmente ficam ocultos e envolvem alterações nas configurações até que as condições ideais de funcionamento sejam alcançadas.

Como uma forma de aumentar a competitividade e produtividade da organização através da redução de desperdícios, muitas indústrias estão adotando a troca rápida de ferramentas, do inglês *Single Minute Exchange of Die* (SMED), uma das metodologias oriundas da manufatura enxuta, para reduzir as perdas por parada de máquina. O SMED é composto por um conjunto de técnicas que visam reduzir o tempo de *setup* de uma máquina onde, uma vez implementado de forma adequada, promove a diminuição no tempo de ajuste do equipamento, dando mais flexibilidade à linha na partida da operação (Godina *et al.*, 2018).

Diante do exposto, o propósito deste trabalho consistiu em executar um roteiro de implementação do método SMED para padronizar o procedimento de troca de cilindros da máquina *caster* de uma empresa metalúrgica e com isso reduzir as perdas de produtividade associadas à parada de máquina por motivo de *setup*. Para tal, foram traçados os seguintes objetivos específicos:

- Definir *setup* prioritário da máquina *caster*;
- Coletar dados históricos dos tempos de *setup* dos cilindros;
- Definir métricas de avaliação como frequência, tempo médio e variação dos tempos de troca de cilindro;
- Registrar e analisar o procedimento atual de troca de cilindro, identificando oportunidades de melhoria;

- Identificar as anomalias observadas na execução da atividade e estruturar um plano de ação para eliminá-las ou minimizar seu impacto;
- Propor a criação de um procedimento operacional padrão para atividade de troca de cilindro, bem como os ajustes e regulagens do equipamento;
- Disponibilizar um roteiro SMED para diminuição das perdas de produtividade ocasionadas por parada de máquina devido à *setups* e ajustes fora do padrão de operação.

2 FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA

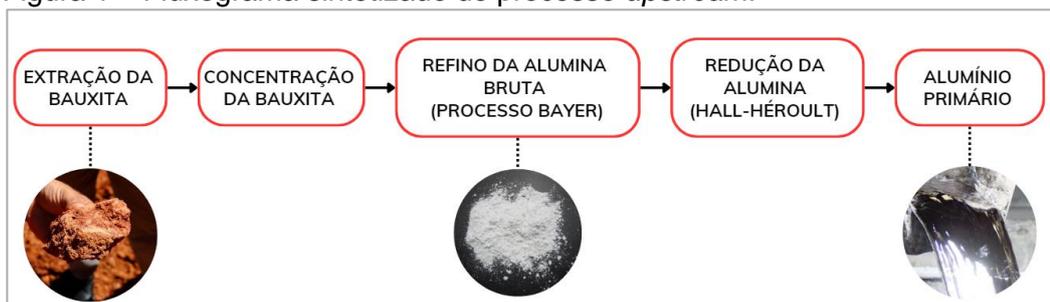
2.1 PROCESSO DE FABRICAÇÃO DO ALUMÍNIO

O setor do alumínio engloba uma grande variedade de negócios e produtos, organizados em três principais cadeias de valor: o segmento *upstream* compreende a extração de bauxita e seu refino em alumina; o segmento intermediário, *midstream*, inclui a produção de alumínio primário e secundário, fornecendo matéria-prima para fundições integradas que produzem tarugos, placas e/ou lingotes de alumínio fundido e, por fim, o segmento *downstream*, que envolve a fabricação de produtos semiacabados de alumínio e sua utilização em processos de fabricação mais adiante na cadeia, como nos setores de transporte, elétrico, construção e embalagens (SIDF, 2022).

2.1.1 Produção de alumínio primário (segmento *upstream*)

Segundo Callister Júnior e Rethwisch (2020), a produção de alumínio primário envolve a metalurgia extrativa, processo que envolve a extração e redução da bauxita para obtenção do alumínio metálico. Esse tipo de metalurgia abrange várias etapas principais: a extração e concentração de minério de óxido de alumínio hidratado (bauxita), a produção de alumina e hidróxido de alumínio a partir de bauxita concentrada usando o processo Bayer, a fabricação de alumínio fundido eletroliticamente a partir de alumina através do processo Hall-Héroult e o refino de alumínio fundido para produzir alumínio primário (ou elementar). O fluxograma representativo das etapas envolvidas no fluxo de produção do segmento *downstream* pode ser visto na Figura 1.

Figura 1 – Fluxograma sintetizado do processo *upstream*.



Fonte: a autora (2024)

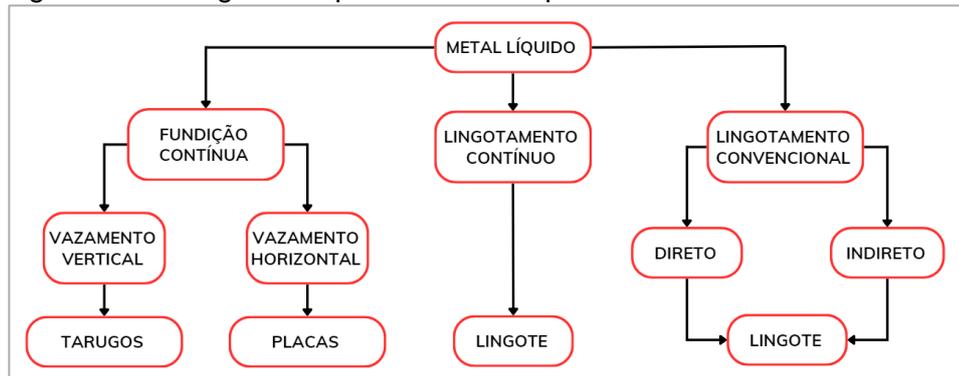
Na etapa de mineração, a vegetação e as camadas superficiais contendo argila e lateritas são removidas; em seguida, inicia-se o beneficiamento do solo com a diminuição do tamanho pelo método da britagem. Após isso, o minério coletado é lavado para reduzir o teor de sílica e, por último, secado. A segunda etapa é o refino da alumina bruta, através do processo Bayer, onde inicialmente ela é moída e dissolvida em soda cáustica. Em seguida, a solução é filtrada para separar o minério de outros sólidos presentes e o filtrado, passando então para o processo de cristalização, em que a alumina presente é concentrada e os cristais são posteriormente secados e calcinados para eliminar a água remanescente (Souza, 2020).

Por fim, ocorre a redução da alumina, que se encontra na forma de um pó branco (Figura 1), através de uma reação de redução eletrolítica conhecida como processo de Hall-Héroult, com rendimento reacional de 2 toneladas de alumina refinada para 1 tonelada de metal primário. Neste processo, um banho de alumina com criolita fundida e fluoreto de alumínio é formado, o oxigênio desprendido combina-se com o ânodo de carbono, desprendendo-se em CO₂ e precipitando o alumínio líquido, que é então transferido para a refusão, onde será utilizado na fabricação de produtos intermediários como lingotes, placas e tarugos de alumínio (ABAL, 2023).

2.1.2 Produção de intermediários (segmento *midstream*)

O alumínio líquido é resfriado e, em seguida, passa por diferentes processamentos para obter os três tipos de produtos intermediários: o lingote, que é obtido através da técnica de lingotamento; o tarugo, através da fundição contínua por vazamento vertical e as placas, obtidas também por fundição contínua por meio do vazamento horizontal (Cardoso *et al.*, 2011). O fluxograma representativo das etapas quem compõem o segmento *midstream* pode ser visto na Figura 2.

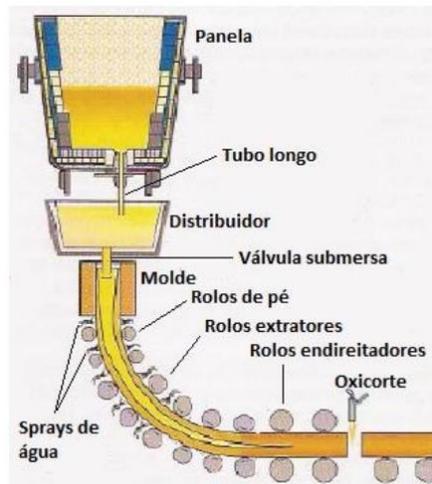
Figura 2 – Fluxograma representativo do processo *midstream*.



Fonte: a autora (2024)

No lingotamento contínuo, o metal líquido é transportado através de um distribuidor para o interior de um molde com extremidades abertas. É neste molde que o metal é solidificado primeiramente por resfriamento e finalizado pela ação de endireitadores, seguindo para o corte em peças unitárias (Silva, 2011). O processo ocorre de acordo com a Figura 3.

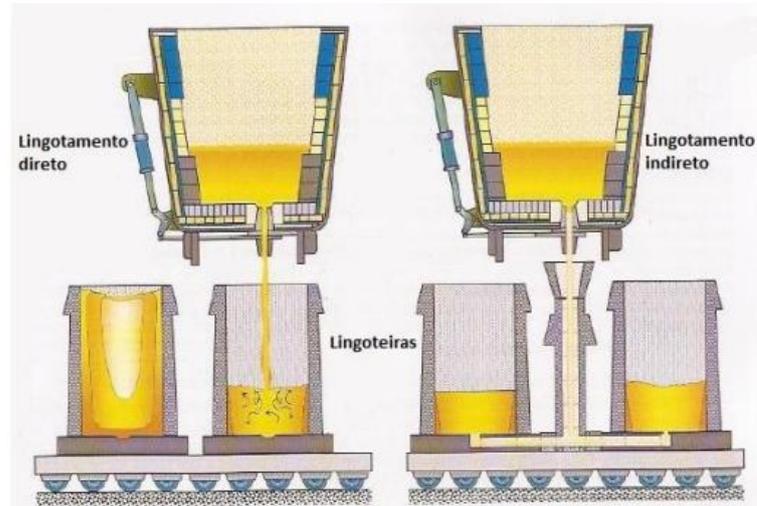
Figura 3 – Representação do método de lingotamento contínuo.



Fonte: Rizzo (2005)

Ainda segundo Silva (2011), um outro tipo de lingotamento é o convencional, um processo mais simplificado, em que o metal líquido é vazado dentro de uma lingoteira, um molde feito de aço ou ferro fundido, e resfriado de forma controlada para garantir a solidificação uniforme da peça. O vazamento pode ser direto, com a alimentação do metal ocorrendo no topo da lingoteira, ou indireto, onde a alimentação é feita em um canal vertical central com distribuição para duas ou mais lingoteiras, conforme apresentado na Figura 4.

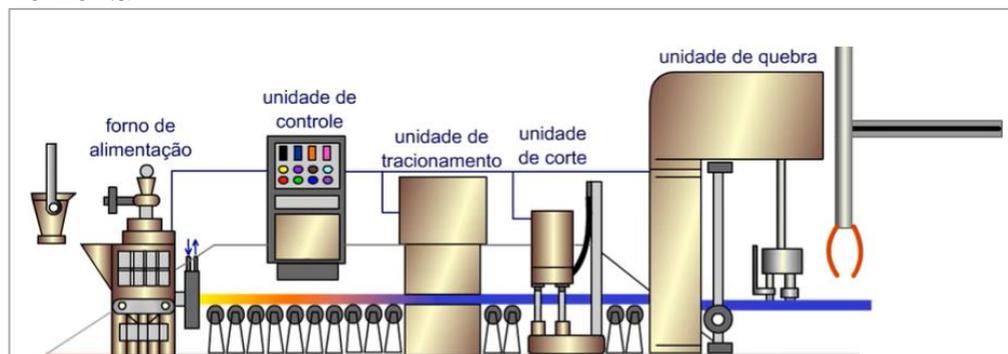
Figura 4 – Representação do método de lingotamento convencional nas formas direta e indireta.



Fonte: Rizzo (2005)

Após passar pelo lingotamento convencional, segue-se com a etapa de fundição contínua (Figura 5) que abrange o método do lingotamento contínuo e corresponde à produção de peças fundidas através da passagem do metal de forma intermitente, resultando em perfis longos com seções quadradas, retangulares e hexagonais. O processo envolve o despejo de metal líquido em um cadinho aquecido, seguido pelo fluxo através de matrizes de cobre revestidas de cromo, resfriadas por água. A barra ou placa resultante, já no estado sólido, é então capturada por cilindros, arrastada e posteriormente cortada por serras circulares ou maçarico (Tamega, 2017).

Figura 5 – Representação do método de fundição contínua por vazamento horizontal.



Fonte: adaptado de CIMM (2010).

2.1.3 Produção de transformados (segmento *downstream*)

Nesta etapa, as peças de alumínio passam por processos de transformação resultando no produto acabado, na forma de bobinas e chapas de alumínio, no caso da laminação, em tarugos através da extrusão e peças de formatos variados por meio da fundição e forjamento do metal (Cardoso *et al.*, 2011). No procedimento de extrusão, o alumínio, na forma de tarugo, é aquecido e submetido a pressão através de uma matriz para moldá-lo conforme necessário. Os produtos resultantes da extrusão têm como principal destino a construção civil, com os perfis sendo utilizados na fabricação de janelas, portas, portões e implementos rodoviários. Adicionalmente, a técnica de extrusão é aplicada na produção de fios, que, posteriormente, são entrelaçados para a fabricação de cabos, principalmente utilizados em linhas de transmissão de energia elétrica (Palma, 2014).

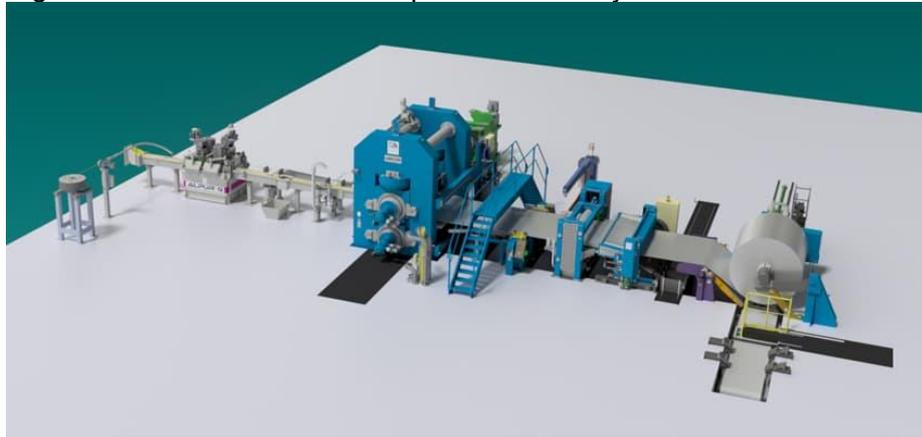
Também segundo Cardoso *et al.* (2011), a fusão assemelha-se ao estágio final na produção do alumínio primário. No forjamento, exerce-se uma força de conformação sobre o alumínio sólido mediante uma matriz com formas geométricas predefinidas. Tanto os produtos fundidos quanto os forjados têm aplicação predominante no setor de transportes e na fabricação de máquinas e equipamentos. O alumínio também pode ser utilizado na forma de pó na fabricação de tintas, produtos químicos e farmacêuticos. Em contextos destrutivos, o alumínio é empregado como ânodo de sacrifício ou como desoxidante na indústria siderúrgica.

A fundição representa o ponto de partida na produção de metal a partir de alumínio primário e material reciclado. Segundo Tamega (2017), antes do tratamento do metal líquido e do processo de vazamento, a composição química é ajustada mediante a adição de antiligas, como manganês, cobre e magnésio, entre outras. Essa etapa visa assegurar as propriedades desejadas e a qualidade do produto acabado.

Após a fundição, o metal líquido solidifica-se formando lâminas de 2 a 6 mm de espessura no processo de laminação a frio pela máquina *caster* (Figura 6), trabalhado a temperaturas de em média 500°C, resultando em materiais na forma de bobinas ou chapas espessas (Cesar, 2004). Dito isto, por ser a primeira máquina do fluxo de produção do segmento *downstream*, servindo como material base para transformação em produtos acabados de chapas e folhas, o *caster* possui grande impacto na entrega do produto final, uma vez que problemas ocorridos durante esta

etapa como paradas de máquina e qualidade não conforme impactam diretamente no andamento das etapas subsequentes da produção.

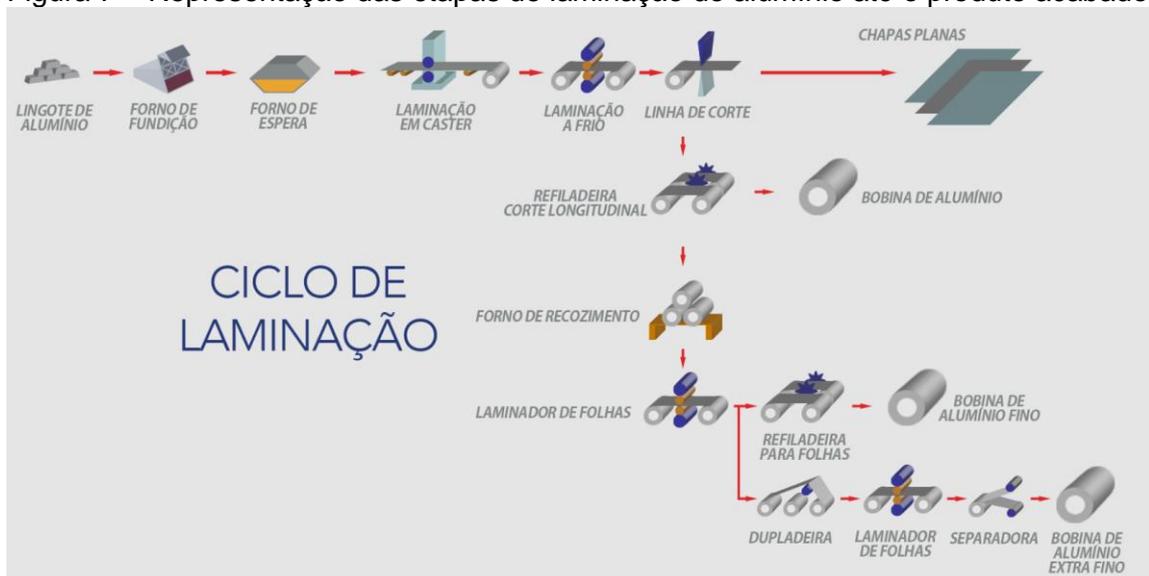
Figura 6 – Modelo de uma máquina de laminação *caster*.



Fonte: Novaelis, 2024.

A bobina laminada a frio passa por um estágio de resfriamento antes de seguir para o acabamento, onde a espessura e a têmpera são ajustadas conforme as especificações e necessidades do cliente. No acabamento, a bobina é submetida às etapas de corte na largura desejada, podendo ser cortada em formatos retangulares, discos ou múltiplos cortes em bobinas menores. Antes de ser embalado e pesado, o material acabado passa por inspeções rigorosas para garantir a qualidade superficial e dimensional de acordo com as especificações do cliente (Brasil Alumínio, 2016). A Figura 7 mostra de forma resumida o fluxograma do processo de laminação.

Figura 7 – Representação das etapas de laminação do alumínio até o produto acabado.



Fonte: Brasil Alumínio (2016)

Observa-se, na Figura 7, que o fluxo de laminação é sequencial, portanto, o sucesso de todo o processo depende do êxito individual de cada etapa, uma vez que a ocorrência de atrasos em alguma fase do fluxo acaba por comprometer toda a produção e a entrega do produto acabado dentro do tempo estimado e com as características desejadas. Uma das maneiras de obter um fluxo contínuo e facilitado é conhecer todos os desperdícios e gargalos existentes na linha produtiva e como mitigá-los (Salton; Kalnin, 2016).

2.2 DESPERDÍCIOS EM UM PROCESSO E A IMPORTÂNCIA DA PRODUÇÃO ENXUTA

Para que uma empresa alcance o sucesso em suas operações, é fundamental buscar constantes aprimoramentos com foco na melhoria contínua dos processos alinhada à estratégia empresarial. Isso ocorre por meio do gerenciamento eficaz dos recursos disponíveis e da identificação de oportunidades para redução de custos. Essas práticas tornam a empresa mais competitiva frente aos seus concorrentes em um cenário de incertezas econômicas (Gonzalez; Martins, 2015).

Oliveira e Nascimento (2020) acreditam que a noção de recursos não se restringe apenas a aspectos financeiros; inclui também pessoas, máquinas, espaços físicos, trabalho e tecnologia. Todos esses elementos devem ser administrados de forma eficiente para viabilizar os objetivos organizacionais. Aliado à minimização das despesas, as empresas que conseguem administrar cuidadosamente seus recursos, visando evitar desperdícios, tornam-se mais propensas a alcançar o sucesso em seu setor. Além disso, esse enfoque contribui para a consolidação da sustentabilidade financeira dessas organizações.

Segundo a filosofia de produção enxuta, do inglês *lean manufacturing*, as perdas organizacionais podem ser inúmeras e de variada natureza. Entretanto, de acordo com a metodologia Manutenção Produtiva Total, uma abordagem para a manutenção de equipamentos que busca alcançar uma produção sem falhas, os desperdícios podem ser agrupados nas chamadas “6 grandes perdas”, conforme mostradas no Quadro 2, cuja importância reside na aplicabilidade quase universal à produção, servindo como um quadro fundamental para contemplar, identificar e abordar os desperdícios, combatendo assim eficazmente a perda de produtividade (Virgílio, 2018).

Quadro 2 – As seis grandes perdas da Manutenção Produtiva Total relacionadas à eficiência global dos equipamentos de produção.

Principais perdas	Categoria	Exemplos	Comentários
Paradas não planejadas	Perda de disponibilidade	Falha de ferramentas, manutenção não planejada, rolamento superaquecido, falha de motor	Há flexibilidade sobre onde definir o limite entre uma parada não planejada (perda de disponibilidade) e uma parada pequena (perda de desempenho)
Configuração e ajustes (<i>setup</i>)	Perda de disponibilidade	Configuração/troca, escassez de material, escassez de operador, ajuste importante, tempo de aquecimento	Esta perda é muitas vezes resolvida através de programas de redução do tempo de configuração, como o SMED
Pequenas paradas	Perda de desempenho	Atolamento de componente, pequeno ajuste, sensor bloqueado, entrega bloqueada, limpeza/verificação	Normalmente inclui apenas paradas inferiores a cinco minutos e que não requerem pessoal de manutenção
Velocidade baixa	Perda de desempenho	Configuração incorreta, desgaste do equipamento, problema de alinhamento	Qualquer coisa que impeça o equipamento de funcionar na velocidade máxima teórica
Defeitos de produção	Perda de qualidade	Sucata, retrabalho	Rejeições durante a produção em estado estacionário
Rendimento reduzido	Perda de qualidade	Sucata, retrabalho	Rejeições durante o aquecimento, inicialização ou outra produção inicial

Fonte: *Lean Production* (2023)

Analisando o Quadro 2, nota-se que a abordagem indicada para a perda de disponibilidade ocasionada pelo problema no tempo de troca é o SMED. Este tipo de abordagem visa reduzir o tempo gasto no *setup* de uma máquina ou processo levando também a outros benefícios como aumento de eficiência do equipamento, diminuição de sobras ou rejeições e produção de lotes menores devido à facilidade na execução da troca, tornando a produção mais responsiva à demanda do consumidor (PTC, 2023).

2.3 SMED COMO METODOLOGIA PARA REDUÇÃO DO TEMPO DE *SETUP*

A eficiência econômica da empresa é fortemente influenciada pela relação entre o tempo de produção e a diversidade de produtos, tornando o momento da troca das configurações da máquina um fator crítico para a rentabilidade da operação. Interrupções frequentes no processo representam um desafio para a produção

eficiente. A troca rápida de ferramentas engloba o processo completo de transição de uma máquina de produção de um produto para outro. O tempo de troca de ferramentas, ou *setup*, é o intervalo entre o último produto conforme produzido na série anterior, até o primeiro produto conforme produzido na próxima série, na velocidade padrão de operação (Dillon; Shingo, 1985).

O *Single Minute Exchange of Die* (SMED) é uma metodologia aplicada com o objetivo principal de diminuir significativamente a duração das trocas de equipamentos. Para Ferreira (2018), o princípio fundamental do SMED envolve a conversão do maior número possível de tarefas internas, aquelas executadas apenas com o equipamento parado, em tarefas externas, realizadas paralelamente enquanto o equipamento está em atividade, podendo ser feitas antes ou após o *setup*. A simplificação do procedimento de troca torna-o mais ágil e conseqüentemente diminui o tempo de realização da atividade como um todo. Tezel (2016) divide a implementação do SMED em 5 etapas principais:

1) Identificação do método atual: a primeira parte envolve gravar em vídeo o processo de configuração/troca, destacando elementos humanos e de equipamentos. O ideal é escolher *setups* mais longos e com alta variabilidade, analisando o processo, incluindo descrições de atividades, durações e tipos (externas ou internas);

2) Distinção entre atividades internas e externas: uma vez conhecidas quais atividades são feitas com a máquina parada (atividades internas) e quais são realizadas em paralelo com a máquina em operação (atividades externas), um questionamento individual deve ser conduzido a fim de debater a natureza das atividades que a princípio são exclusivamente *setups* internos. Algumas atividades externas comuns incluem recuperação (peças, ferramentas, materiais), inspeção, limpeza e verificações de qualidade;

3) Conversão de atividades internas para externas: para essa análise, são considerados aspectos como posicionamento, configuração de ferramentas/equipamentos no local, utilização de pré-fabricados, ajustes de ferramentas e fluxo de informações;

4) Simplificação do procedimento de troca: nesta fase, são examinados os componentes remanescentes da configuração interna com o intuito de otimizar e simplificar, sendo comum a eliminação de movimentos desnecessários, redução de tempos de espera, ajustes, criação de operações paralelas e padronização;

5) Treinamento contínuo: após a primeira implementação do método, é fundamental que haja uma rotina de treinamentos para todos os membros da equipe a fim de reforçar continuamente as práticas concebidas após a realização do SMED.

A fim de aprofundar as análises levantadas durante a implementação do método, ferramentas da qualidade como diagrama de Pareto, diagrama de Ishikawa, assim como a metodologia de análise de causa-raiz (5 Porquês) possuem aplicações bastante funcionais e são utilizadas em conjunto com a metodologia SMED.

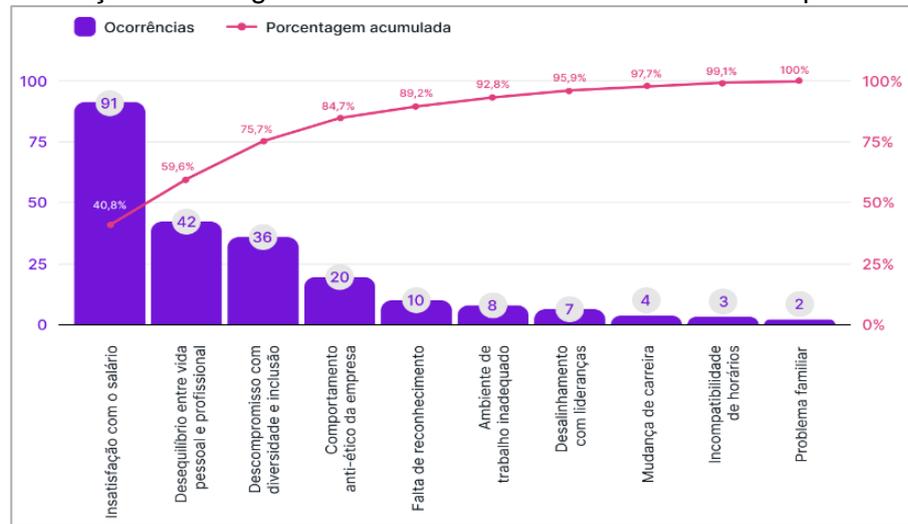
2.4 FERRAMENTAS DA QUALIDADE

As ferramentas da qualidade surgiram por volta da década de 50, idealizadas com base em conceitos já existentes e desde então são aplicadas visando desenvolver, acompanhar e aprimorar preceitos de qualidade nas organizações. O uso das ferramentas para análises estatísticas dentro dos sistemas de gestão contribui consideravelmente para a melhoria dos produtos, serviços e processos (Machado *et al.*, 2022). As ferramentas da qualidade utilizadas nas análises do roteiro SMED estão conceituadas nos próximos tópicos.

2.4.1 Diagrama de Pareto

Joseph Juran, um dos precursores da gestão da qualidade, após avaliar alguns trabalhos do economista Vilfredo Pareto, observou que na maioria das tentativas de aprimoramento de um sistema específico, uma quantidade pequena dos defeitos era responsável pela maior parte dos problemas observados. Com base nessa constatação, surgiu o conceito de Diagrama de Pareto (Figura 8), que afirma que 20% dos defeitos de um determinado sistema eram responsáveis por 80% dos problemas enfrentados (Silva *et al.*, 2019).

Figura 8 – Exemplo de diagrama de Pareto para análise dos motivos de solicitação de desligamento de funcionários de uma dada empresa.



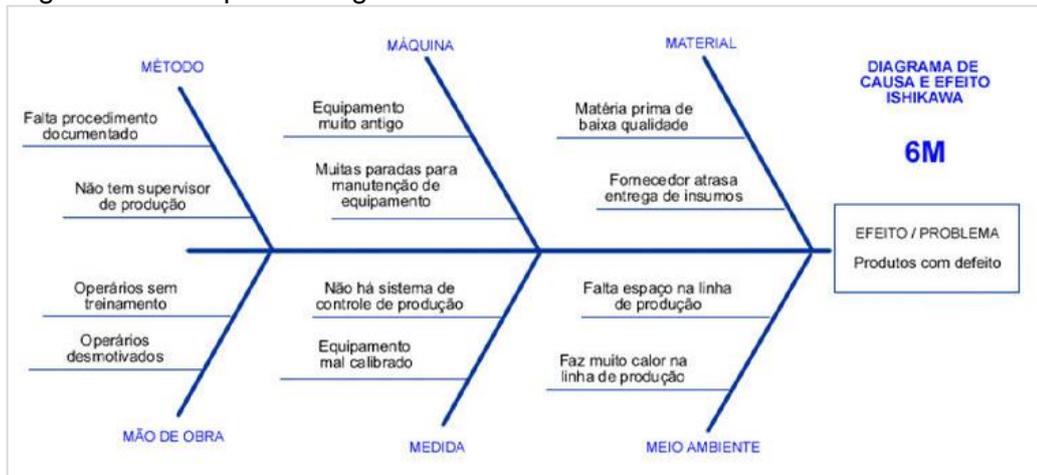
Fonte: Pipefy (2024)

Visualmente, o gráfico de Pareto é representado por um conjunto de barras verticais, conforme Figura 8, ordenadas de forma decrescente em relação à quantidade de frequência das falhas, indicando, portanto, qual delas deve ser priorizada no momento da resolução. Também deve conter a porcentagem acumulada de cada item, reafirmando a proporção 80:20 do conceito do gráfico (Mariano, 2021).

2.4.2 Diagrama de Ishikawa

O diagrama de Ishikawa (Figura 9), conhecido como diagrama espinha de peixe ou de causa e efeito, é uma ferramenta importante ao auxiliar no entendimento das principais razões por trás dos problemas analisados, mostrando como diferentes fatores se correlacionam e contribuem para o aparecimento da falha. Embora não seja uma solução definitiva para encontrar a causa de um problema, ele nos ajuda a concentrar nossos esforços na identificação das possíveis causas e a organizar nossa busca pela solução (Antônio; Teixeira; Rosa, 2016).

Figura 9 - Exemplo de diagrama de Ishikawa.



Fonte: Gigatron Franchising (2020)

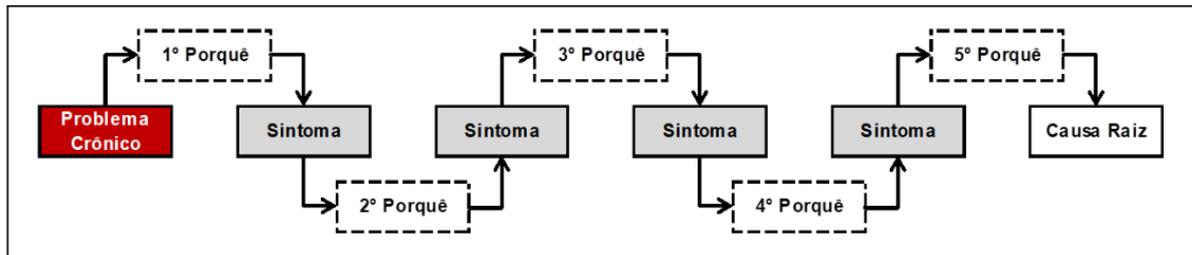
As espinhas principais do diagrama da Figura 9 simbolizam as causas primárias do problema relacionadas aos 6M (método, mão de obra, material, máquina, medida, meio ambiente), enquanto as ramificações delas representam as causas secundárias ou derivadas de processos anteriores. A ideia é que, ao seguir a espinha até o seu final, sejam definidas as micro causas reais e específicas que ocasionam no aparecimento do efeito (Ruppenthal, 2013).

2.5 OUTROS MÉTODOS DE ANÁLISE E RESOLUÇÃO DE PROBLEMAS

2.5.1 5 Porquês

A técnica dos 5 Porquês (Figura 10), desenvolvida por Taiichi Ono, do Sistema de Produção Toyota, consiste em questionar o porquê cinco vezes para identificar a causa-raiz de um problema, sendo observado muitas vezes que a causa raiz de um problema técnico é, na verdade, humana. O objetivo é resolver o problema desde sua raiz para evitar recorrências. Esta abordagem estimula a participação da equipe na identificação de problemas recorrentes, suas causas fundamentais e na geração de soluções para promover a melhoria contínua (Rigoni, 2010).

Figura 10 – Esquema representativo da execução dos 5 Porquês.



Fonte: Moura (2017)

Segundo Carpinetti (2016), a técnica funciona da seguinte forma: primeiramente, define-se o problema que será investigado; em seguida, pergunta-se o porquê que o problema acontece, registrando a resposta. A partir desta resposta, pergunta-se mais uma vez o “porquê” e repete-se a pergunta até esgotarem-se todas as possibilidades de questionamento, indicando que se chegou a possível causa-raiz do problema.

2.5.2 Método ECRS

O ECRS é uma metodologia fortemente solidificada dentro do Sistema Toyota de Produção (TPS) e possui como intuito a análise de forma sistêmica de todas as atividades que não agregam valor à cadeia produtiva, com a otimização dos processos como objetivo final. A sigla ECRS significa Eliminar, Combinar, Reorganizar e Simplificar, e como o próprio nome descreve, são análises feitas a fim de contestar os motivos que levam à realização de uma certa atividade, resultando em reflexões estratégicas que levem a identificação de possíveis falhas e desperdícios dentro de um processo produtivo (Bârsan; Codrea, 2019).

Suhardi, Anisa e Laksono (2019) descrevem as análises do método ECRS da seguinte maneira: no estudo inicial, em Eliminação, são questionadas a necessidade de existência da atividade bem como o propósito real da sua execução; em Combinar, para etapas que agregam valor ao processo e que não podem ser eliminadas no passo anterior, são analisadas a sequência de atividades, a fim de manter ou alterá-las; no passo Reduzir, pergunta-se em qual contexto a atividade deve ser realizada e quem serão as pessoas mais aptas para executá-las, de forma a diminuir a quantidade de movimentos necessários à atividade; por último, na análise Simplificar, questiona-se qual a melhor forma de executar o procedimento a fim de proporcionar melhorias na

sua realização e por conseguinte em seus resultados. O formulário para realização da análise segue modelo conforme Figura 11.

Figura 11 - Formulário para análise ECRS.

Etapas do processo	Estado inicial						Estado futuro				Notas		
	Tempo		Contém				Tempo		Análise				
	s	min	Valor agregado	Transporte	Busca	Espera	s	min	E	C		R	S

Fonte: adaptado de Bârsan; Codrea (2019)

Ainda segundo Bârsan e Codrea (2019), no campo de estado inicial, uma análise preliminar à ECRS para estudo do fluxo do processo é realizada com o objetivo de identificar, dentre a sequência de atividades mapeadas, quais delas agregam valor ou não ao fluxo de produção, sinalizando-as no formulário conforme são identificadas.

3 METODOLOGIA

O trabalho consistiu na aplicação de um roteiro da metodologia SMED adaptado para a atividade de troca de cilindros em máquina do tipo *caster* em uma indústria metalúrgica. O roteiro foi dividido em cinco etapas principais, executadas durante um período de aproximadamente três meses por um grupo de trabalho multidisciplinar formado por integrantes das áreas de operação, manutenção e melhoria contínua, realizando ao longo deste período a coleta e análise dos dados de forma metodológica conforme descrito nos tópicos seguintes deste capítulo.

Vale ressaltar que o presente trabalho foi realizado no período de 5 meses, com coleta dos dados históricos do período de 1 ano anterior ao início do trabalho.

3.1 ESCOLHA DO *SETUP* E DEFINIÇÃO DE MÉTRICAS E OBJETIVOS

A frequência, média e variação dos tempos de realização de diferentes *setups* realizados na fábrica foram verificados com base em dados históricos da produção do ano anterior, coletados através do programa *Manufacturing Execution System* (MES), *software* utilizado na indústria para monitorar, documentar e controlar o processo de fabricação desde a matéria prima até o produto acabado. Nele, foram registradas todas as informações relacionadas às paradas de máquina, com registro do tempo e o motivo que levou à ocorrência.

Em seguida, analisou-se as prioridades com base nos dados coletados, definindo o *setup* prioritário. A partir daí escolheu-se um sistema de coleta de dados contínuo para definição dos pontos de partida e objetivos a serem alcançados.

3.2 DEFINIÇÃO DO PADRÃO ATUAL

Para definir o procedimento atual, foram realizadas as filmagens das etapas da atividade de *setup* em três máquinas *caster*, ocorridas em dias distintos. Estas etapas foram feitas por meio de uma câmera do modelo GoPro Hero3+ para captura de áudio e vídeo, posteriormente extraídas e organizadas sequencialmente conforme ordem de execução das atividades.

Após analisar as filmagens, preencheu-se a folha de observação (Figura 12), registrando todas as macroatividades que compõem a atividade de troca de cilindro, descritas conforme executadas atualmente. Para esta análise foi feita uma distinção em *setup* externo (E), que consiste nas operações a serem executadas quando a máquina está em funcionamento e *setup* interno (I), quando a máquina necessariamente deve estar parada.

Figura 12 – Modelo de folha de observação para análise dos tempos da atividade de troca de cilindros *caster*.

No.	Descrição Atividade	Macro atividade	Ferram.	Ext/Int	Operador	Início	Fim	Tempo (min)
1	Montar os mancais (em caso de não usar o mesmo mancal)	COLOCAÇÃO DOS NOVOS CILINDROS		E				
2	Parar a máquina	PARADA DA MÁQUINA		I				
3	Limpeza da máquina - retirada de metal do trilho	PARADA DA MÁQUINA		I				
4	Desmontar os mancais (em caso de usar o mesmo mancal)	PARADA DA MÁQUINA		I				
5	Abertura do GAP	LIMPEZA DA MÁQUINA		I				
6	Realizar o bloqueio de energia conforme a matriz de bloqueio do equipamento	PARADA DA MÁQUINA		I				
7	Fechar as válvulas de água e soltar as mangueiras	PARADA DA MÁQUINA		I				
8	Retirar as uniões rotativas, utilizar chaves catraca.	PARADA DA MÁQUINA		I				
9	Retirada do selo (Caster I)	PARADA DA MÁQUINA		I				
10	Retirar as chavetas de travas (ferrolho) lado operador	DESMONTAGEM DOS SELOS		I				
11	Elevar os cilindros para retirada dos calços	DESMONTAGEM DOS SELOS		I				
12	Calçar os eixos cardãns dos cilindros	DESMONTAGEM DOS SELOS		I				
13	Puxar os cilindros do housing	RETIRADA DOS CILINDROS		I				
14	Transportar os cilindros com o auxílio da ponte rolante (cilindros novos)	TRANSPORTE DOS CILINDROS*		I				
15	Posicionar cilindros no cavalete para retirada dos mancais (cilindros antigos)	TRANSPORTE DOS CILINDROS*		E				
16	Desmontar e montar os mancais (em caso de usar o mesmo mancal)	COLOCAÇÃO DOS NOVOS CILINDROS		I				
17	Colocar um cilindro superior em cima do inferior e transportá-los até o casters.	COLOCAÇÃO DOS NOVOS CILINDROS		E				
18	Introduzir os cilindros montados no housing do casters	COLOCAÇÃO DOS NOVOS CILINDROS		I				
19	Colocar as chavetas móveis	COLOCAÇÃO DOS NOVOS CILINDROS		I				
20	Elevar os cilindros lado manutenção(mt) e lado operação(op) com o auxílio dos macacos hidráulicos e/ou ponte rolante	MONTAGEM DOS SELOS		I				
21	Colocar os calços necessários, conforme necessidade, de acordo com os diâmetros dos cilindros e os ajustes de calibração	CALIBRAGEM DOS CILINDROS		I				
22	Montar uniões rotativas e mangueiras flexíveis	PREPARAÇÃO DA MÁQUINA		I				
23	Preparar máquina (Calibrar o gap dos cilindros e colocar bico)	PREPARAÇÃO DA MÁQUINA		I				
24	Formação inicial de lâmina	PARTIDA DA MÁQUINA		I				
		Total:						

Fonte: a autora (2024)

Na Figura 12, verifica-se a presença de uma coluna para definir o tempo em minutos, este foi quantificado através dos registros em vídeos. Em seguida formalizou-se o procedimento operacional padrão baseado na troca de menor tempo dentre as três trocas de cilindro filmadas.

3.3 DEFINIÇÃO DE SISTEMA DE REGISTRO DE TEMPOS E ANOMALIAS

Nesta etapa foi definida pelo grupo de trabalho uma sistemática adequada para registro do tempo total de todas as trocas de cilindro realizadas durante aquele período e o número de anomalias que impactaram a finalização de cada procedimento de troca. Em seguida, determinou-se a responsabilidade e periodicidade das tarefas que suportam o andamento do projeto, em conjunto ao acompanhamento diário do sistema de registro de tempos e anomalias conforme já definido.

3.4 ANÁLISE E RESOLUÇÃO DE ANOMALIAS

Inicialmente, foi realizada a análise quantitativa das anomalias registradas no item anterior utilizando o diagrama de Pareto. Posteriormente, por meio de uma análise de priorização, foi possível elencar as anomalias de acordo com nível de impacto causado na duração do tempo de *setup*. Partindo-se da anomalia de maior impacto, prosseguiu-se para a investigação da causa-raiz utilizando ferramentas como o diagrama de Ishikawa e análise dos 5 porquês, definindo por fim as contramedidas necessárias para sua eliminação.

3.5 MELHORAMENTO DO PADRÃO DEFINIDO E MÉTODOS DE REGULAGEM

A etapa final do roteiro teve como objetivo o aprimoramento do padrão definido anteriormente e dos métodos de regulagem realizados na máquina durante o procedimento de *setup*. Para a melhoria do padrão definido, foi necessário dividir as atividades mapeadas no *setup* em microatividades, analisando e classificando-as de acordo com o seu valor agregado (caso exista). Em seguida, aplicou-se a técnica ECRS para identificar as ações de melhoramento e com isto atualizar o padrão conforme descrito no item 3.2.

Para melhoria dos métodos de regulagem, deve-se analisar os métodos atuais, definir ações de melhoramento e com isso um novo padrão de regulagem, levando em consideração os quatro dos 6M avaliados no diagrama de Ishikawa, sendo eles: método, material, máquina e mão de obra. Por último, foi realizada uma nova filmagem e subsequente treinamento da operação com base no novo padrão.

Devido a atrasos ocorridos no cronograma do roteiro, as análises citadas neste tópico não foram realizadas até o momento da conclusão deste trabalho. Estas análises estão descritas na seção de passos futuros, vede item 4.5.

4 RESULTADOS E DISCUSSÃO

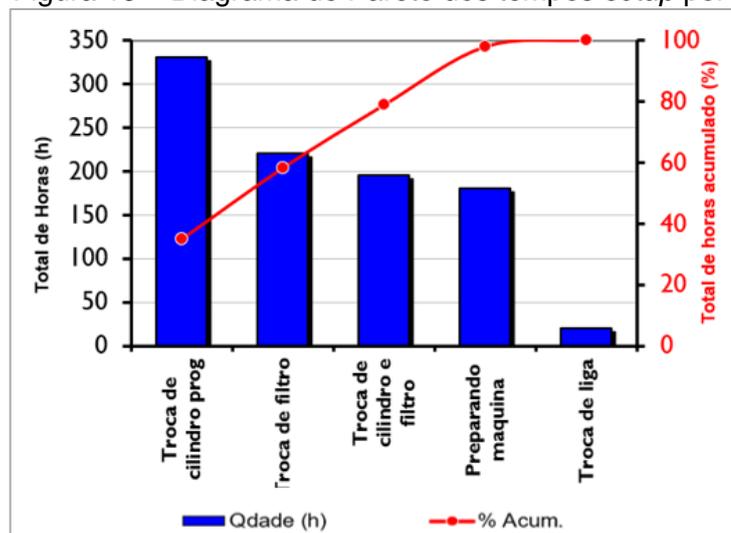
Neste capítulo estão apresentados o desenvolvimento do estudo de caso do trabalho em questão, a aplicação de um roteiro SMED para padronização e redução do tempo de troca de cilindros da máquina *caster*. Por questões relacionadas à sensibilidade dos dados coletados durante a realização do projeto, algumas informações estão representadas de forma genérica a fim de preservar sua confidencialidade.

4.1 ESCOLHA DO TIPO DE *SETUP*, DEFINIÇÃO DO PONTO DE PARTIDA E OBJETIVO

A fábrica em que foi realizado este estudo possui cinco categorias de *setup*, são eles: troca programada de cilindros, troca de filtro, troca de cilindro e filtro, troca de liga metálica e preparação de máquina. Para escolha do tipo de *setup* em que foi aplicado o método SMED, realizou-se a coleta dos dados de parada de máquina registrados no *MES* para cada tipo de *setup*.

A partir dos dados históricos coletados foi possível construir o diagrama de Pareto (Figura 13), que indica o somatório dos tempos utilizados para cada troca no período de 1 ano.

Figura 13 – Diagrama de Pareto dos tempos *setup* por categoria.



Fonte: a autora (2024)

Analisando a Figura 13, percebe-se que o *setup* que consumiu o maior tempo de parada de máquina foi a troca programada de cilindros. Com base na coleta de dados históricos também foi possível identificar os seguintes parâmetros:

- Frequência mensal: 7 vezes;
- Tempo médio de *setup*: 8,3 h;
- Variação: 1,87 h;
- Tempo total no período analisado: 535 h.

A partir desses dados, percebe-se uma variação considerável entre a duração das trocas de *setup* analisadas. Assim, como parte da primeira etapa, introduziu-se um sistema próprio de registro dos tempos de troca de cilindro bem como das anomalias ocorridas durante cada atividade. O formulário foi desenvolvido de acordo com o modelo apresentado na Tabela 1.

Tabela 1 – Formulário para registro dos tempos e anomalias relacionadas ao *setup*.

Data	Responsável	ID Cilindro anterior	ID Cilindro posterior	Início (h)	Fim (h)	Motivo
08/11/23	Manutenção	XXX	ZZZ	8	18	Ponte rolante em outra atividade
11/11/23	Manutenção	YYY	WWW	12	19	Serviço no trilho (ponte bloqueada)
16/11/23	Manutenção	PPP	NNN	13	20	Puxador de cilindro desarmado

Fonte: a autora (2024)

Uma vez desenvolvido o formulário, definiu-se como responsáveis pelo preenchimento os líderes de operação e manutenção que acompanharam cada troca. Por último, para definição do ponto de partida e objetivos a serem alcançados, foi realizada mais uma vez a análise dos dados históricos escolhendo-se um período mais recente com relação ao momento da nova coleta de dados, definido pelos dois meses anteriores, obtendo-se a partir daí os pontos de partida e objetivos, conforme Tabela 2.

Tabela 2 – Tempos de *setup* para definição do ponto de partida e objetivo do roteiro.

Data	Média (min)	Mínimo (min)	Máximo (min)
Ponto de partida	498	386	610
Objetivo	300	240	360

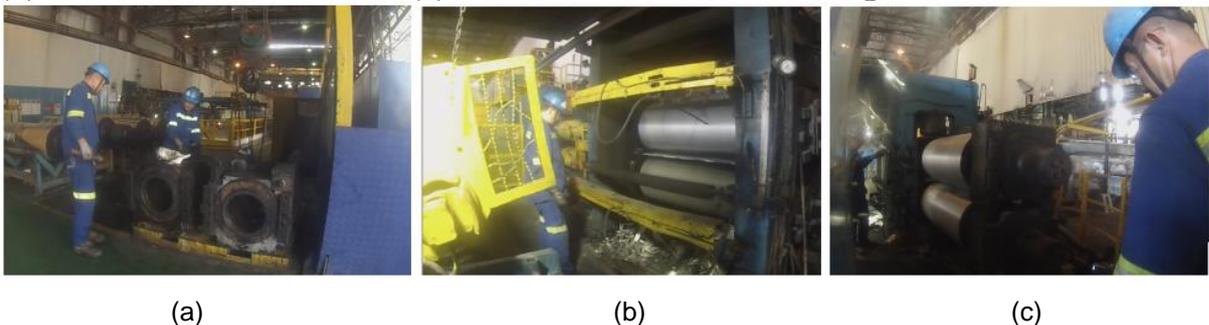
Fonte: a autora (2024)

Como pode ser observado na Tabela 2, o objetivo final da aplicação do roteiro SMED para troca de cilindros *caster* consistem em reduzir em cerca de 40% o tempo médio de *setup*, de 498 min para 300 min. Com isso, espera-se diminuir a contribuição do *setup* no tempo total de parada do equipamento ao aumentar a disponibilidade de horas do *caster* e assim obter um maior volume de produção e menores perdas de produtividade atreladas a atividade de troca de cilindros.

4.2 DEFINIÇÃO DO MELHOR PADRÃO ATUAL

O padrão atual foi definido através da filmagem do procedimento de troca de cilindro em três *casters* distintos, evidenciada pelas capturas da Figura 14.

Figura 14 - Capturas das filmagens da troca de cilindros, sendo (a) montagem dos mancais, (b) retirada de metal do trilho e (c) retirada dos cilindros do *housing*.



Fonte: a autora (2024)

Após analisar individualmente cada filmagem, as microatividades da troca de cilindro foram cronometradas e registradas na folha de observação. A fim de definir o melhor procedimento para criação do padrão atual, foi selecionado o menor tempo de cada atividade dentre as três filmagens analisadas, conforme Tabela 3.

Tabela 3 – Definição dos melhores tempos por atividade do *setup* (continua).

Nº	Atividade	Macro atividade	Tipo de <i>setup</i>	Tempo
1	Desmontar e/ou montar os mancais	COLOCAÇÃO DOS NOVOS CILINDROS	E	00:46:00
2	Parar a máquina	PARADA DA MÁQUINA	I	00:01:00
3	Realizar o bloqueio de energia conforme a matriz de bloqueio do equipamento	PARADA DA MÁQUINA	I	00:12:00
4	Fechar as válvulas de água e soltar as mangueiras	PARADA DA MÁQUINA	I	00:02:35

Tabela 3 – Definição dos melhores tempos por atividade do *setup* (continuação).

Nº	Atividade	Macro atividade	Tipo de <i>setup</i>	Tempo
5	Retirar as uniões rotativas, utilizar chaves catraca	PARADA DA MÁQUINA	I	00:00:45
6	Retirar o selo	PARADA DA MÁQUINA	I	00:05:51
7	Retirar as chavetas de travas do lado operador	DESMONTAGEM DOS SELOS	I	00:00:35
8	Limpeza da máquina (retirada de metal do trilho)	LIMPEZA DA MÁQUINA	I	00:18:20
9	Elevar os cilindros para retirada dos calços	DESMONTAGEM DOS SELOS	I	00:04:49
10	Calçar os eixos cardans dos cilindros	DESMONTAGEM DOS SELOS	I	00:01:45
11	Puxar os cilindros do <i>housing</i>	RETIRADA DOS CILINDROS	I	00:03:00
12	Transportar os cilindros com o auxílio da ponte rolante	TRANSPORTE DOS CILINDROS	E	00:09:55
13	Montagem do conjunto novo (cilindro superior-inferior)	MONTAGEM DO CONJUNTO	E	00:06:00
14	Transportar conjunto novo até os <i>casters</i>	TRANSPORTE DOS CILINDROS	E	00:10:30
15	Introduzir os cilindros montados no <i>housing</i>	COLOCAÇÃO DOS NOVOS CILINDROS	I	00:21:54
16	Colocar as chavetas móveis	COLOCAÇÃO DOS NOVOS CILINDROS	I	00:00:55
17	Elevar os cilindros lado motor e lado operador com o auxílio dos macacos hidráulicos	MONTAGEM DOS SELOS	I	00:03:18
18	Colocar os calços necessários, conforme necessidade, de acordo com os diâmetros dos cilindros e os ajustes de calibração	CALIBRAGEM DOS CILINDROS	I	00:13:50
19	Montar uniões rotativas e mangueiras flexíveis	PREPARAÇÃO DA MÁQUINA	I	00:14:27
20	Preparar máquina (calibrar o gap dos cilindros e colocar bico)	PREPARAÇÃO DA MÁQUINA	I	00:26:00
21	Aquecimento do cilindro (passagem da fuligem)	PREPARAÇÃO DA MÁQUINA	I	00:30:00
22	Formação inicial de lâmina	PARTIDA DA MÁQUINA	I	00:19:00
			TOTAL	04:12:29

Legenda: E = externo; I = interno.

Fonte: a autora (2024)

Partindo-se dos dados da Tabela 3, o *setup* foi dividido em macroatividades cujos tempos foram calculados somando-se todas as atividades que compõem cada um dos grupos. Assim, obteve-se os valores apresentados na Tabela 4.

Tabela 4 – Definição dos tempos das macroatividades do *setup*.

Nº	Macro atividade	Tipo de <i>setup</i>	Tempo total
1	COLOCAÇÃO DOS NOVOS CILINDROS	E	00:52:00
2	PARADA DA MÁQUINA	I	00:22:11
3	LIMPEZA DA MÁQUINA	I	00:18:20
4	DESMONTAGEM DOS SELOS	I	00:07:09
5	RETIRADA DOS CILINDROS	I	00:03:00
6	TRANSPORTE DOS CILINDROS	E	00:20:25
7	COLOCAÇÃO DOS NOVOS CILINDROS	I	00:22:49
8	MONTAGEM DOS SELOS	I	00:03:18
9	CALIBRAGEM DOS CILINDROS	I	00:13:50
10	PREPARAÇÃO DA MÁQUINA	I	01:10:27
11	PARTIDA DA MÁQUINA	I	00:19:00
	TOTAL		04:12:29

Legenda: E = externo; I = interno.

Fonte: a autora (2024)

Após análise da Tabela 4, notou-se que as macroatividades com maior tempo de execução foram a preparação da máquina (*setup* interno) seguida da colocação dos novos cilindros (*setup* externo). Estas observações são importantes para que sejam concentradas nelas os esforços voltados para o levantamento oportunidades de melhorias no procedimento de troca de cilindro, reduzindo com isso o tempo global do *setup*.

Após definição do padrão atual, seguiu-se para a elaboração do procedimento operacional descrito conforme as atividades mapeadas na Tabela 4. A escrita do documento foi realizada em conjunto com membros da operação e manutenção,

seguido do treinamento dos colaboradores que participam do procedimento de troca de cilindro. Uma parcela do documento pode ser visualizada na Figura 15.

Figura 15 – Procedimento operacional do novo padrão do setup de cilindros.

NOME DA EMPRESA	PROCEDIMENTO OPERACIONAL	Código	
		Revisão	
	Título: Troca dos Cilindros de laminação	Área	Manutenção Refusão
		Fase	Vigência

7.4 - Introduzir os cilindros montados no housing do Casters.

7.4.1 Introduzir os cilindros no housing observando sempre o encaixe das luvas do eixo cardan com o eixo dos cilindros inferior e superior.
7.4.2 Ser necessário alinhá-los os eixos com o auxílio dos elevadores das luvas.




7.5 - Colocar as chavetas móveis.

7.5.1 Fechar os fivelhos com auxílio da alavanca.



Chaveta

Chaveta

Elaborador:	Verificador:	Aprovador:
-------------	--------------	------------

Sigilo: Uso Interno ao Negócio

Impresso por: Cópia não controlada

Fonte: a autora (2024)

De posse do documento apresentado na Figura 16, foi realizada a construção de um *checklist*. Este documento foi pensado como saída da ação de determinação de possíveis melhoramentos na troca de cilindros e está apresentado na Figura 16.

Figura 16 – Modelo de *checklist* pré-setup de cilindros *caster*.

CHECKLIST PRÉ-SETUP - TROCA DE CILINDROS			
HÁ PAR DE CILINDRO RESERVA ESTÁ DISPONÍVEL E MONTADO?	SIM	NÃO	OBSERVAÇÃO:
HÁ PAR DE CILINDRO RESERVA ESTÁ DISPONÍVEL NA ÁREA?	SIM	NÃO	OBSERVAÇÃO:
HÁ CONJUNTO DE MANCAL RESERVA DISPONÍVEL?	SIM	NÃO	OBSERVAÇÃO:
O PAR DE CILINDRO RESERVA ESTÁ EM RETIFICAÇÃO?	SIM	NÃO	SE SIM, QUAL A PREVISÃO DE CONCLUSÃO?
O PAR DE CILINDRO RESERVA ESTÁ EM USINAGEM?	SIM	NÃO	SE SIM, QUAL A PREVISÃO DE CONCLUSÃO?

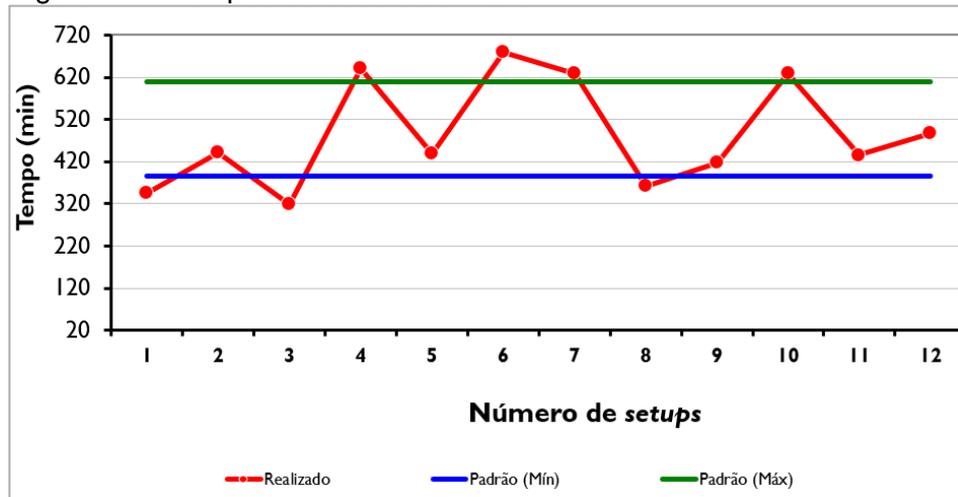
Fonte: a autora (2024)

O intuito do *checklist* apresentado na Figura 16, preenchido antes do início de cada troca de cilindros, é antecipar possíveis ocorrências que ocasionam o atraso das atividades iniciais de montagem dos mancais e do novo conjunto de cilindros. Apesar de serem consideradas um *setup* externo, uma vez em atraso contribuem também para o começo tardio das atividades subsequentes e, com isso, aumentam o tempo total da troca. Assim, tem-se uma elevação dos desperdícios associados como redução do volume de produção e do tempo de disponibilidade da máquina.

4.3 ANÁLISE DE DADOS DO SISTEMA PARA REGISTRO DE TEMPOS E ANOMALIAS

Os dados dos tempos de duração das trocas de cilindro documentados no formulário de registro de tempos e anomalias durante um período de 2 meses, foram analisados e estão dispostos na Figura 17.

Figura 17 – Tempos de troca de cilindro.



Fonte: a autora (2024)

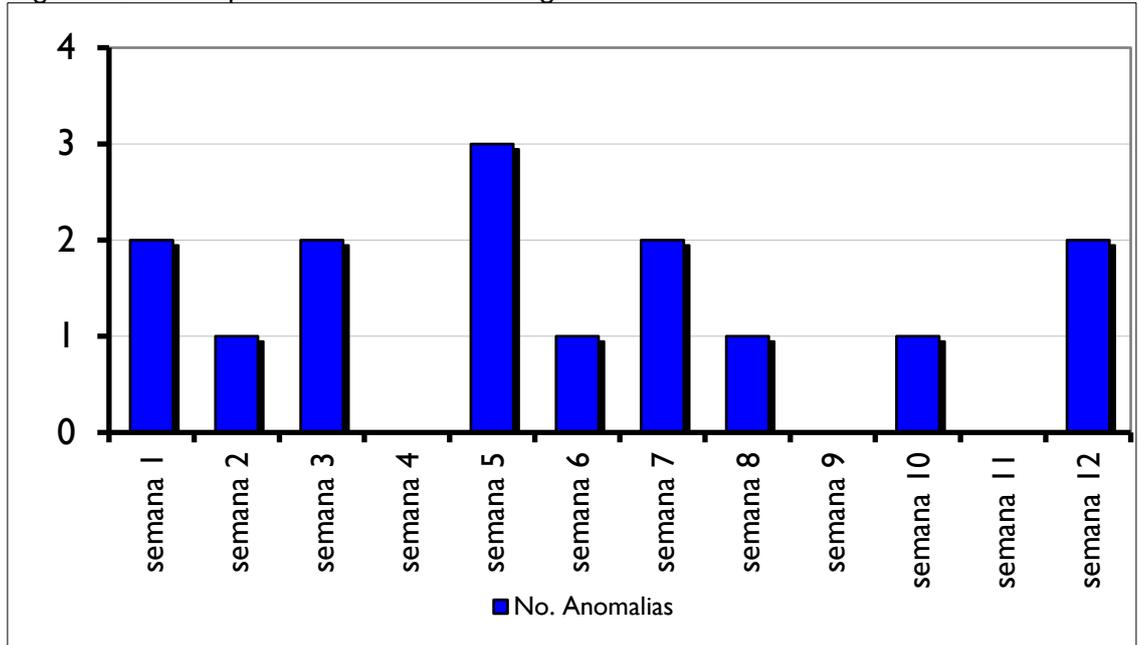
Analisando a Figura 17 é possível notar a variação entre os tempos totais medidos, com a ocorrência de tendências tanto positivas quanto negativas no conjunto de dados. Apesar de alguns tempos estarem dentro da variação definida a partir dos dados históricos, ainda assim são observados *outliers*, valores atípicos entre os demais analisados, indicando neste caso a presença de anomalias dentro ou durante a realização do procedimento de troca de cilindro. Desse modo, foi realizado um mapeamento para investigar quais eram as anomalias registradas.

Ademais, deveria também ser realizado um monitoramento dos dados através de outra ferramenta da qualidade: gráfico de controle. Assim, é necessário dispor de uma quantidade representativa de subgrupos racionais, que representem o que acontece dentro da indústria, para assim ter um acompanhamento mais efetivo dos *setups* avaliados.

4.4 ANÁLISE E MAPEAMENTO DA RESOLUÇÃO DAS ANOMALIAS

A partir do registro de anomalias, contabilizou-se de forma geral a frequência de ocorrências durante o período analisado. Os dados obtidos encontram-se dispostos na Figura 18.

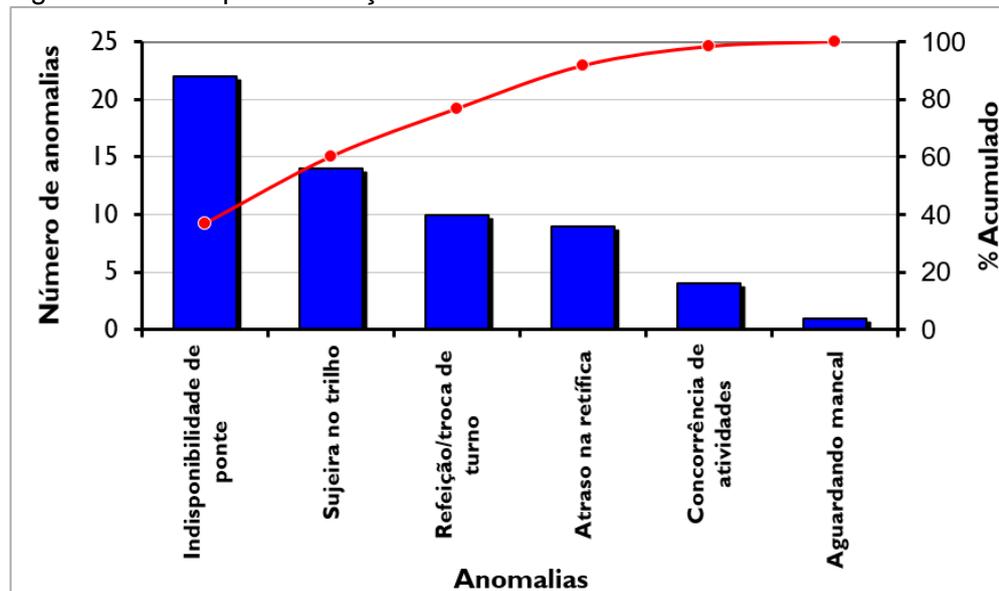
Figura 18 – Frequência de anomalias registradas.



Fonte: a autora (2024)

Analisando a Figura 18 é possível observar mais uma vez uma imprevisibilidade com relação ao número de anomalias, refletida através da variação observada durante as semanas em que o acompanhamento foi realizado. Diante deste resultado, foram elencadas as 5 principais anomalias e avaliada a frequência com a qual elas ocorriam. Isso permitiu a geração do diagrama de Pareto da Figura 19.

Figura 19 – Tempo de duração das anomalias.



Fonte: a autora (2024)

De acordo com o diagrama de Pareto na Figura 19, observou-se que a anomalia de maior impacto ao longo do período analisado foi a indisponibilidade de ponte. Para dar início a uma investigação mais aprofundada acerca dos motivos que geraram a anomalia, foi realizada uma sessão de *brainstorming* onde o grupo de trabalho listou os possíveis motivos para este problema. A avaliação foi realizada por meio de uma matriz de priorização 9/3/1 (Tabela 5), sendo 9 a nota para os itens avaliados como de grande impacto, 3 para médio impacto e 1 para baixo impacto, todas referentes ao tempo total da troca de cilindro.

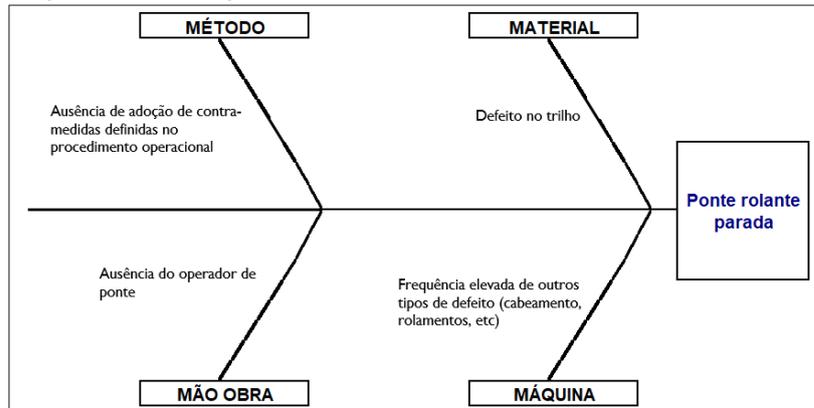
Tabela 5 – Matriz de priorização 9/3/1 para definição do principal motivo causador da anomalia indisponibilidade de ponte.

Pergunta	Participantes					Total por motivo
	Nome 1	Nome 2	Nome 3	Nome 4	Nome 5	
QUAL O PRINCIPAL MOTIVO DA INDISPONIBILIDADE DE PONTE ROLANTE?						
Defeito no controle da ponte rolante	1	3	3	1	3	11
Ponte rolante parada	9	9	9	9	9	45
Trilho bloqueado devido a quebra da ponte 2	9	3	3	9	1	25
Utilização da ponte em outra atividade	3	9	3	9	9	33
Total por participante	22	24	18	28	22	

Fonte: a autora (2024)

A partir da matriz de priorização apresentada na Tabela 5, definiu-se a parada da ponte rolante como o motivo de maior impacto. Com isto, seguiu-se para a análise das possíveis causas que geraram este motivo, construindo o diagrama de causa-efeito (Figura 20).

Figura 20 – Análise do diagrama de causa-efeito para análise do problema de ponte rolante parada.



Fonte: a autora (2024)

As possíveis causas levantadas no diagrama da Figura 20 foram examinados em seguida através de uma análise de 4 porquês para investigação da provável causa-raiz. O estudo procedeu-se de acordo com o observado no Quadro 3.

Quadro 3 – Análise dos Porquês para investigação da causa raiz para o problema de ponte rolante parada.

Porquê 1	Porquê 2	Porquê 3	Porquê 4	Contramedida
Ausência de adoção de contramedidas	Desconhecimento do operador	Baixa frequência de treinamentos	Inexistência de um cronograma de treinamentos de reciclagem	Criar cronograma com frequência definida dos treinamentos de reciclagem
Defeito no trilho	Desgaste excessivo da estrutura ou material do trilho	Estrutura/material do trilho inadequados para a atividade	Não houve um estudo prévio para a escolha do material mais adequado	Realizar análise para definição do material/estrutura que melhor atenda as condições de operação
Ausência do operador de ponte	Número insuficientes de operadores capacitados para operar ponte	Poucos operadores treinados no procedimento de ponte	Ausência de um número mínimo obrigatório de operadores capacitados por turno	Definir número mínimo de operadores capacitados por turno e realizar os treinamentos
Frequência elevada de outros tipos de defeito (cabearmento, rolamentos)	Ponte em condições físicas inadequadas para operação	Baixa frequência na realização de manutenções preventivas	Calendário de manutenção preventiva defasado com relação a frequência necessária dadas as condições atuais	Atualizar cronograma do calendário de preventivas

Fonte: a autora (2024)

Após a definição das contramedidas obtidas por meio da análise dos porquês apresentada no Quadro 3, um plano de ação no formato já conhecido deverá ser elaborado com o intuito de auxiliar no andamento da implementação das contramedidas bem como no monitoramento do número de recorrências das anomalias associadas a cada uma delas. Com isso, foram listados os passos futuros para garantir a continuidade da melhoria das atividades estudadas neste trabalho.

4.5 PASSOS FUTUROS: MELHORAMENTO DO PADRÃO DE *SETUP* DEFINIDO ANTERIORMENTE E DOS MÉTODOS DE REGULAGEM PRESENTES NA TROCA DE CILINDRO

Para o padrão definido, o melhoramento se dará através da revisão das macros e micro atividades definidas para o novo procedimento de troca de cilindro. Este foi concebido de acordo com os pontos apresentados nos itens anteriores e subsequente análise de acordo com a técnica ECRS, conforme mostrado na Tabela 6.

Tabela 6 – Modelo de formulário para análise ECRS.

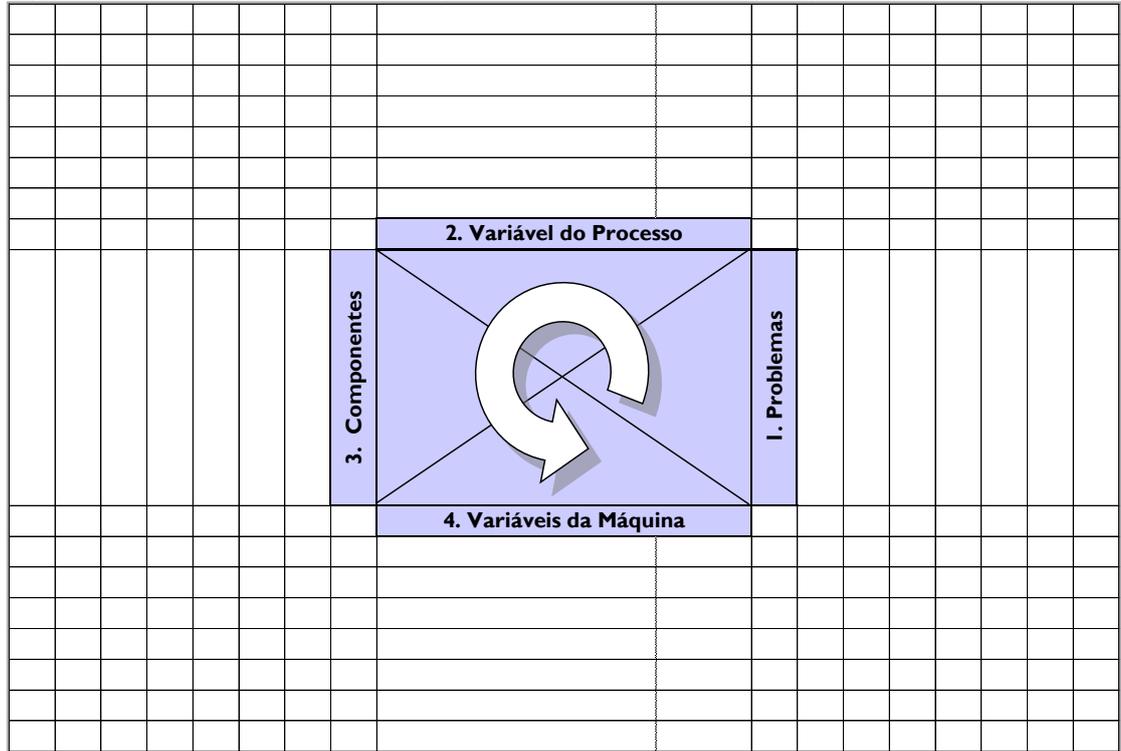
Micro atividade	Duração (min)	Análise					Melhoramento					
		Valor agregado	Monitoramento	Espera	Regulagem	Preparação	Controle	Eliminar	Combinar	Reorganizar	Simplificar	Ação de melhoramento

Fonte: a autora (2024)

Conforme apresentado na Tabela 6, a técnica de ECRS visa analisar as microatividades para mapear o fluxo de valor do procedimento global, identificando as perdas associadas a cada uma delas (nas colunas relacionadas a análise) e auxiliar na tomada de decisão com relação à sua continuidade. Por fim, após levantamento das ações de melhoria, o padrão deve ser novamente atualizado, filmado e as etapas posteriores seguem conforme sequência já definida neste trabalho.

Para caracterização das melhorias de regulação, os métodos atuais devem ser inicialmente analisados, as melhorias levantadas e a partir de então realizado o agrupamento em 4 categorias conforme representadas na Figura 21.

Figura 21 – Matriz para classificação das melhorias de regulação.



Fonte: a autora (2024)

Em seguida, a fim de treinar os colaboradores nos padrões de regulação, para cada causa representada pelos 4M (máquina, mão de obra, método e material), informações como parâmetro, especificação e sequência devem ser analisados qualitativamente conforme os questionamentos levantados no final do formulário da Tabela 7.

Tabela 7 – Formulário para treinamento dos padrões de regulação.

Categoria 3 do diagrama de Ishikawa – Método					
Parâmetro					
Medição					
Especificação					
Frequência					
Responsável					
Atividade Q					
Existe?	Nenhum método padrão. Existe, mas não é suficientemente documentado. Existe e é documentado.				
Garante o nível de qualidade solicitada?	Não, existem muitos defeitos. Cpk não suficiente, mas nenhum defeito. Prevenção dos defeitos: 100%, Cpk>1,33.				
Garante a taxa de produção solicitada?	Impossível garantir a taxa de produção. A taxa está ok mas ainda muito variável. A taxa de produção está garantida em 100%.				
É bem documentado?	Documentação insuficiente para o treinamento. OPL, fotos, desenhos Vídeo (exemplo com explicações).				
É fácil aprender?	São necessários 2/3 meses para aprender. É necessário 1 mês para aprender. São necessários pelo menos 5 dias para aprender.				
Total					

Fonte: a autora (2024)

De posse do formulário apresentado na Tabela 7, deve-se realizar um levantamento das ações de melhoria e, em seguida, atualizar novamente o padrão. Para isso, deverão ser feitas a filmagem e as etapas posteriores, seguindo a sequência já definida neste trabalho.

5 CONCLUSÃO

Com a aplicação da metodologia SMED, foi possível analisar o método de trabalho atual, sendo coletados dados relevantes do processo de troca de cilindros da máquina *caster*. O procedimento inicial, conforme acontecia antes da implementação do SMED, foi filmado, estratificado e os dados obtidos utilizados como base para a elaboração de um novo padrão baseado nos melhores tempos registrados.

Após a introdução de um sistema de coleta de dados contínuo e adequado ao contexto do trabalho, foram detectados tempos de *setup* fora do padrão dos dados observados, indicando a presença de possíveis anomalias durante a realização da troca de cilindros. Estas anomalias foram classificadas e a indisponibilidade de ponte rolante foi identificada como a anomalia de maior contribuição para o problema. Para esta anomalia foram discutidas as possíveis causa-raiz, visando eliminar os desperdícios associados e por conseguinte propôs-se contramedidas a fim de otimizar a performance do equipamento por meio da diminuição do tempo de troca de cilindros.

Em relação às limitações do trabalho, destacam-se o tempo para implementação da metodologia, a princípio definido pelo grupo de trabalho, mas que ao fim demonstrou-se insuficiente para analisar o detalhamento do roteiro utilizado. Como sugestão de melhoria, observa-se a necessidade mais estudos relacionados a aplicação de roteiros da metodologia SMED.

Devido a atrasos que ocorreram na execução do cronograma do roteiro, não foi possível finalizar o projeto em tempo hábil para conclusão deste trabalho, sendo necessário, portanto, a aplicação das técnicas de melhoramento de padrão e ajustes em oportunidades futuras. No entanto, com a análise dos dados obtidos até o momento, fica evidente que a aplicação de um roteiro SMED em conjunto com outras metodologias e ferramentas podem trazer benefícios palpáveis e consistentes para qualquer organização que deseje implementá-las em suas operações.

REFERÊNCIAS

- ABAL. **Cadeia Primária**. São Paulo: Associação Brasileira de Alumínio, 2023. Disponível em: <https://abal.org.br/aluminio/cadeia-primaria/>. Acesso em: 19 nov. 2023.
- ANTÓNIO, N. S.; TEIXEIRA, A.; ROSA, A. **Gestão da qualidade - de Deming ao Modelo de Excelência da EFQM**. 2. ed. rev. e aum. Lisboa: Sílabo, 2016.
- BÂRSAN, R. M.; CODREA, F-M. Lean university: applying the ECRS method to improve an administrative process. **MATEC Web**, v. 290, e07003, 2019. DOI 10.1051/mateconf/201929007003. Disponível em: https://www.researchgate.net/publication/335306634_Lean_university_applying_the_ECRS_method_to_improve_an_administrative_process. Acesso em: 27 mar. 2024.
- BRASIL ALUMÍNIO. **Ciclo da laminação**. Rio de Janeiro: Brasil Alumínio, 2016. Disponível em: https://www.brasilaluminio.com.br/lamination_cycle. Acesso em: 26 nov. 2023.
- CALEGARI, C. L.; TEIXEIRA, R. L. P.; SILVA, P. C. D. PRODUÇÃO DE ALUMÍNIO SECUNDÁRIO: UMA REVISÃO SISTEMÁTICA DA LITERATURA. **Rev. Bras. de Iniciação Científica (RBIC)**, v. 10, 023013, p. 1-21, 2023. Disponível em: <https://periodicoscientificos.itp.ifsp.edu.br/index.php/rbic/article/view/825/429>. Acesso em: 18 nov. 2023.
- CALLISTER JUNIOR, W. D.; RETHWISCH, D. G. **Ciência e engenharia de materiais: uma introdução**. 5 ed. Rio de Janeiro, LTC, 2020. 864 p.
- CARDOSO, J. G. DA R. *et al.* A indústria do alumínio: estrutura e tendências. *In*: CARDOSO, J. G. DA R. *et al.* **Insumos Básicos**. BNDES Setorial, 2011. v. 33. p. 43–88. Disponível em: https://web.bndes.gov.br/bib/jspui/bitstream/1408/2499/3/A%20BS%2033%20A%20i%20ndustria%20do%20alum%C3%ADnio_estrutura%20e%20tend%C3%ADncias_P.pdf. Acesso em: 26 nov. 2023.
- CARPINETTI, L. C. R. **Gestão da Qualidade – Conceitos e Técnicas**. 3º ed. São Paulo: Atlas, 2016.
- CESAR, E. **Alumínio afinado: CBA e Poli-USP desenvolvem chapas mais finas e resistentes**. São Paulo: Revista Pesquisa Fapesp, 2004. Disponível em: <https://revistapesquisa.fapesp.br/aluminio-afinado/>. Acesso em: 19 mar. 2024.
- contínua: estudo de casos em empresas do setor automobilístico e de bens de capital. **Gest. Prod.**, São Carlos, v. 22, n. 4, p. 725-742, 2015. DOI /10.1590/0104-530X1017-13. Disponível em: <http://dx.doi.org/10.1590/0104-530X1017-13>. Acesso em 14 mar. 2024.
- DILALLO, M. **Aluminum: Investing essentials**. The Motley Fool, 2014. Disponível em: <https://www.fool.com/investing/general/2014/08/07/aluminum-investing-essentials.aspx>. Acesso em: 16 nov. 2023.

GARCÍA, R. E. P. *et al.* An Economic Framework for Total Productive Maintenance (TPM). *In: INDUSTRIAL AND SYSTEMS ENGINEERING RESEARCH CONFERENCE*, 62., 2012, Orlando. **Anais [...]**. Atlanta: Institute for Industrial Engineers (IIE). Disponível em: https://www.researchgate.net/publication/289050081_An_Economic_Framework_for_total_productive_maintenance_TPM. Acesso em: 16 nov. 2023.

GODINA, R. *et al.* A structural literature review of the single minute exchange of die: The latest trends. **Procedia manufacturing**, v. 17, p. 783–790, 2018. Trabalho apresentado no Internacional Conference In Flexible Automation And Intelligent Manufacturing, 2018, Columbus, OH, USA. Disponível em: https://www.researchgate.net/publication/328960069_A_Structural_Literature_Review_of_the_Single_Minute_Exchange_of_Die_The_Latest_Trends. Acesso em: 18 nov. 2023.

GONZALES, R. V. D.; MARTINS, M. F.; Competências habilitadoras da melhoria

HIMES, E. **What is SMED? 4 steps to reduce changeover time**. Boston: PTC, 2023. Disponível em: <https://www.ptc.com/en/blogs/iiot/what-is-smed#:~:text=An%20abbreviation%20for%20Single%20Minute,lead%20to%20costly%2C%20unexpected%20downtime>. Acesso em: 27 nov. 2023.

IBRAM. **O alumínio e sua importância para a sociedade**. Brasília: IBRAM Mineração do Brasil, 2021. Disponível em: <https://ibram.org.br/noticia/o-aluminio-e-sua-importancia-para-a-sociedade/>. Acesso em: 15 nov. 2023.

INDUSTRY FORUM UK. **The 16 Losses In Total Productive Maintenance**. Disponível em: <https://industryforum.co.uk/wp-content/uploads/sites/6/2015/05/The-16-Losses.pdf>. Acesso em: 18 nov. 2023.

LEAN PRODUCTION. **SMED (Single-Minute Exchange Of Die)**. Chicago: Lean Production, 2011. Disponível em: <https://www.leanproduction.com/smed/>. Acesso em: 27 nov. 2023.

LEAN PRODUCTION. **TPM (Total Productive Maintenance)**. Chicago: Lean Production, 2011. Disponível em: <https://www.leanproduction.com/tpm/>. Acesso em: 27 nov. 2023.

MARIANO, R. M. **Aplicação de ferramentas da qualidade para aumentar a produtividade homem/caixa na separação de produtos em um centro de distribuição logístico de uma empresa de alimentos**. 2021. 54 f. Trabalho de Conclusão de Curso (Graduação em Engenharia de Produção) – Universidade Federal Tecnológica do Paraná. Disponível em: <https://repositorio.utfpr.edu.br/jspui/bitstream/1/26170/1/ferramentasqualidadeprodutivadelogistico.pdf>. Acesso em: 14 mar. 2024.

OLIVEIRA, E. S.; NASCIMENTO-E-SILVA, D. Gerenciamento participativo de recursos em espaços pedagógicos. **Revista de Gestão e Avaliação Educacional**, [S. l.], v. 9, n. 18, p. 1–19, 2021. DOI: 10.5902/2318133839154. Disponível em: <https://periodicos.ufsm.br/regae/article/view/39154>. Acesso em: 20 mar. 2024.

PALMA, A. **Alumínio: uma questão de massa cinzenta**. Lisboa, PT: APAL, 2014. Disponível em:

https://www.ordemengenheiros.pt/fotos/dossier_artigo/processodeextrusao_620938783533e990ea7f1f.pdf. Acesso em: 27 nov. 2023.

RIZZO, E. M. D. S. **Introdução aos Processos Siderúrgicos**. Série: Capacitação Técnica em Processos Siderúrgicos. Área: Conhecimentos Básicos. ABM: Associação Brasileira de Metalurgia e Materiais. São Paulo, SP, 2005.

RUPPENTHAL, J. E. **Gerenciamento de riscos**. Santa Maria, RS: Universidade Federal de Santa Catarina, 2013. 120 p. Disponível em: <https://site.educacao.go.gov.br/files/SESMT/GerenciamentodeRiscosOcupacionais.pdf>. Acesso em: 14 mar. 2014.

SALTON, G. A; KALNIN, J. L. Estudo para implantação de fluxo contínuo no processo de montagem de chassi numa indústria de semirreboques. *In: Encontro Nacional De Engenharia De Produção*, 36., 2016, João Pessoa. **Anais [...]** São José dos Campos: ABREPRO, 2016. Disponível em: https://www.abepro.org.br/biblioteca/TN_STO_226_316_29533.pdf. Acesso: 14 mar. 2014.

SIDF. **Saudi Industrial Development Fund**. Market in focus: KSA Aluminum Value Chain. 2022. 19 p. Disponível em: https://sidf.gov.sa/en/MediaCenter/Industrial_reports/KSA%20Aluminum%20Value%20Chain.pdf. Acesso em: 14 mar. 2024.

SILVA, *et. al.* Diagrama de Pareto: verificação da ferramenta de qualidade por patentes. *In: SIMPÓSIO DE ENGENHARIA DE PRODUÇÃO DE SERGIPE*, 11., 2019, Sergipe. **Anais [...]** Sergipe: Universidade Federal de Sergipe, 2019. ISSN 2447-0635. Disponível em: <https://ri.ufs.br/bitstream/riufs/12564/2/DiagramaParetoVerificacao.pdf>. Acesso em: 14 mar. 2024.

SILVA, *et. al.* O papel das ferramentas da qualidade na gestão das organizações. *In: SIMPÓSIO DE EXCELÊNCIA EM GESTÃO EM TECNOLOGIA*, 18., 2021. **Anais [...]** Rio de Janeiro: Faculdade Dom Bosco, 2022. Disponível em: <https://www.aedb.br/seget/arquivos/artigos21/803269.pdf>. Acesso em 14. Mar. 2024.

SILVA, J. N. S. **Siderurgia**. Belém do Pará, PA: Instituto Federal do Pará, 2011. 110 p. Disponível em: https://redeetec.mec.gov.br/images/stories/pdf/eixo_ctrl_proc_indust/tec_metal/siderurgia/161012_siderurgia.pdf. Acesso em: 14 mar. 2024.

SILVA, R.O. **Proposta de aut Capacitação para coordenadores de graduação**. Manaus: Instituto Federal do Amazonas, 2019. E-book (36 p.) Disponível em: <https://educapes.capes.gov.br/bitstream/capes/561164/2/%5B1%5D%20Produto%20Educativo%20-%20Ronison%20Oliveira%20da%20Silva%20%26%20Daniel%20Nascimento%20e%20Silva%20%28ProfEPT%29%20-%202019%20vers%C3%A3ofinal.pdf>. Acesso em: 26 nov. 2023.

SOUZA, E. I. **Precipitação de AL(OH)₃ do licor de Bayer em presença de aditivos**. 2020. 113 p. Dissertação (Mestrado em Engenharia Mineral) – Escola de Minas, Universidade Federal de Ouro Preto, 2020.

SUHARDI, B.; ANISA, N.; LAKSONO, P. W. Minimizing waste using lean manufacturing and ECRS principle in Indonesian furniture industry. **Cogent Eng**, v. 6, 1567019, 2019. DOI 10.1080/23311916.2019.1567019. Disponível em: <https://www.tandfonline.com/doi/pdf/10.1080/23311916.2019.1567019>. Acesso em: 27 mar. 2024.

TÂMEGA, F. **Fundição de processos siderúrgicos**. Londrina, PR: Editora e Distribuidora Educacional S.A, 2017. Disponível em: http://ftp.demec.ufpr.br/disciplinas/TM233/Arquivos%20FTP%202020/Bibliografia/LIVRO_processo_de_fundicao.pdf. Acesso em: 14 mar. 2024.

TEZEL, A. **Introduction to SMED: A Neglected Method in Lean Construction**. Lean Construction Blog, 2016. Disponível em: <https://leanconstructionblog.com/Single-Minute-Exchange-of-Dies-A-Neglected-Method-in-Lean-Construction.html>. Acesso em: 14 mar. 2024.

VERREIRA, V.V. **Metodologia SMED - Estudo do trabalho e redução dos tempos de setup**. 2018. 123 p. Dissertação (Mestrado em Engenharia Mecânica e Gestão Industrial) – Escola Superior de Tecnologia e Gestão de Viseu, Instituto Politécnico de Viseu, Viseu, 2018. Disponível em: https://repositorio.ipv.pt/bitstream/10400.19/5244/1/Vitor_Ferreira_Dissertação%20de%20Mestrado.pdf. Acesso em: 14 mar. 2024.

VIRGÍLIO, H. B. **Manutenção produtiva total no melhoramento produtivo organizacional**. 2018. 38 p. Trabalho de Conclusão de Curso (Graduação em Engenharia de Produção) – Faculdade de Administração, Ciências Contábeis, Engenharia De Produção e Serviço Social, Universidade Federal de Uberlândia, Uberlândia, 2018. Disponível em: <https://repositorio.ufu.br/bitstream/123456789/24128/3/ManutençãoProdutivaTotal.pdf>. Acesso em: 14 mar. 2024.