



CENTRO UNIVERSITÁRIO RITTER DOS REIS
ÂNIMA EDUCAÇÃO
TIAGO PEDROSO MICHEL

**LEAN SIX SIGMA: um estudo de caso em uma empresa do segmento
metalmecânico para aumento da eficiência de uma máquina de corte laser**

Canoas
2023

TIAGO PEDROSO MICHEL

**LEAN SIX SIGMA: um estudo de caso em uma empresa do segmento
metalmecânico para aumento da eficiência de uma máquina de corte laser**

Trabalho de conclusão de Curso apresentado
ao Curso de Graduação em Engenharia
Mecânica do Centro Universitário Ritter dos
Reis, como requisito parcial para obtenção do
título de Bacharel.

Orientador: Me. Andres Eberhard Friedl Ackermann

Canoas
2023

TIAGO PEDROSO MICHEL

**LEAN SIX SIGMA: um estudo de caso em uma empresa do segmento
metalmecânico para aumento da eficiência de uma máquina de corte laser**

Este Trabalho de Conclusão de Curso foi julgado adequado à obtenção do título de Bacharel em Engenharia Mecânica e aprovado em sua forma final pelo Curso de Engenharia Mecânica do Centro Universitário Ritter dos Reis.

Canoas, RS, 10 de dezembro de 2023.

Professor e Orientador Me. Andres Eberhard Friedl Ackermann
Centro Universitário Ritter dos Reis

Professor e Coordenador dos Cursos de Engenharia Me. Adriano Menezes da Silva
Centro Universitário Ritter dos Reis

AGRADECIMENTOS

Primeiramente, expresso minha sincera gratidão ao Programa Universidade para Todos (PROUNI). Sem esse apoio fundamental, minha jornada acadêmica e a possibilidade de graduação não teriam sido alcançadas.

Quero estender meus agradecimentos ao dedicado professor e orientador, o Me. Andres Ackerman. Sua paciência infindável e comprometimento foram pilares essenciais para que eu pudesse empreender este desafio acadêmico. Sem a orientação valiosa do senhor, este trabalho seria algo além do alcance. Agradeço profundamente por sua colaboração e apoio incansável.

Agradeço também ao meu gestor Abel Vergara Schorr, cujo qual possibilitou a aplicação deste estudo no ambiente de trabalho, viabilizando a validação entre a teoria e a prática.

À minha família, expresso profundo agradecimento por terem sido a peça fundamental ao longo do meu desenvolvimento como ser humano. Vocês foram essenciais, auxiliando-me na superação de desafios, na melhoria dos defeitos e contribuindo para que eu me tornasse uma pessoa melhor, com um foco mais definido na consecução dos meus objetivos. Obrigado por todo apoio e amor ao longo da jornada.

Agradeço ao meu querido pai, André Luis Michel, por ter sido aquele que me introduziu ao universo da indústria e despertou em mim a paixão pela área das engenharias desde a infância. Seu apoio e os conhecimentos técnicos passados foram elementos chave para meu desenvolvimento enquanto profissional. Obrigado pelo carinho e pelos ensinamentos.

Dedico meu profundo agradecimento à memória da minha querida avó, Marli de Oliveira Michel. Sua presença e apoio foram fundamentais nos momentos mais desafiadores da minha jornada, sempre estando disponível com uma palavra de acalento. Espero que, onde quer que esteja, se sinta orgulhosa. Obrigado por tanto.

Em especial, expresso minha gratidão à minha noiva e companheira, Naiara Borges de Oliveira. Você foi a sólida base que sustentou durante os momentos conturbados. Sem a sua presença, dedicação e apoio, a realização deste trabalho e o título de engenheiro mecânico não teriam sido possíveis. Muito obrigado por tudo!

Agradeço a Deus, por ter iluminado cada passo do meu caminho e cuja força me guia à conquista de meus objetivos.

“Não é suficiente fazer o melhor; primeiro, é preciso saber exatamente o que fazer para depois dar o seu melhor”

William Edwards Deming

RESUMO

O presente estudo teve como foco a implementação da metodologia Lean Six Sigma no processo de corte a laser de uma indústria metalúrgica, visando a sustentável melhoria da eficiência global de uma máquina específica. Os objetivos incluíram a aplicação da metodologia DMAIC, diagnóstico do processo e a proposta de um plano de melhoria. A pesquisa, realizada como um estudo de caso empírico, teve como foco aprimorar um processo produtivo específico por meio da implementação de uma metodologia estruturada. Ao integrar abordagens qualitativas e quantitativas, o projeto busca identificar estratégias eficazes e compreender como essa combinação pode resultar em melhorias sustentáveis nos processos industriais. Por meio da aplicação da metodologia, foram delineados objetivos específicos, incluindo a análise abrangente do processo de corte laser e a elaboração de um plano de melhoria estruturado com base na compreensão aprofundada do processo analisado, levantamento dos dados e a identificação de áreas de oportunidade de melhoria. Tais oportunidades foram categorizadas em disponibilidade, performance e qualidade, concentrando esforços na organização do ambiente de trabalho, treinamento de operadores e padronização de procedimentos. As ações resultaram em aumento da performance diária, disponibilidade da máquina e a precisão nos dados. Destaca-se uma redução significativa de 20,33% no tempo total de parada da máquina. Apesar de a performance mensal atingir 83% no segundo mês de estudo ser notável, a ênfase se deu na estabilização e na redução significativa da variabilidade dos indicadores, que apontaram performances que variavam entre 21% e impossíveis 172% no primeiro mês de estudo. A análise de resultados revelou uma evolução positiva na acurácia e confiabilidade dos dados, resultando em um aumento de 5% na eficiência e disponibilidade da máquina, além dos dados de performance agora representarem a realidade do processo. Embora os resultados mensais até o segundo mês e o resultado parcial do mês seguinte indicarem uma eficiência de pelo menos 70% ao seu fechamento, as ações futuras concentrarem-se na redução de paradas, tempos de processo e criação de indicadores robustos de qualidade, apontando a tendência de atingir a meta de 80% até o final de 2023.

Palavras-chave: Seis sigma. Lean Manufacturing. DMAIC. Corte Laser. Metalmecânica. Eficiência Global do Equipamento.

ABSTRACT

The present study focused on implementing the Lean Six Sigma methodology in the laser cutting process of a metallurgical industry, aiming for the sustainable improvement of the overall efficiency of a specific machine. The objectives included applying the DMAIC methodology, diagnosing the process, and proposing an improvement plan. The research, conducted as an empirical case study, aimed to enhance a specific production process through the implementation of a structured methodology. By integrating qualitative and quantitative approaches, the project seeks to identify effective strategies and understand how this combination can lead to sustainable improvements in industrial processes. Through the methodology application, specific goals were outlined, encompassing a comprehensive analysis of the laser cutting process and the development of a structured improvement plan based on an in-depth understanding of the process, data collection, and identification of areas for improvement. These opportunities were categorized into availability, performance, and quality, with efforts concentrated on organizing the work environment, training operators, and standardizing procedures. The actions resulted in increased daily performance, machine availability, and data accuracy. A noteworthy achievement is the significant reduction of 20.33% in total machine downtime. Although a monthly performance reaching 83% in the second month of the study is notable, the emphasis was on stabilization and a substantial reduction in indicator variability, which exhibited performances ranging from 21% to an impossible 172% in the first month of the study. Analysis of results revealed a positive evolution in data accuracy and confiability, resulting in a 5% increase in machine efficiency and availability. Furthermore, the performance data now accurately represents the reality of the process. While monthly results up to the second month and the partial result for the following month indicate an efficiency of at least 70% at closing, future actions will focus on reducing stops, process times, and creating robust quality indicators, indicating the tendency to reach the target of 80% by the end of 2023.

Keywords: Six Sigma. Lean Manufacturing. DMAIC. Laser Cutting. Metal Mechanics. Overall Equipment Efficiency.

LISTA DE FIGURAS

Figura 1 - Princípio do corte laser.....	21
Figura 2 - Indicador OEE.....	23
Figura 3 - Métrica para calcular OEE.....	24
Figura 4 - Escala Sigma.....	26
Figura 5 - Hierarquia Seis Sigma.....	29
Figura 6 - Casa da Toyota.....	33
Figura 7 - Exemplo de Diagrama de Causa e Efeito.....	36
Figura 8 - Delineamento do Trabalho.....	44
Figura 9 - Organograma da empresa.....	48
Figura 10 - Fluxo do processo.....	50
Figura 11 - Layout da máquina.....	51
Figura 12 - Ishikawa Disponibilidade.....	64
Figura 13 - Ishikawa Performance.....	65
Figura 14 - Ishikawa Qualidade.....	67
Figura 15 - Antes e depois das bandejas de remoção de sucata.....	77
Figura 16 - Limpeza das grelhas.....	78
Figura 17 - Layout futuro do posto de trabalho.....	82
Figura 18 - Recorte da instrução de trabalho - 1.....	85
Figura 19 - Recorte da instrução de trabalho - 2.....	87
Figura 20 - Recorte da instrução de trabalho - 3.....	89
Figura 21 - Recorte da instrução de trabalho - 4.....	91
Figura 22 - Recorte da instrução de trabalho - 5.....	93
Figura 23 - Recorte da instrução de trabalho - 6.....	95
Figura 24 - Recorte da instrução de trabalho - 7.....	96
Figura 25 - Recorte da instrução de trabalho - 8.....	98
Figura 26 - Recorte da instrução de trabalho - 9.....	99

LISTA DE GRÁFICOS

Gráfico 1 - Exemplo de Gráfico de Pareto.....	35
Gráfico 2 - OEE mês de Julho.....	52
Gráfico 3 - IROG do mês de Julho.....	53
Gráfico 4 - Pareto Tempos de Parada em Horas (Mês 7).....	55
Gráfico 5 - Evolução diária das paradas por limpeza e organização em minutos.....	57
Gráfico 6 - Evolução semanal das paradas por limpeza e organização em minutos.....	57
Gráfico 7 - Evolução diária das paradas por ajuste de programa em minutos.....	58
Gráfico 8 - Evolução semanal das paradas por ajuste de programa em minutos.....	58
Gráfico 9 - Evolução diária das paradas por razões logísticas em minutos....	59
Gráfico 10 - Evolução semanal das paradas por razões logísticas em minutos.....	59
Gráfico 11 - Avaliação dos itens já cortados na máquina.....	61
Gráfico 12 - Avaliação dos itens com tempos menores.....	62
Gráfico 13 - Evolução semanal das paradas por questões logísticas (em horas).....	74
Gráfico 14 - Evolução semanal das paradas por ajuste de programa (em horas).....	75
Gráfico 15 - Evolução semanal das paradas em horas por limpeza e organização.....	79
Gráfico 16 - Pareto do mês 8 dos tempos de parada em horas.....	80
Gráfico 17 - Performance mês de Agosto.....	102
Gráfico 18 - IROG mês de Agosto.....	105

LISTA DE QUADROS

Quadro 1 - Explicação 5W2H.....	38
Quadro 2 - Quadro síntese das oportunidades de melhoria.....	70
Quadro 3 - Plano de ação do processo de corte laser	72

LISTA DE SIGLAS

STP – Sistema Toyota de Produção

JIT – Just in Time

OEE – Overall Equipment Effectiveness

TPM – Total Productive Maintenance

DMAIC – Define, Measure, Analyze, Improve and Control

PNP – Passa-não-passa

LASER - Light Amplification by Stimulated Emission of Radiation

SAP - Systeme, Anwendungen und Produkte in der Datenverarbeitung

CNI – Confederação Nacional da Indústria

FIERGS – Federação das Indústrias do Estado do Rio Grande do Sul

PIB – Produto Interno Bruto

SUMÁRIO

1	INTRODUÇÃO.....	13
1.1	PROBLEMA DE PESQUISA.....	14
1.2	DELIMITAÇÃO DA PESQUISA.....	15
1.3	OBJETIVOS DA PESQUISA.....	15
1.3.1	Objetivo geral.....	15
1.3.2	Objetivos específicos.....	16
1.4	JUSTIFICATIVA.....	16
2	REVISÃO DE LITERATURA.....	18
2.1	QUALIDADE.....	18
2.2	CORTE LASER.....	20
2.3	OVERALL EQUIPMENT EFFECTIVENESS.....	22
2.4	SIX SIGMA.....	26
2.4.1	Metodologia DMAIC.....	30
2.5	SISTEMA TOYOTA DE PRODUÇÃO.....	31
2.6	DIAGRAMA DE PARETO.....	34
2.7	DIAGRAMA DE ISHIKAWA.....	36
2.8	5W2H.....	38
3	PROCEDIMENTOS METODOLÓGICOS.....	41
3.1	MÉTODO DE PESQUISA.....	41
3.2	MÉTODO DE TRABALHO.....	43
4	APRESENTAÇÃO DA EMPRESA PESQUISADA.....	46
4.1	ESTRUTURA ORGANIZACIONAL.....	47
4.2	ESTADO INICIAL DO PROCESSO DE CORTE LASER.....	49
5	PLANO DE MELHORIA PARA EFICIÊNCIA DO PROCESSO DE CORTE LASER.....	71
6	CONCLUSÃO E SUGESTÕES PARA TRABALHOS FUTUROS.....	107
	REFERÊNCIAS.....	110
	APÊNDICES.....	115
	Apêndice A: Instrução de Manutenção Autônoma.....	115

1 INTRODUÇÃO

Com o passar das últimas décadas, o *Six Sigma* vem se difundindo internacionalmente, sendo considerado a principal metodologia da qualidade dos últimos tempos. Para Taquetti et al (2017), *Six Sigma* é uma estratégia com base estatística, que visa aumentar significativamente a lucratividade das empresas, através de melhorias da qualidade de produtos e processos. Porém, para tal estratégia ser eficaz, deve-se entender os três pilares sustentam o *Six Sigma*, são eles a mensuração de retorno, o engajamento da alta administração e a metodologia estruturada.

Contudo, ao falar de qualidade, é inevitável fazer ligação com o Sistema Toyota de Produção (STP) e o *Lean Manufacturing* (manufatura enxuta). O *Lean Manufacturing* está presente hoje na maioria das empresas (principalmente na indústria), por se tratar de uma iniciativa que busca reduzir os desperdícios da organização, o que consequentemente aumenta a sua lucratividade. Taiichi Ohno, uma das figuras centrais no desenvolvimento do Sistema Toyota de Produção, define desperdício como qualquer elemento que não proporciona valor ao cliente, sendo, portanto, passível de redução ou eliminação (OHNO, 1996).

A integração dos modelos de gestão da qualidade *Lean* e *Six Sigma* é considerada natural e altamente benéfica. Enquanto o *Lean* concentra-se na redução de desperdícios, carece de ferramentas estatísticas para lidar eficientemente com problemas, aspecto este abordado pelo *Six Sigma*. A combinação dessas abordagens resulta no *Lean Six Sigma*, uma prática amplamente adotada que não apenas reduz as variações, mas também aumenta a eficiência do processo. Essa integração permite que a análise estatística aprimore as etapas que agregam valor ao produto, enquanto as iniciativas *Lean* identificam e eliminam processos adicionais, reduzindo significativamente o tempo de processamento (WERKEMA, 2022).

Uma das contribuições marcantes do *Lean Six Sigma* foi a reestruturação da metodologia DMAIC, originalmente idealizada por Deming em 1950. Anteriormente, o modelo consistia em quatro etapas, sendo denominado apenas por suas iniciais: *Measure*, *Analyse*, *Improve* e *Control*. A inclusão da etapa *Define* na metodologia DMAIC é uma evolução significativa, aprimorando a abordagem original e proporcionando uma estrutura mais abrangente para equipes executarem projetos de melhoria alinhados com as metas organizacionais (SANDER, 2021).

O setor de indústria de transformação, no qual se insere a indústria metal-mecânica, tem apresentado um aumento constante em seu Produto Interno Bruto (PIB) ao longo dos anos. De acordo com informações da Confederação Nacional da Indústria (2022), esse crescimento foi significativo, passando de R\$ 514 bilhões em 2012 para R\$ 909,7 bilhões em 2021. Contudo, é notório que a contribuição desse setor para o PIB total do Brasil está em declínio, registrando uma participação de 12% em 2019. É relevante destacar que, dentro do âmbito da indústria de transformação, a indústria de máquinas e equipamentos, metalurgia e indústria de metais representam aproximadamente 15,7% do PIB desse segmento, como apontado pela mesma fonte (CNI, 2022).

Os resultados da pesquisa conduzida em julho de 2022 pelo Instituto Pesquisas de Opinião, que abrangeu oito regiões do Rio Grande do Sul, estabelecem que 61,9% dos residentes do estado reconhecem a indústria como um fator fundamental no desenvolvimento econômico regional. É evidente a influência positiva da indústria não apenas na economia, mas também em áreas como agricultura de precisão, comércio eletrônico e na fabricação de equipamentos para o varejo. Essa pesquisa, que envolveu 1,5 mil entrevistas em 52 municípios, consolida o entendimento generalizado de que a indústria desempenha um papel essencial no progresso da região sulista (FIERGS, 2022).

1.1 PROBLEMA DE PESQUISA

Afim de contribuir positivamente às faculdades de engenharia através da aplicação de uma metodologia, será desenvolvido um projeto *Six Sigma* com a metodologia DMAIC em uma empresa de grande porte, visando a redução de desperdícios em um processo de corte a laser. A iniciativa abrange melhorias em desvios de qualidade, disponibilidade de máquinas e tempo de processamento, com o objetivo de aprimorar a eficiência operacional e a satisfação do cliente.

A partir da aplicação prática da metodologia e com base no estudo executado, será respondido se: É possível e viável aplicar a metodologia estudada em um processo produtivo metalmeccânico em uma empresa de grande porte?

1.2 DELIMITAÇÃO DA PESQUISA

O presente estudo tem como foco a aplicação da metodologia DMAIC em um processo produtivo específico, com análise realizada no período de Junho a Setembro de 2023. O objetivo é melhorar a eficiência global (OEE) de uma máquina de corte laser, utilizada exclusivamente para cortar peças destinadas à fabricação de máquinas de construção, como escavadeiras, retroescavadeiras e motoniveladoras. Esta pesquisa será conduzida em uma empresa do segmento metalmecânico localizada no Noroeste do estado do Rio Grande do Sul. O processo em questão envolve a transformação de chapas de aço em componentes que posteriormente serão fornecidos às linhas de solda para a fabricação dos conjuntos finais. É importante ressaltar que este estudo se concentrará exclusivamente neste processo, não abrangendo outros setores ou atividades da empresa além do escopo mencionado.

Neste projeto, será conduzido um acompanhamento detalhado no setor onde as atividades serão implementadas. O intuito é coletar informações cruciais e relacionadas à máquina em foco, realizar análises aprofundadas e apresentar os resultados de forma detalhada e elucidativa. Por meio deste estudo, será analisado meticulosamente a evolução dos indicadores que impactam diretamente no OEE, abrangendo todo o período que compreende desde o início até a conclusão do projeto. Esse processo permitirá identificar oportunidades de melhoria e desenvolver estratégias eficazes para aprimorar a eficiência da máquina ao longo do tempo.

1.3 OBJETIVOS DA PESQUISA

Os objetivos do presente trabalho foram divididos em objetivo geral e objetivos específicos, os quais são apresentados a seguir.

1.3.1 Objetivo geral

O objetivo geral deste estudo é implementar a metodologia *Lean Six Sigma* na indústria metalúrgica no Sul do Brasil e aplicar o DMAIC com o propósito de aprimorar de forma sustentável a Eficiência Global de uma máquina de corte laser. Isso será realizado com base nos dados obtidos nas primeiras etapas do projeto, que servirão como fundamento para a elaboração da proposta de melhoria.

1.3.2 Objetivos específicos

Os objetivos específicos deste estudo são:

- Aplicação da metodologia DMAIC em um processo de corte laser;
- Diagnóstico do processo de corte laser;
- Propor um plano de melhoria para o processo de corte laser.

1.4 JUSTIFICATIVA

A justificativa empresarial para a realização deste estudo se baseia na urgente necessidade de redução de custos e aumento da produtividade da empresa, dois fatores de extrema relevância que impactam negativamente seus indicadores de desempenho e, conseqüentemente, sua lucratividade. Este projeto, que utiliza o DMAIC, concentra-se na otimização do processo de corte a laser, com o objetivo primordial de elevar a eficiência global da fábrica. O sucesso na implementação dessas melhorias não apenas alinhara a empresa aos padrões de excelência do setor, mas também reforçará sua posição competitiva no mercado, abrindo caminho para um crescimento sustentável e para a maximização de sua rentabilidade.

Diante da expansão do mercado e do aumento constante na demanda pelos produtos da empresa, a aquisição de uma máquina laser de 12000W se tornou uma necessidade premente para atender às solicitações tanto dos clientes internos quanto dos externos. No entanto, essa aquisição, apesar de sua grande capacidade, trouxe consigo desafios significativos, principalmente no que diz respeito aos atrasos na produção, tornando-se um gargalo crítico dentro da fábrica.

A empresa reconhece, de maneira incontestável, a urgente necessidade de elevar sua eficiência operacional e, conseqüentemente, sua lucratividade. Isso se traduz em uma busca contínua por estratégias de redução de custos e aumento da produtividade. Nesse contexto, o projeto fundamentado na metodologia DMAIC é uma resposta direta a essa demanda, com foco na otimização do processo de corte a laser. O sucesso na implementação das melhorias não apenas estabelecerá a empresa como referência em seu setor, mas também fortalecerá sua competitividade no mercado.

A justificativa acadêmica deste estudo é oferecer uma contribuição significativa para os cursos de Engenharia e especializações voltadas ao *Lean Six Sigma*. A partir

da análise dos dados coletados e dos resultados obtidos no projeto de melhoria, independentemente de serem positivos ou negativos, será analisada criticamente a metodologia em si. Isso envolverá uma avaliação minuciosa para determinar se os passos metodológicos contribuíram de maneira eficaz para a obtenção de dados confiáveis. Além disso, serão verificadas se etapas foram executadas conforme as melhores práticas e se as soluções propostas pelo gestor do projeto estão alinhadas com os objetivos estabelecidos para este estudo.

Após o surgimento da pandemia de COVID-19 em 2020, ficou evidente um aumento significativo na popularidade do ensino online, abrangendo não apenas cursos de graduação, mas também especializações. Na área da engenharia da qualidade, as especializações em *Lean Six Sigma*, como os cursos de *White Belt* e *Yellow Belt*, ganharam destaque. Além disso, é possível encontrar alguns desses cursos gratuitamente em várias plataformas educacionais. É importante ressaltar que muitas empresas de grande porte agora consideram esses conhecimentos e certificações como pré-requisitos para determinadas posições, que variam desde cargos operacionais até funções de gerência. Este trabalho se propõe a avaliar e aplicar esses conhecimentos na prática.

Esse processo de avaliação abrangente não apenas fornecerá *insights* valiosos para o aprimoramento da metodologia *Lean Six Sigma*, mas também enriquecerá o conhecimento e a compreensão dos estudantes e profissionais envolvidos em cursos relacionados a esse campo. À medida que serão analisados os resultados e as lições aprendidas com este projeto, será tomada a busca por ampliar as fronteiras do conhecimento, contribuindo para o aprimoramento contínuo das práticas relacionadas à melhoria de processos e eficiência em ambientes industriais e acadêmicos.

2 REVISÃO DE LITERATURA

Neste capítulo, será adotada uma abordagem de segmentação, dividindo o conteúdo em seções bem definidas. Isso nos permitirá apresentar de forma organizada os conceitos fundamentais relacionados ao tema em questão. Cada subseção se concentrará em aspectos específicos, construindo uma base conceitual sólida que servirá como alicerce fundamental para as metodologias que serão aplicadas ao longo da pesquisa. Essa abordagem estruturada tornará a compreensão e contextualização dos métodos utilizados mais acessíveis, resultando em análises e conclusões de maior qualidade e relevância quando discutidas posteriormente.

2.1 QUALIDADE

Um processo produtivo, pode ser entendido como um grupo de pessoas que trabalham juntas transformando entradas em saídas. Neste sentido, pode-se definir que a qualidade do produto ou processo é determinada pela satisfação do cliente ou de outras partes interessadas. Uma empresa focada em qualidade, entende que é necessário promover uma cultura entre todas as pessoas da organização, cada um se torna responsável por garantir a qualidade de seu processo, evitando desperdícios e agregando valor ao produto (ABNT NBR ISO 9000:2015).

A qualidade sempre deve ser a prioridade para a empresa, pois ela sim possibilitará a competitividade no mercado, independente dos preços. Para que seja possível desenvolver a Cultura da Qualidade prevista pelo STP, deve-se colocar em prática a Melhoria Contínua (Kaizen) – envolvendo tanto diretores quanto operadores. Para que a metodologia Kaizen possa agir efetivamente em um processo, deve-se conversar com dados confiáveis, caso contrário, seriam apenas suposições (IMAI, 2014).

David A. Garvin identificou diversas abordagens para a qualidade. A abordagem transcendental considera a qualidade inata e perceptível pelo cliente durante o uso do produto. A perspectiva centrada no produto mensura a qualidade comparando atributos a padrões, com custos associados aos atributos de qualidade. A abordagem centrada no valor relaciona a qualidade à satisfação das necessidades do cliente e à eficiência nos custos. Já a visão centrada na fabricação enfatiza a conformidade com as especificações e a minimização de desvios ao menor custo. Por

fim, a abordagem centrada no cliente implica projetar produtos com base nas necessidades do cliente, colocando-o no centro do processo de desenvolvimento. Cada abordagem oferece uma perspectiva única sobre como avaliar e atingir a qualidade (CUSTODIO, 2015).

Garvin desempenhou um papel fundamental ao definir o conceito de qualidade em termos abrangentes. Sua contribuição inclui a identificação de oito dimensões da qualidade, cada uma abordando diferentes aspectos de um produto ou serviço. Essas dimensões são cruciais para avaliar e aprimorar a qualidade, abrangendo uma ampla gama de perspectivas que vão desde o desempenho até a percepção do cliente. Abaixo, estão descritas as oito dimensões da qualidade para uma compreensão mais aprofundada de como elas moldam nossa percepção de qualidade em produtos e serviços conforme elencado por Garvin e exemplificado por Andreoli e Bastos (2017):

- Desempenho: Refere-se às funções operacionais essenciais de um produto ou serviço, ou seja, o quão bem ele realiza suas tarefas principais.
- Características: São funções secundárias ou complementares que um produto ou serviço pode oferecer para adicionar valor ao cliente.
- Confiabilidade: Mede a probabilidade de um produto ou serviço funcionar sem defeitos durante um período de tempo específico.
- Conformidade: Refere-se à aderência do produto ou serviço aos padrões e especificações estabelecidos.
- Durabilidade: Avalia a vida útil do produto, ou seja, a sua capacidade de resistir ao desgaste e ao envelhecimento, mantendo o desempenho ao longo do tempo.
- Atendimento: Envolve o relacionamento com o cliente, o suporte oferecido e a qualidade do serviço de atendimento ao cliente.
- Estética: Está relacionada às preferências pessoais e à aparência do produto, focando na beleza, *design* e atratividade visual.
- Qualidade Percebida: Representa a avaliação subjetiva feita pelos consumidores, com base em suas experiências e expectativas gerais.

Controle da qualidade é uma prática que visa melhorar os processos e satisfazer seu cliente (seja o cliente final ou o próximo processo). Para Falconi (2014), este controle é abordado a partir do planejamento, manutenção e melhoria da qualidade prevista pelo cliente, quando encontrados resultados indesejáveis, deve-se

solucionar o problema e iniciar o ciclo novamente. Quando cada colaborador assume a responsabilidade acerca de seu processo, então é possível obter tal controle.

Uma melhoria em um processo prevê um conjunto de ações que resultarão em uma mudança positiva em um indicador de interesse. Tais melhorias geralmente são aplicadas para redução de desperdícios. Ohno (1996) define que desperdício é tudo aquilo que não agrega valor para o cliente, tal como estoque, movimentação de cargas e etc.. Tendo em vista este conceito de desperdício, pode-se entender também que, ao passo em que uma ação não agrega valor ao produto, diminui a margem de lucro da empresa, pois essa mesma ação estará consumindo recursos sem ter um retorno.

2.2 CORTE LASER

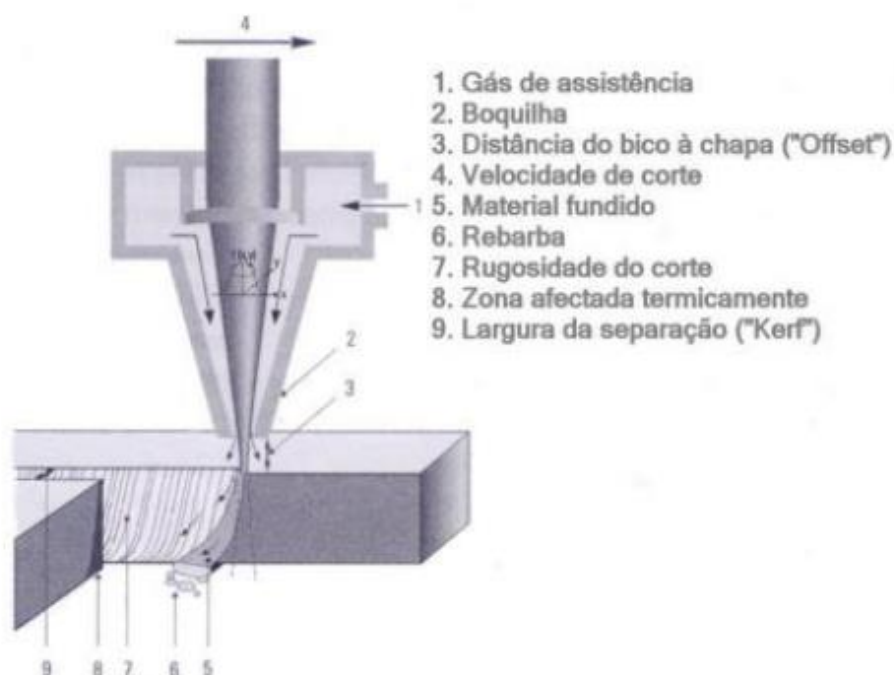
O laser, cuja sigla significa Amplificação da Luz por Emissão Estimulada por Radiação, do inglês *Light Amplification by Stimulated Emission of Radiation*, é um dispositivo com a capacidade de gerar radiação visível monocromática de alta intensidade. Uma das características mais notáveis é a sua emissão de luz monocromática. Ao analisar o espectro de luz do laser, é possível perceber apenas uma linha, indicando que a luz é composta por um único comprimento de onda, em contraste com outras fontes de luz que contêm múltiplos comprimentos de onda (SANTOS; PISCIOTTA, 2020).

A geração da luz laser necessita de três componentes fundamentais, sendo o meio laser o primeiro deles. Nesse meio, a radiação laser é estimulada por uma fonte de energia, podendo abranger diferentes estados físicos, como o gás CO₂, por exemplo, também pode ser induzida por meio sólido, como o cristal dopado YAG ou líquido como corante. Vale ressaltar que é o próprio material que emite a luz durante a excitação. Em seguida, a fonte de energia, como uma lâmpada, diodo ou equipamento de radiofrequência, entra em ação, emitindo a energia necessária para estimular o meio laser. Por fim, a amplificação da potência do laser ocorre no ressonador, frequentemente composto por espelhos que garantem uma amplificação eficaz e coerente (TRUMPF, 2012).

As máquinas de corte a laser destacam-se por várias características distintivas em comparação com outros métodos. Além de sua versatilidade para cortar diversos materiais, similar à máquina de corte por jato de água, elas se sobressaem por oferecer um custo mais acessível e uma maior conveniência. Além disso, a

adaptabilidade dessas máquinas é notável, já que seu tamanho pode ser ajustado conforme a necessidade, conferindo-lhes praticidade em diferentes aplicações (DIAS, 2015). O princípio do corte laser está exemplificado na figura 1.

Figura 1: Princípio do corte laser



Fonte: Grilo, 2018

O laser desencadeia um processo de fusão e evaporação concentrado em áreas localizadas, exigindo a presença do fluxo de um gás de assistência, como oxigênio ou nitrogênio, para direcionar o material liquefeito para fora da ranhura, eliminando as partículas resultantes. Essa abordagem resulta em cortes extremamente precisos e superfícies lisas, proporcionando um alto nível de qualidade e acurácia no processo de corte (GRILLO, 2018). Os itens que compõe o processo de corte laser (como visto na imagem à cima) estão explicados abaixo conforme descritos por Grilo (2018).

1. Gás de Assistência: No processo de corte a laser, o gás de assistência é utilizado para proteger a lente do laser e a superfície da peça a ser cortada, evitando a formação de óxidos e melhorando a qualidade do corte.

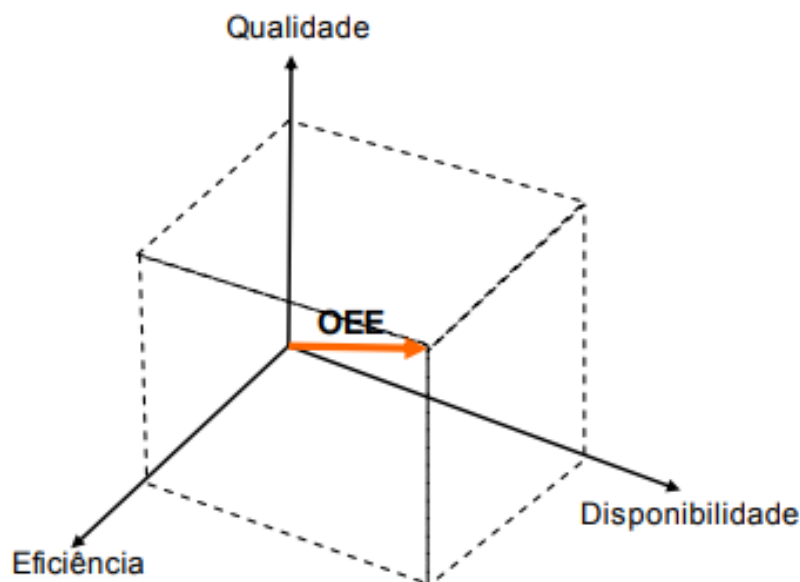
2. **Boquilha:** A boquilha é uma peça no cabeçote do laser que direciona o feixe de laser para o material a ser cortado, fornecendo foco preciso e garantindo um corte limpo e preciso.
3. **Offset:** O *offset* é um ajuste nas configurações do corte a laser que permite controlar a posição inicial do feixe de laser em relação à peça, garantindo que o corte comece no local desejado.
4. **Velocidade do Corte:** A velocidade do corte é a taxa com que o cabeçote do laser se move ao longo do material. Controlar a velocidade é crucial para otimizar a qualidade e eficiência do corte.
5. **Material Fundido:** Durante o corte a laser, o material pode ser aquecido a ponto de fundir, criando uma pequena zona de material derretido ao longo da borda do corte.
6. **Rebarba:** A rebarba se refere às bordas irregulares ou saliências que podem se formar após o corte a laser. Ela precisa ser removida para obter uma superfície lisa.
7. **Rugosidade do Corte:** A rugosidade do corte se relaciona com a textura da superfície resultante do corte a laser e pode variar com base nas configurações do processo.
8. **Zona Afetada Termicamente:** A zona afetada termicamente é a região adjacente ao corte onde o material sofre alterações de propriedades devido ao aquecimento causado pelo feixe de laser.
9. **Kerf:** O *kerf* se refere à largura do canal ou fenda criada durante o corte a laser. É importante controlar o *kerf* para obter cortes precisos e dimensionamento correto das peças.

2.3 OVERALL EQUIPMENT EFFECTIVENESS

Para exemplificar, a OEE pode ser definida como um indicador que funciona de forma tridimensional, medindo o desempenho através de três critérios: Qualidade, Disponibilidade e Performance (ou desempenho). A partir desses três pilares, é possível mensurar a eficiência do processo produtivo, a disponibilidade representa o tempo hábil para produção (descontando as paradas de máquina), o desempenho demonstra o percentual de produção dentro do tempo disponível e a qualidade o

quanto o processo produziu dentro do especificado - subtraindo as não-conformidades (DA SILVA, 2009).

Figura 2: Indicador OEE



Fonte: Silva, 2009

Atingir uma OEE de 100% representa que o tempo produtivo é igual ao planejado, não havendo perdas por sucata, retrabalho, paradas não programadas e etc. Isso ocorre pelo fato da OEE se dar através do produto das razões das três métricas. Cada um dos componentes do OEE (Disponibilidade, Desempenho e Qualidade) impacta o resultado final, pois eles representam áreas críticas de eficiência na produção que, quando não otimizadas, resultam em perdas significativas de produção e qualidade. Na figura 3 está exemplificado como é calculado e o que representa cada uma das variáveis do OEE (DE SOUZA, 2017).

Figura 3: Métrica para calcular OEE



Fonte: De Souza, 2017

Para Souza (2017), para calcular a métrica OEE, é utilizada uma abordagem baseada nos "Três Mis", que representam três componentes essenciais para a avaliação do desempenho de um equipamento ou processo de produção. Esses componentes são fundamentais para compreender a eficiência global do equipamento e identificar áreas de melhoria. Abaixo será explorado cada um deles com mais detalhes, conforme exemplificado por Da Silva (2009):

- Disponibilidade (*Availability* - μ_1): A Disponibilidade mede o tempo real disponível para produção, descontando as paradas planejadas, como intervalos programados. Isso reflete a eficácia em evitar paradas não planejadas, como falhas de equipamentos ou manutenção inesperada. A fórmula para calcular a Disponibilidade é:

$$\text{Disponibilidade (\%)} = (\text{Tempo de Operação Real} / \text{Tempo de Operação Planejado}) \times 100\%$$

Essa métrica, μ_1 , nos ajuda a entender quanto tempo o equipamento está efetivamente operando e disponível para produção em relação ao tempo total planejado.

- Desempenho (*Performance* - μ_2): O componente de Desempenho avalia a eficiência da máquina quando ela está operacional, comparando o que deveria ter sido produzido no tempo real de produção com o que foi realmente produzido. Isso permite identificar perdas de velocidade ou eficiência durante a produção. A fórmula para calcular o Desempenho é:

$$\text{Desempenho (\%)} = (\text{Produção Real} / (\text{Tempo de Operação Real} / \text{Tempo de Ciclo Padrão})) \times 100\%$$

O indicador μ_2 ajuda a quantificar a eficiência do equipamento em relação às suas capacidades ideais.

- Qualidade (*Quality* - μ_3): A Qualidade mede a proporção de produtos produzidos que atendem às especificações de qualidade estabelecidas. Isso leva em consideração produtos defeituosos, sucateados ou que precisaram de retrabalho. A fórmula para calcular a Qualidade é:

$$\text{Qualidade (\%)} = (\text{Produção Boa} / \text{Produção Total}) \times 100\%$$

O indicador μ_3 nos permite avaliar a eficácia do equipamento na produção de produtos de qualidade, minimizando resíduos e retrabalho.

Com esses três componentes - Disponibilidade (μ_1), Desempenho (μ_2) e Qualidade (μ_3) - devidamente calculados, estes serão multiplicados para obter a métrica geral OEE. Essa abordagem dos "Três Mis" é valiosa para a gestão de operações e manufatura, pois fornece *insights* detalhados sobre o desempenho do equipamento e identifica áreas específicas que podem ser aprimoradas (DA SILVA, 2009).

As empresas buscam alcançar uma alta OEE por diversos motivos essenciais. A alta OEE está intrinsecamente ligada à maximização da produtividade, à redução de custos operacionais e ao cumprimento de prazos de entrega, o que, por sua vez, fortalece a satisfação do cliente e a competitividade no mercado. Além disso, a busca por uma OEE elevada fomenta uma cultura de melhoria contínua, promovendo a eficiência operacional e a inovação, ao mesmo tempo em que permite uma utilização mais eficaz dos ativos e contribui para a sustentabilidade ambiental. Em resumo, uma OEE alta é um indicador crítico de eficiência e eficácia operacional que impacta positivamente diversos aspectos-chave do desempenho empresarial (DE SOUZA, 2017).

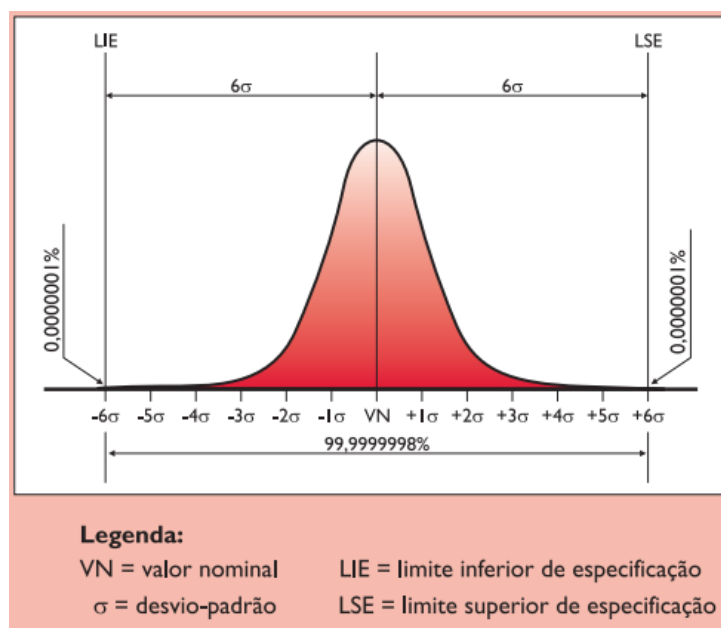
2.3 SIX SIGMA

O surgimento do *Six Sigma* se deu na década de 1980, na Motorola, a partir das propostas do engenheiro Bill Smith (que contavam com ferramentas já conhecidas de gestão da qualidade, porém aplicando-as de forma analítica). O intuito da empresa era entregar produtos de qualidade superior e com preço abaixo dos de seus concorrentes. Depois da criação do programa a Motorola foi mundialmente reconhecida por ser líder em qualidade (TAQUETTI ET AL, 2017).

Werkema (2012) aponta o *Six Sigma* como uma estratégia capaz de aumentar a performance e a lucratividade das empresas através da melhoria da qualidade. Com intuito de garantir a melhoria dos processos e produtos, o *Six Sigma* dispõe de ferramentas estatísticas que visam levar a empresa a ser a melhor em seu ramo de atuação. Pande, Neuman e Cavanagh (2000) vão além e definem que *Six Sigma* é um objetivo de quase perfeição para atendimento dos requisitos do cliente.

Para entender a metodologia *Six Sigma* é necessário compreender que todo o processo possui uma variabilidade, porém o quanto o processo varia é o que definirá o nível sigma do processo. *Six Sigma*, significa que existem 6 divisões entre a tolerância e a média das medidas amostrais (verificar figura 4), dessa forma é possível produzir apenas 3,4 defeitos a cada um milhão de oportunidades (WERKEMA, 2012).

Figura 4: Escala Sigma



Fonte: Werkema, 2012

A Distribuição Gaussiana, também conhecida como Distribuição Normal, é um modelo estatístico amplamente utilizado para descrever a distribuição de dados em um conjunto de observações. Ela é caracterizada por apresentar uma forma de sino, sendo simétrica em relação à média dos dados, o que significa que a média, a mediana e a moda coincidem no centro da curva. Além disso, a distribuição normal é governada pela "regra 68-95-99.7", que estabelece que aproximadamente 68% dos dados se encontram dentro de um desvio padrão da média, cerca de 95% estão dentro de dois desvios padrão, e aproximadamente 99.7% estão dentro de três desvios padrão. Essa distribuição é um modelo essencial para compreender a probabilidade, realizar análises estatísticas, realizar previsões e testar hipóteses. Ela é uma ferramenta valiosa para avaliar a variabilidade de dados e compreender como os eventos estão distribuídos em torno da média (CASTANHEIRA, 2018).

A escala Sigma, que possui os “seis sigmas”, é um indicador de qualidade que mede a capacidade de um processo em produzir produtos ou serviços dentro das especificações desejadas, com o mínimo de defeitos. Quanto maior o número Sigma, menor a probabilidade de defeitos, e a escala é expressa em desvios padrão. Por exemplo, uma classificação de seis sigma representa um nível excepcional de qualidade, onde menos de 3,4 defeitos por milhão de oportunidades ocorrem. Empresas buscam alcançar níveis mais elevados de qualidade e eficiência, avaliando seu desempenho na escala Sigma e trabalhando para aumentá-lo, o que resulta em maior satisfação do cliente e redução de custos (WERKEMA, 2021).

Os níveis Sigma, por sua vez, representam a classificação de qualidade do processo e são uma parte fundamental da metodologia *Six Sigma*. Os níveis Sigma variam de 1 Sigma a 6 Sigma, sendo este último o mais alto padrão de qualidade. Cada aumento de um nível Sigma representa uma melhoria substancial na qualidade do processo, resultando em menos variação e desperdício, maior satisfação do cliente e maior eficiência operacional. Portanto, o objetivo do *Six Sigma* é elevar continuamente a classificação Sigma dos processos, buscando constantemente aprimorar a qualidade e reduzir defeitos (DELLARETTI; DRUMOND, 1994).

A prática da metodologia *Six Sigma* na Motorola e na *General Eletrics* revolucionou o conceito de qualidade que existia até então. Era claro que existiam diversos controles e ferramentas da qualidade que iam de encontro com os fundamentos da metodologia, porém, ainda não se tinha uma metodologia estruturada capaz de quantificar as variabilidades e diminui-las a ponto de quase não gerarem

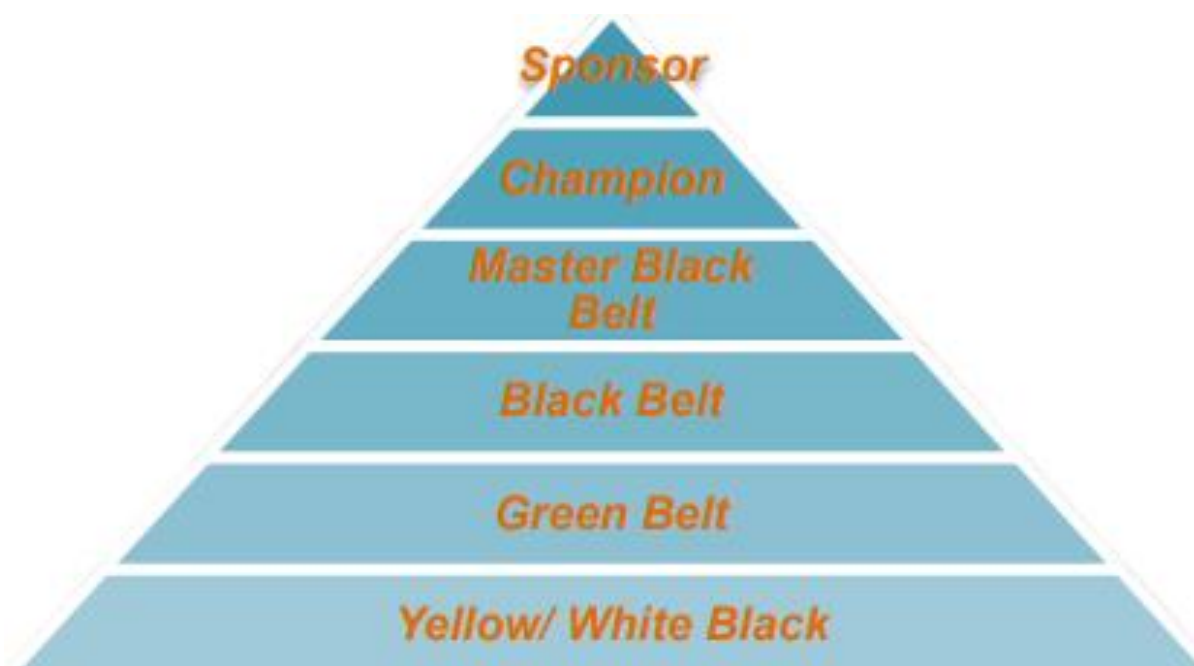
produtos/processos fora do especificado. A partir das ferramentas analíticas do *Six Sigma* é possível fazer com que uma empresa aumente consideravelmente seu lucro sem precisar alterar seus preços (PANDE; NEUMAN; CAVANAGH, 2000).

O Programa *Six Sigma* consiste na utilização de ferramentas estatísticas que buscam diminuir a variabilidade dos processos, para isso é necessária a capacitação de uma equipe multifuncional para que seja possível a implementação das melhorias. Para o sucesso do programa é fundamental a colaboração da administração da empresa (patrocinadores) e dos especialistas na metodologia ("*Belts*") (ANDRADE, 2017).

Os *Belts* são os profissionais que contribuirão ao programa com sua habilidade com a ferramenta. A nomenclatura *Belt* se dá pela classificação das faixas das artes marciais, indo da "faixa branca" até a "faixa preta". *White Belt*, por exemplo, é a fase inicial do *Six Sigma*, onde é apresentada a metodologia e cada etapa de um projeto de melhoria. Um profissional *Black Belt* é um especialista em *Six Sigma*, possui uma visão sistêmica do funcionamento de sua empresa e está sempre atento a oportunidades de melhoria (WERKEMA, 2021).

Além das atribuições *White e Black Belts*, vistas acima, existem os *Yellow e Green Belts* que são os profissionais responsáveis pela execução do projeto. A grande diferença entre um *Green Belt* para um *Yellow Belt* é que o profissional *Green Belt* é capaz de liderar projetos de melhoria, pois possui conhecimento elevado sobre as ferramentas estatísticas necessárias para elaboração de um plano de melhoria. Vale destacar que o profissional *Yellow Belt* é de suma importância para o sucesso do programa, pois é a partir do conhecimento da metodologia ao decorrer do processo que será possível perpetuar a melhorias ao longo dos anos (SANDER, 2021).

Além das classificações *Belts* para os especialistas, existem os *Sponsors* e os *Champions*, que são os responsáveis pela promoção do programa na empresa. O *Sponsor* do *Lean Six Sigma* é o executivo que responde em nome da empresa, enquanto o *Sponsor* Facilitador é um executivo abaixo no organograma, que irá auxiliar o executivo principal na implementação do programa. O *Champion* é um gestor responsável por fazer a comunicação entre os *Sponsors* e os *Belts*, apoiando novos projetos e agilizando os recursos necessários junto à alta administração (WERKEMA, 2012).

Figura 5: Hierarquia Seis Sigma

Fonte: Andrade, 2017

Na hierarquia do *Six Sigma*, os "*Belts*" representam uma progressão de habilidades e responsabilidades. Os *White Belts* são iniciantes que desempenham tarefas de suporte e coleta de dados simples. Os *Yellow Belts* têm um entendimento mais profundo e contribuem ativamente em projetos. Os *Green Belts* lideram melhorias específicas em projetos menores. Os *Black Belts* gerenciam projetos complexos com análises estatísticas avançadas e lideram equipes. Os *Master Black Belts* são especialistas experientes que orientam e treinam outros "*Belts*," assegurando a eficácia da metodologia em toda a organização. Essa hierarquia promove melhorias nos processos e na qualidade (ANDRADE, 2017).

Além desses níveis de "*Belts*", o *Sponsor* e o *Champion* também desempenham papéis vitais. O *Sponsor*, geralmente um executivo de alto escalão, é responsável por garantir que os projetos estejam alinhados com os objetivos estratégicos da organização. Eles alocam recursos, removem obstáculos e fornecem suporte estratégico para garantir que os esforços de melhoria de processos estejam integrados à visão de longo prazo da empresa. Por outro lado, o *Champion* lidera a execução prática dos projetos e atua como um defensor interno, promovendo a metodologia *Six Sigma*. Eles lideram a equipe de projeto, garantindo que metas e

resultados sejam alcançados, contribuindo para o sucesso global da empresa (SANDER, 2021).

Para Werkema (2021), essa estrutura hierárquica, com os diferentes níveis de "Belts" trabalhando em conjunto com o *Sponsor* e o *Champion*, assegura que os projetos *Six Sigma* sejam conduzidos de maneira eficaz, com objetivos estratégicos claros e uma execução eficiente para alcançar melhorias substanciais nos processos e na qualidade em toda a organização.

2.4.1 Metodologia DMAIC

O DMAIC é a metodologia estruturada que foi desenvolvida para solucionar problemas, identificando e eliminando sua causa raiz. A melhoria não depende apenas de seguir o roteiro, a equipe precisa se comprometer a solucionar o problema da empresa, apenas desta forma será possível ter sucesso com o programa *Six Sigma* (SANDER, 2021)

O método consiste em cinco etapas *Define, Measure, Analyse, Improve e Control* (a partir das iniciais das etapas surge o nome "DMAIC"). Cada etapa possui ferramentas, passos e métodos que, aplicados corretamente, são ferramentas poderosas para eliminação de custos de não qualidade – consequentemente, aumentando a lucratividade da empresa (MALTA ET AL, 2023).

Na primeira etapa da metodologia DMAIC é validada a importância do projeto, montada a equipe multifuncional e identificados os pontos que carecem de melhoria. Na segunda, a partir de dados confiáveis, identificados quais das melhorias são prioritárias e estabelecidas metas para cada uma delas. A terceira fase consiste em, a partir dos dados apontados pelo *Measure*, analisar o processo gerador dos problemas, afim de identificar as causas dos problemas e a importância de cada uma delas. No *Improve* serão implementadas melhorias de baixa escala para testar sua eficácia nas causas prioritárias, ao passo que essas melhorias se mostram eficazes, é desenvolvido um plano de melhoria em larga escala que será implementado na última etapa, *Control*, onde além de implementar a melhoria, será feito um acompanhamento e, assim que sinalizado que a melhoria agiu de forma efetiva, será padronizada e o conhecimento passado à frente para que os problemas iniciais não voltem a acontecer (SANDER, 2021). Sendo assim, conforme Malta et al (2023) essas etapas podem ser resumidas da seguinte maneira:

- *Define*: Etapa onde serão definidos o problema e a meta a ser alcançada. Define-se o líder responsável pela melhoria contínua e as equipes (caso necessário, as equipes devem ser treinadas). Coletam-se os dados que servirão de base para o projeto.
- *Measure*: Analisar os dados existentes e identificar como será estratificado o problema. Coletar dados do processo e estudar a variabilidade estabelecendo uma meta para cada problema encontrado.
- *Analyse*: Identificar o principal problema e estudar o processo gerador do mesmo. Analisar os dados referentes ao problema prioritário e identificar as causas potenciais do mesmo, quantificando a relevância de cada uma delas.
- *Improve*: Apresentar propostas para eliminação das causas do problema principal. Testar as propostas escolhidas em um piloto e estudar os resultados (caso o resultado seja negativo, iniciar a etapa novamente).
- *Control*: A partir do sucesso na etapa anterior, efetuar uma análise para aplicar a solução em larga escala. Padronizar e gerar uma cultura que promova a melhoria contínua do processo.

O ciclo DMAIC é a ferramenta poderosa que possibilita as empresas alcançarem a excelência, porém não se deve perder a motivação quando não alcançado 99,99997% de perfeição. Imagine que você consiga levar sua empresa para 99,37% de rendimento (Sigma Quatro), isso sem dúvida é uma grande conquista. A utilização da metodologia não é o que qualifica uma empresa como “Seis Sigma”, a verdadeira organização *Six Sigma* é aquela que se compromete a melhorar todos os seus processos para construir um sistema empresarial de qualidade (PANDE; NEUMAN; CAVANAGH, 2000).

2.5 SISTEMA TOYOTA DE PRODUÇÃO

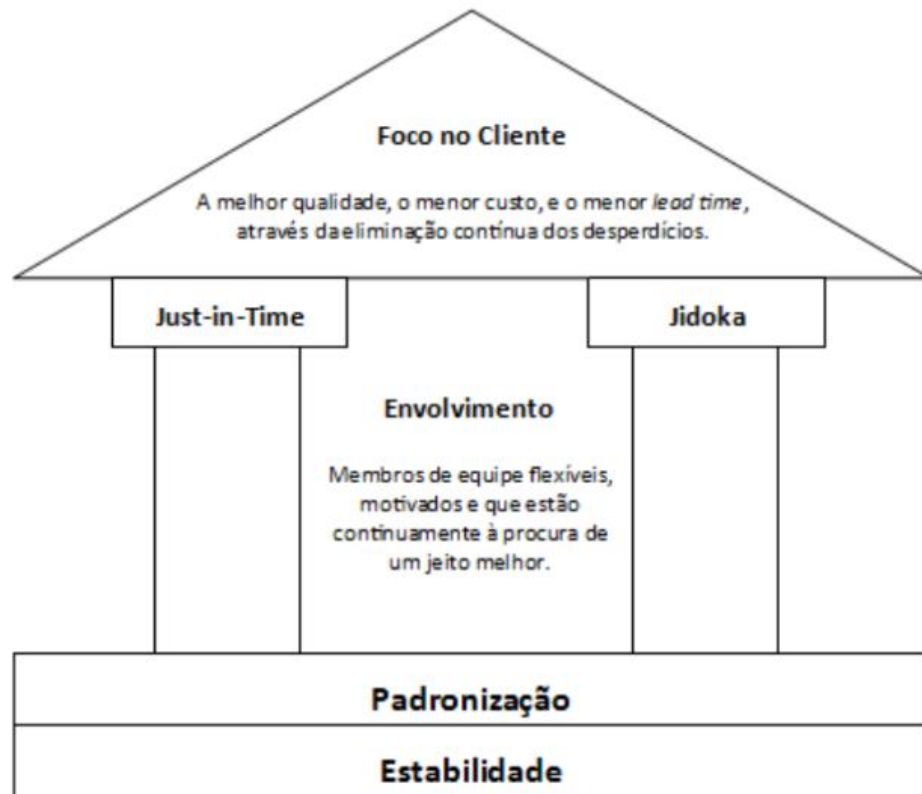
Após ser derrotado na segunda guerra mundial, o Japão se encontrava em meio a uma crise, entre os empresários havia uma grande preocupação com o futuro da indústria japonesa e como poderiam aumentar sua lucratividade para se manterem no mercado. Na Toyota determinou-se que, caso não encontrassem uma forma de

alcançar os Estados Unidos em três anos, a indústria automobilística japonesa viria a quebrar. O fato era que, necessitava-se de nove operadores japoneses para produzir a mesma quantidade que apenas um operador americano (OHNO, 1996).

Para compreender o Sistema Toyota de Produção e os motivos pelos quais ele ainda é utilizado hoje, precisa ser analisada a produção e distinguido o processo das operações. O Processo irá transformar a matéria-prima no produto final, enquanto as operações são as etapas responsáveis por essas transformações. Deste modo, podemos entender que um processo é composto por operações, ambos trabalham juntos para transformar um conjunto de entradas em uma saída (SHINGO, 1996).

Enquanto nos Estados Unidos a preocupação era produzir cada vez mais produtos para atender as demandas quando chegassem, no Japão a situação era outra: Os recursos estavam diminuindo e o lucro também. Foi então que os japoneses da Toyota começaram a se questionar como aumentar a lucratividade da empresa sem aumentar as vendas e a produção (Ohno,1996). Assim iniciou-se a busca e eliminação dos desperdícios da empresa, além disso, desenvolveu-se uma cultura empresarial onde cada operador é responsável por seu processo, tornando a empresa uma unidade, com um foco: melhorar continuamente o processo (LIKER, 2007).

O STP foi o precursor do que hoje é conhecido como *Lean Manufacturing*, termo que se popularizou após ser utilizado no livro “A Máquina que Mudou o Mundo” para descrever o modelo Toyota de produção e que apesar de estar se atualizando a todo momento, ainda mantém como base os mesmos princípios (ilustrado abaixo na Figura 6). O que deve ser entendido é que nenhuma ferramenta do STP trabalha sozinha, todas estão interconectadas, de forma que apenas com a colaboração de todos, utilizando destas ferramentas, será possível alcançar a excelência operacional (DENNIS, 2008).

Figura 6: Casa da Toyota

Fonte: Dennis, 2008

O *Lean* suas abordagens vêm se atualizando e adaptando aos principais meios produtivos e empresariais ao redor do globo. Para Costa et al. (2021) o sistema de produção enxuta é considerado uma das melhores práticas de gestão da produção. Isso se dá a quebra de paradigmas ocasionada pelo STP, quando Ohno decidiu estudar uma nova forma de gerar lucro para a empresa sem aumento das vendas, apenas eliminando os desperdícios.

Segundo Womack, Jones e Roos (2007), a produção enxuta é superior ao sistema de produção em massa por demandar menor espaço físico, recursos e esforço humano, o foco é utilizar da capacidade intelectual de cada um envolvido no processo. Segundo Shingo (1996) existem dois tipos de superprodução: Quantitativa (produzir mais do que a demanda) e antecipada (produzir antes demanda) – ambas caracterizam desperdício. Uma solução para isso foi desenvolvida pelo engenheiro Taiichi Ohno na Toyota na metade do século XX com a criação do *Just In Time* (JIT),

que consistia em inverter o processo produtivo, fazendo com que o último processo determinasse a quantidade necessária de peças que deveriam ser produzidas.

Esse tipo de cadeia produtiva revolucionou as indústrias da época, principalmente a indústria automobilística. Enquanto no ocidente o modelo de Ford, que consistia em produzir altas quantidades de um mesmo modelo, era aplicado demasiadamente, no oriente as grandes indústrias estavam se adaptando ao STP, que possibilitava um leque maior de opções aos clientes, redução de desperdícios e aumento significativo nos lucros da empresa. A adaptação ocidental não demorou muito, após perceberem a rentabilidade do sistema – que foi fundamental para a moldar a Manufatura Enxuta presente nos meios produtivos atuais (LIKER, 2007).

O sucesso do Sistema Toyota de Produção foi amplamente influenciado pelas pessoas e pela cultura organizacional japonesa que desempenharam um papel fundamental na sua formação. Durante o isolamento do Japão entre os séculos XVII e XIX, uma cultura baseada na colaboração, no respeito à hierarquia e na busca constante por melhorias começou a se desenvolver. Esses valores enraizados na sociedade japonesa foram incorporados às práticas de trabalho do STP, tornando-se uma parte intrínseca de sua filosofia (ROTHER, 2010).

Outros conceitos, como a priorização da qualidade sobre a quantidade, a minimização do desperdício e a adoção da frugalidade, também se originaram da cultura japonesa e desempenharam um papel vital no STP. Termos como "*muda*" (desperdício) e "*mottainai*" (uso apropriado de recursos) destacam a ênfase na eliminação de esforços e recursos desnecessários, otimizando assim o processo produtivo. No entanto, é importante reconhecer que a aplicação bem-sucedida do STP fora do Japão exige uma compreensão profunda das diferenças culturais e a adaptação adequada, uma vez que as particularidades de cada sociedade podem influenciar significativamente o modo como o STP é implementado e eficaz em contextos globais (PEREIRA; SAMBUICHI; OLIVEIRA, 2023).

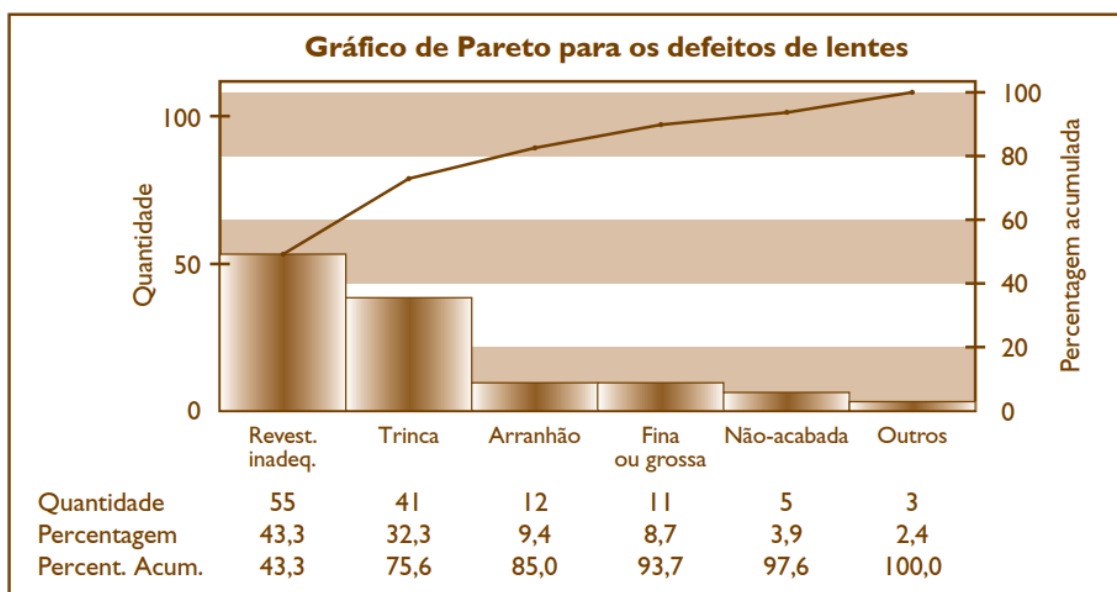
2.6 DIAGRAMA DE PARETO

O digrama de Pareto origina-se do século XVI, devido ao resultado dos estudos do sociólogo e economista italiano Vilfredo Pareto (1843 – 1923), que mostrou que 80% da riqueza mundial estaria concentrada no poder de 20% da população (CORRÊA; CORRÊA, 2013). Paranhos (2012) explica que a partir da análise de

Pareto, notou-se que diversas relações sofriam da mesma associação “80/20” (80% do custo de estoque estaria agregado a 20% dos itens, por exemplo). Dessa forma, a análise de Pareto provê que em média 80% dos problemas sejam gerados por 20% das causas, sendo assim, a forma mais eficiente de atacar os problemas seja agindo em cima desses 20%.

A adaptação do método de Pareto para analisar a distribuição de renda foi uma inovação introduzida por J. M. Juran (1904 – 2008). Ele se inspirou nos estudos de economistas e aplicou essa abordagem original à área da qualidade. Essa transposição de conceitos permitiu que a metodologia de Pareto, tradicionalmente usada para identificar e priorizar problemas em diversos campos, fosse aplicada de maneira eficaz na resolução de desafios relacionados à qualidade e à otimização de processos (WERKEMA, 2014).

Gráfico 1: Exemplo de Gráfico de Pareto



Fonte: Werkema, 2012

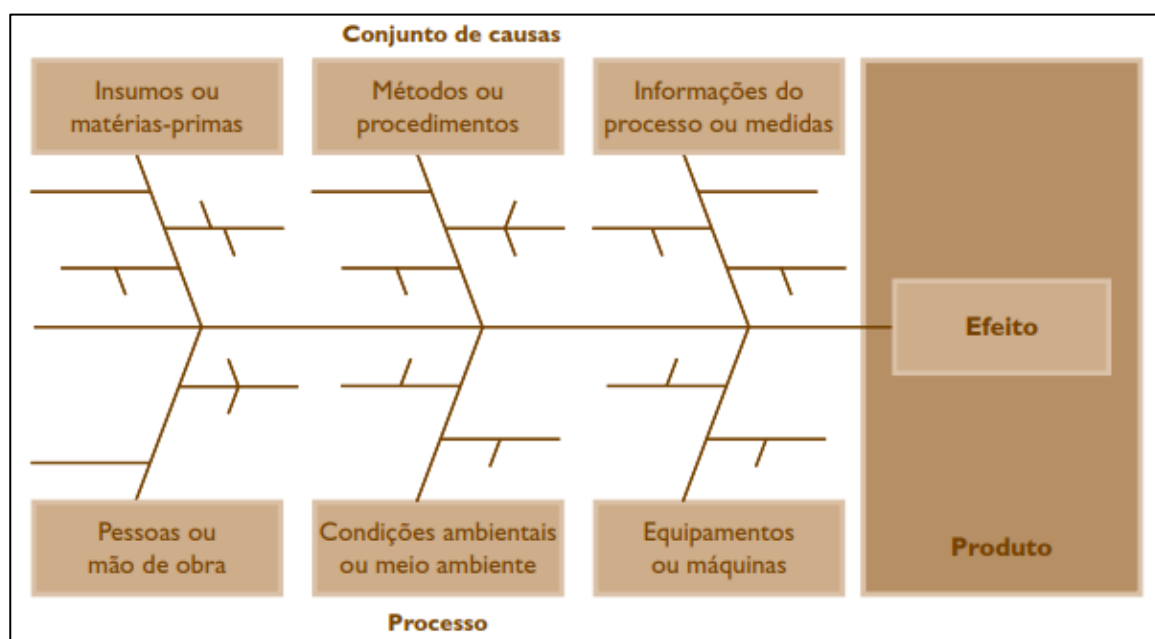
Conforme ressaltado por Paranhos (2012), a representação visual dos principais problemas por meio do gráfico de Pareto (conforme exemplificado no gráfico 1) desempenha um papel fundamental na gestão eficaz. Esse gráfico estimula os gestores a questionar profundamente os processos e a identificar as causas subjacentes das falhas. Ele fornece uma visão clara das áreas em que os esforços

podem ser mais bem direcionados para alcançar os maiores ganhos em termos de qualidade e eficiência. Werkema (2014) complementa essa perspectiva, destacando que a abordagem de Pareto não apenas identifica problemas, mas também orienta a concentração dos recursos e esforços onde eles podem ter o maior impacto, contribuindo significativamente para a melhoria contínua em organizações e setores diversos.

2.7 DIAGRAMA ISHIKAWA

Também chamado de Diagrama de Causa e Efeito, Espinha de Peixe ou 6M, o Diagrama de Ishikawa (nome dado devido a seu criador, Kaoru Ishikawa) é uma ferramenta utilizada para definição da causa raiz de algum problema ou defeito (Campos et al, 2019). A construção do diagrama consiste em: Definir o efeito a ser analisado, relacionar causas a partir dos 6Ms (Mão de obra, Máquina, Matéria-prima, Método, Medição e Meio-ambiente), identificar as causas que apresentam exercício significativo no efeito e registrar as informações (SILVA; TROMBINE; CORREA, 2019).

Figura 7: Exemplo de Diagrama de Causa e Efeito



Fonte: Werkema, 2013

O primeiro "M" refere-se à Mão de obra, envolvendo fatores relacionados às pessoas, como treinamento inadequado e falta de habilidades. O segundo "M" é a Máquina, englobando equipamentos e tecnologia. O terceiro "M" aborda o Método, incluindo procedimentos e processos. O quarto "M" refere-se ao Material, relacionado a insumos e matérias-primas. O quinto "M" é o Meio ambiente, considerando as condições físicas do processo. O sexto "M" é Medição, envolvendo a coleta de dados e medições realizadas durante o processo. Essas categorias auxiliam na análise de problemas e melhorias em diversas áreas e estão descritas abaixo conforme Dias (2019):

- Mão de Obra (*Manpower*): Este "M" envolve as pessoas envolvidas no processo. Pode incluir questões como a qualificação, treinamento, número de funcionários e disponibilidade de mão de obra. Problemas de mão de obra podem se manifestar na forma de erros, falta de treinamento ou falta de recursos humanos.
- Máquina (*Machine*): Refere-se aos equipamentos e máquinas usados no processo. Isso inclui sua condição, manutenção, disponibilidade e eficácia. Problemas relacionados a máquinas podem resultar em falhas, paradas de produção e baixa eficiência.
- Método (*Method*): O "Método" se concentra nos procedimentos e métodos usados para realizar uma tarefa ou processo. Problemas nessa categoria podem incluir procedimentos obsoletos, falta de padronização, ou métodos ineficientes que levam a erros e desperdício.
- Material: Aqui, o "Material" aborda os insumos, matérias-primas e componentes usados no processo. Problemas relacionados a materiais podem envolver qualidade inadequada, disponibilidade, controle de estoque e armazenamento inadequado.
- Medição (*Measurement*): Refere-se aos sistemas de medição e métodos usados para monitorar e avaliar o desempenho do processo. Problemas de medição podem incluir a falta de métodos adequados de controle de qualidade, medições imprecisas ou inadequadas.
- Meio-Ambiente (*Mother Nature*): Este "M" se concentra em fatores ambientais e externos que podem afetar o processo. Isso inclui condições climáticas, influências sazonais, variações ambientais, entre outros.

Problemas ambientais podem afetar a estabilidade e a consistência do processo.

Para Vilhena et al (2011), esse método de análise proposto por Ishikawa permite não só estruturar hierarquicamente as causas de determinado do como viabiliza o processo de resolução para qualquer tipo de problema. Dias (2019) aponta que durante o processo de construção do diagrama é necessário se perguntar o quanto cada tópico analisado influência no resultado final, de forma que seja possível agir na causa que impactará positivamente nosso processo. Para Paranhos (2012) o diagrama de Causa e Efeito serve para identificar a verdadeira causa do problema, a partir de um roteiro simples e prático.

2.8 5W2H

A ferramenta 5W2H foi desenvolvida para auxiliar na elaboração de planos de ação, definindo desde o que será feito até o quanto será gasto para aplicar a ação planejada (GROSBELLI, 2014). Para Alves (2021), a ferramenta atua no formato de um checklist de atividades, de tal forma que irá resumir as atividades diárias e auxiliar no planejamento e distribuição das tarefas e definir a delimitação do plano de ação. Araújo (2018) aponta que o 5W2H auxilia na tomada de decisões para aplicação de melhorias no processo. Os passos do método 5W2H está exemplificado no Quadro 1.

Quadro 1: Explicação 5W2H

	Termo Original	Traduzido	Ação
5W	What	O quê	O que vai ser realizado?
	When	Quando	Quando essa ação será realizada?
	Why	Por quê	Por quê isso será realizado?
	Where	Onde	Onde essa ação será desenvolvida?
	Who	Quem	Quem é o responsável por isso?
2H	How	Como	Como essa ação será feita?
	How Much	Quanto	Quanto custará para se fazer essa atividade?

Fonte: Adaptado de Alves (2021)

A utilização do 5W2H garante que todas as dimensões críticas de uma ação ou projeto sejam cuidadosamente abordadas, fornecendo clareza, responsabilidade e orientação. Esta ferramenta é valiosa para a gestão de projetos, a elaboração de planos de ação e a comunicação eficaz dentro de uma equipe ou organização. A ferramenta 5W2H é uma abordagem amplamente utilizada na gestão de projetos e na resolução de problemas para garantir que um plano ou ação seja cuidadosamente elaborado e bem compreendido por todas as partes envolvidas. Ela envolve a resposta a sete perguntas-chave, que começam com as letras "W" e "H", formando o acrônimo 5W2H. A seguir, uma explicação mais detalhada de cada uma dessas perguntas segundo Alves (2021):

- O quê (*What*): Esta pergunta se concentra na definição clara da ação ou tarefa a ser realizada. É importante especificar o que precisa ser feito de maneira concisa e sem ambiguidade. O "o quê" estabelece o escopo da ação ou do projeto.
- Por quê (*Why*): Aqui, você deve justificar a razão pela qual a ação está sendo realizada. Qual é o objetivo ou a finalidade por trás dessa tarefa? Entender o "porquê" ajuda a alinhar a ação com os objetivos maiores da organização ou do projeto.
- Como (*How*): Esta pergunta aborda os métodos e estratégias a serem utilizados para executar a ação. Você deve detalhar o processo ou os passos que serão seguidos. Esclarecer o "como" ajuda a garantir que a ação seja executada de forma consistente.
- Quando (*When*): O "quando" se refere ao cronograma ou à programação da ação. É importante definir prazos e datas específicas para a conclusão de cada etapa ou da tarefa como um todo. Isso ajuda a evitar atrasos e a manter o projeto ou a ação no caminho certo.
- Quem (*Who*): Esta pergunta diz respeito às pessoas ou às equipes responsáveis por executar a ação. É crucial identificar claramente os responsáveis e atribuir tarefas a indivíduos ou grupos. Isso promove a responsabilidade e a prestação de contas.
- Onde (*Where*): Embora o "onde" não seja uma letra inicial do acrônimo 5W2H, ele é ocasionalmente adicionado como uma dimensão adicional. O

"onde" se concentra na localização física onde a ação será realizada, quando isso for relevante para o projeto ou tarefa.

- Quanto (*How much*): Similar ao "onde", o "quanto" não é uma letra inicial padrão no acrônimo 5W2H, mas pode ser incluído como uma dimensão adicional. O "quanto" envolve a consideração do custo estimado associado à realização da ação. Isso é relevante quando é necessário gerenciar recursos financeiros de forma eficaz.

3 PROCEDIMENTOS METODOLÓGICOS

Este capítulo apresenta a abordagem metodológica que direciona a coleta de dados e a análise realizada neste trabalho de conclusão de curso. Nele, serão delineadas as estratégias adotadas para caracterizar a pesquisa, delimitar seu escopo e estabelecer os parâmetros que guiarão a coleta e análise das informações. Além disso, serão detalhadas as técnicas e os instrumentos escolhidos para a coleta de dados, com ênfase na definição operacional das variáveis, peça-chave para a condução de uma investigação robusta.

3.1 MÉTODO DE PESQUISA

As concepções atuais relacionadas à metodologia científica revelam uma variedade de perspectivas em constante evolução. A trajetória da ciência ao longo dos últimos anos passou por uma evolução notável, moldando o atual paradigma científico por meio das contribuições pregressas que enfrentaram uma diversidade de desafios. No entanto, esse processo de transformação ganhou destaque particular a partir do século XIX, com um destaque significativo nas ciências humanas e no aumento substancial da pesquisa científica. Como resultado, as bases que delineiam os limites entre o domínio científico e o senso comum têm sido constantemente redefinidas (MARTINS; LAUGENI, 2015).

Lakatos (2021) amplia essa perspectiva ao ressaltar que o cenário científico tem sido influenciado pelas ciências humanas e pela crescente produção de pesquisas, desencadeando uma reconfiguração das bases que sustentam a compreensão da ciência em relação ao senso comum. Conforme sua percepção, essa transformação contínua tem implicações profundas na definição da própria natureza da pesquisa científica, estabelecendo um diálogo intrínseco entre as disciplinas e redefinindo as fronteiras do conhecimento científico.

A pesquisa é uma atividade que se dedica à investigação de problemas teóricos ou práticos por meio da aplicação de métodos científicos. Seu propósito vai além de descobrir a verdade; trata-se de encontrar respostas para questões formuladas, permitindo a identificação de novos dados, relações e leis em diversas áreas do conhecimento. Quanto à finalidade da pesquisa, existem duas principais categorias: pesquisa básica e pesquisa aplicada. A pesquisa básica busca preencher lacunas no

conhecimento, enquanto a pesquisa aplicada busca resolver problemas práticos na sociedade (FELIX.,2018).

Em relação aos objetivos gerais, as pesquisas podem ser classificadas como exploratórias, descritivas e explicativas. As pesquisas exploratórias buscam familiaridade com um problema, visando torná-lo mais compreensível e a desenvolver hipóteses. Pesquisas descritivas visam a caracterização de populações ou fenômenos, identificando relações entre variáveis. Por sua vez, as pesquisas explicativas procuram identificar os fatores que influenciam a ocorrência de fenômenos (GIL, 2022). Neste estudo, o propósito geral é de natureza exploratória.

A pesquisa adotada neste estudo é baseada no método de estudo de caso, que se concentra de maneira intensiva em um caso específico ou em um pequeno conjunto de casos. Esse método é fundamentado na análise de dados para obter *insights* que possam esclarecer questões mais amplas relacionadas a uma população maior de casos (GERRING, 2019). A abordagem de estudo de caso é altamente focada e exige um investimento significativo de tempo por parte dos pesquisadores para analisar e apresentar detalhadamente o caso escolhido. Esse caso é considerado crucial para fornecer evidências relevantes em suporte ao argumento em questão.

A pesquisa é motivada pela necessidade de melhorar tanto uma situação específica quanto o ambiente circundante. Essa necessidade pode ser identificada por meio de análise de dados ou através de diálogos com diversas partes interessadas, como profissionais da área, gestores e colegas de trabalho. Essas interações auxiliam na coleta de informações relevantes para a realização do estudo planejado, buscando abarcar o máximo de detalhes possível (OLIVEIRA; FIGUEIREDO, 2018).

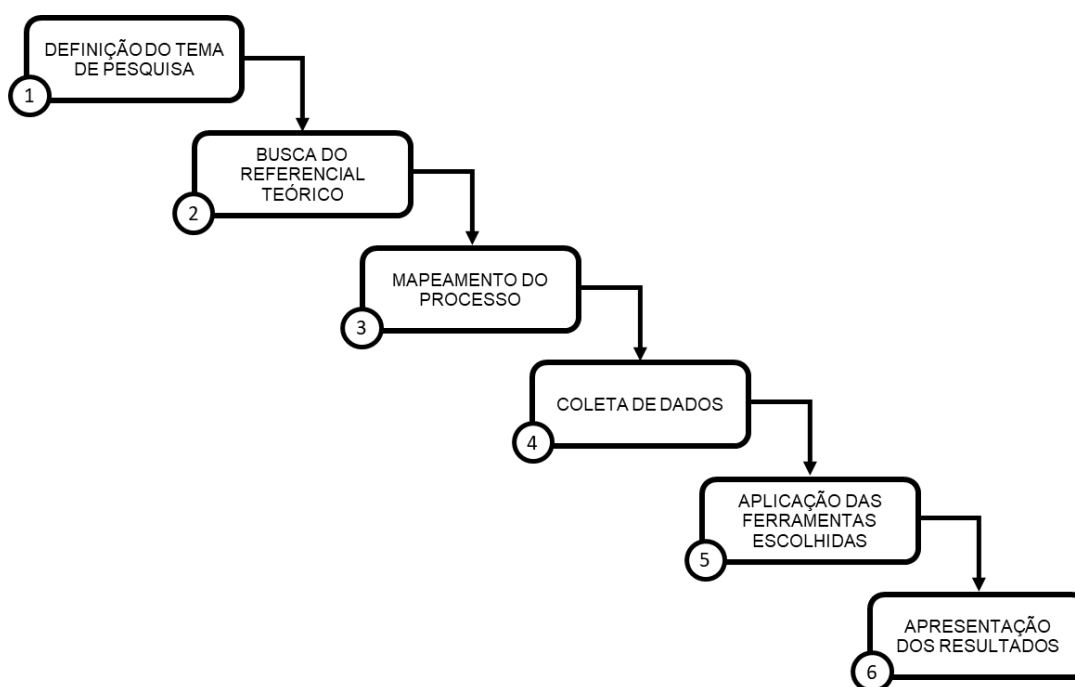
Lakatos (2021) descreve três campos de pesquisa: quantitativo-descritivos, exploratórios e experimentais. Os quantitativo-descritivos visam a analisar características, avaliar programas e isolar variáveis principais, empregando métodos formais com ênfase em dados quantitativos. Esta categoria se subdivide em estudos de verificação de hipóteses, avaliação de programas, descrição de populações e relações de variáveis. Já os exploratórios têm o propósito de formular questões, ampliar a compreensão do pesquisador sobre um fenômeno ou ambiente e podem incluir descrições completas ou focar em procedimentos específicos de coleta de dados. Por fim, os experimentais concentram-se no teste de hipóteses causa-efeito, empregando projetos rigorosos com grupos de controle, seleção probabilística de

amostra e manipulação de variáveis independentes. Com base nessas classificações, o presente estudo se enquadra no grupo quantitativo, que consiste na pesquisa empírica, com objetivo de analisar fenômenos ou isolar variáveis.

Esta pesquisa caracteriza-se como um estudo de caso, pois foi conduzida em uma indústria metalúrgica do Sul do Brasil, foca na implementação de uma metodologia estruturada para aprimorar um processo produtivo específico. Com uma abordagem qualitativa, busca-se aprimorar a qualidade dos processos, identificando estratégias eficazes. Simultaneamente, utiliza-se uma abordagem quantitativa, envolvendo a coleta e análise de dados numéricos para avaliar o impacto dessas estratégias na eficiência da máquina. Como um estudo de caso empírico, este projeto visa compreender como a combinação de abordagens quantitativas e qualitativas pode contribuir para melhorias sustentáveis em processos industriais específicos.

3.2 MÉTODO DE TRABALHO

O presente trabalho tem por fito a aplicação de um método estruturado de melhoria de processo com base estatística em uma empresa de grande porte para melhoria do OEE de uma máquina. Para tal, se faz necessário o embasamento do cenário atual, para que após a análise, se consiga eleger propostas de melhoria. Com intuito de exemplificar o método de trabalho deste estudo, foi elaborado o fluxo explanado na figura 8.

Figura 8: Delineamento do Trabalho

Fonte: Elaborado pelo autor, 2023

A primeira etapa é a de definição do tema de pesquisa desempenha um papel de destaque, pois não apenas direciona o propósito do trabalho, mas também atua como uma bússola orientadora na elaboração das questões que serão exploradas. As motivações subjacentes à pesquisa são multifacetadas, abrangendo âmbitos intelectuais e práticos. Nesse contexto, há uma interseção entre o desejo de aprofundar o conhecimento e a busca por soluções práticas que otimizem processos. Essas duas dimensões interconectadas desempenham um papel decisivo na seleção do tema de estudo, constituindo os pilares que fundamentam os objetivos desta pesquisa.

Na segunda etapa o pesquisador enriqueceu seu repertório de conhecimentos ao se aprofundar em um embasamento teórico robusto, extraído de fontes especializadas, que abarcaram desde livros até artigos científicos. Essa abordagem se deu particularmente em relação a áreas da qualidade e manufatura. Nesse processo, a revisão bibliográfica desempenhou um papel central durante a segunda fase desta pesquisa, desempenhando um papel fundamental na construção de uma base sólida de conhecimento. Através dessa exploração meticulosa, o pesquisador foi

capaz de contextualizar seu estudo e dotá-lo de fundamentos sólidos para as análises subsequentes.

Na terceira etapa, o pesquisador deu início ao processo de mapeamento observando detalhadamente as operações no local de produção, Gemba, e coletou dados específicos do posto de trabalho. A coleta dos dados (quarta etapa) se deu a partir dos lançamentos diários das paradas, apontamentos de produção e sucata. Além disso, conduziu sessões de *brainstorming* para identificar ideias de melhoria. Para uma análise mais aprofundada, revisou minuciosamente os tempos de processamento das peças, garantindo a confiabilidade dos indicadores. Realizou também reuniões diárias na máquina de corte a laser para acompanhar o progresso dos indicadores, com o objetivo de aprimorar constantemente a eficiência global da operação.

Na quinta etapa, o pesquisador utilizou metodologias do *Lean Six Sigma*, isso incluiu a aplicação do Diagrama de Ishikawa para identificar causas raiz dos principais problemas relatados pela produção, a análise da tendência das paradas, a medição dos tempos de processo e a identificação das principais paradas não planejadas. Além disso, o pesquisador analisou as perdas relacionadas à qualidade do produto. Essas ações foram parte de uma abordagem abrangente e estruturada afim de contribuir com a melhoria do OEE da máquina.

Por fim, após a conclusão do estudo e a obtenção dos dados, o autor conduziu uma análise crítica do cenário. Com base nessa avaliação, uma proposta de melhoria foi cuidadosamente delineada. Na fase final, o autor elaborou uma conclusão que comparou os dados coletados nas etapas anteriores com a situação atual do processo. Nessa conclusão, enfatizaram-se os benefícios da aplicação deste estudo, com o objetivo de aprimorar o OEE da máquina de corte a laser.

4 APRESENTAÇÃO DA EMPRESA PESQUISADA

A empresa onde estudo foi desenvolvida, trata-se de uma organização com uma longa história de sucesso no setor de metalurgia e engenharia. Ela se destaca pela sua capacidade de fornecer soluções inovadoras e de alta qualidade para uma ampla gama de setores industriais. A empresa possui uma equipe altamente qualificada de profissionais que trabalham para atender às necessidades de seus clientes e parceiros de negócios. Uma das principais características desta empresa é seu compromisso com a inovação e o desenvolvimento tecnológico. Ela investe constantemente em pesquisa e desenvolvimento, visando melhorar seus produtos e serviços e manter-se na vanguarda da indústria.

A organização atua de forma abrangente em diversos mercados industriais, destacando-se em setores-chave, como o automotivo, onde fornece soluções cruciais para a fabricação de veículos e componentes automobilísticos. Além disso, a empresa desempenha um papel significativo no mercado rodoviário, contribuindo com produtos para veículos de viação. A atuação no setor agrícola é também notável, fornecendo tecnologias e peças essenciais para o segmento. A empresa se destaca ainda no setor da construção, fornecendo componentes e equipamentos fundamentais para máquinas de construção pesada. Não se pode deixar de mencionar sua unidade de fabricação de tanques, dedicada exclusivamente à produção de tanques de combustível para caminhões.

A companhia exibe um notável índice de crescimento ao longo de sua história, expandindo sua presença e influência em vários setores industriais. Esse crescimento sustentado reflete não apenas sua capacidade de inovação e qualidade, mas também sua capacidade de se adaptar às mudanças no mercado e às necessidades dos clientes. Quanto à sua estrutura, a empresa opera como uma sociedade limitada, o que reflete sua abordagem sólida e consolidada na gestão de seus negócios e relacionamentos com clientes e parceiros. Essa empresa destaca-se por sua história de sucesso, compromisso com a inovação e responsabilidade social, bem como sua capacidade de atender a uma ampla variedade de setores industriais com excelência.

A empresa também demonstra um comprometimento notável com a sustentabilidade e responsabilidade social em suas operações. Suas práticas de fabricação são rigorosamente monitoradas para minimizar o impacto ambiental, adotando abordagens ecoeficientes em seus processos. Além disso, a empresa tem

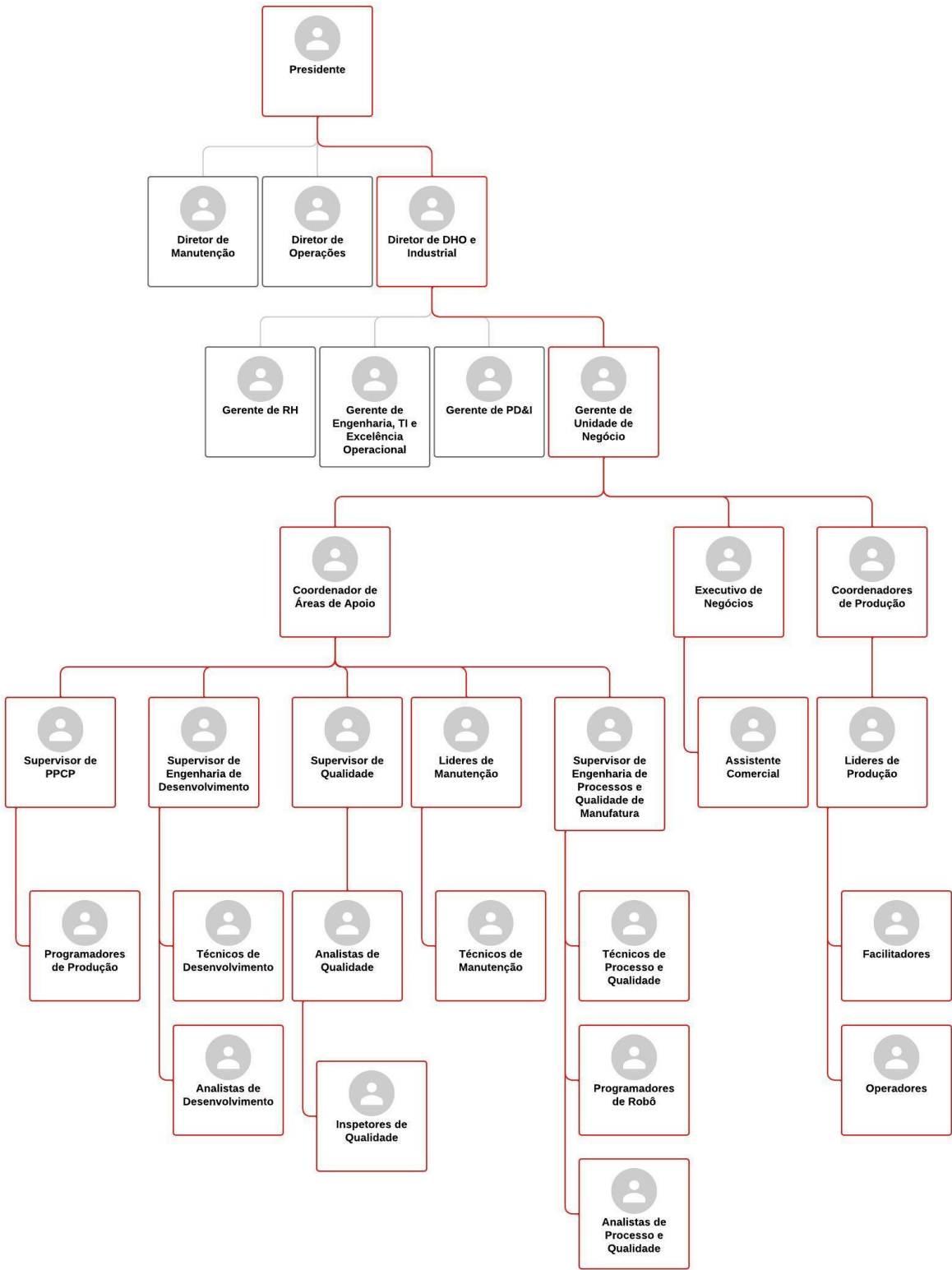
um histórico de apoio a iniciativas comunitárias, demonstrando seu compromisso com o desenvolvimento da região e com a responsabilidade corporativa. O uso de tecnologia de corte a laser de última geração não apenas atende às necessidades de precisão e qualidade, mas também reflete o compromisso da empresa com práticas de produção sustentáveis. Esse equilíbrio entre inovação, qualidade e responsabilidade social a coloca em uma posição de destaque no cenário industrial, consolidando sua reputação como líder no setor.

A corporação detém de um departamento de processamento de materiais que utiliza tecnologia de corte a laser de última geração. O corte a laser é uma técnica altamente precisa e eficiente que é amplamente empregada na indústria para cortar diversos tipos de materiais, como metal, plástico e madeira, com extrema precisão. A empresa investiu em equipamentos de corte a laser de alta potência e precisão para atender às necessidades de seus clientes, um destes equipamentos é uma máquina de corte de laser de 12000W, sobre a qual será discutida ao longo desta seção.

4.1 ESTRUTURA ORGANIZACIONAL

Na empresa em questão, é observada uma estrutura organizacional que segue uma hierarquia clara, com distintos níveis de autoridade e responsabilidade. Para fornecer clareza sobre essa estrutura, foi criado um detalhado organograma destacando hierarquia e relações funcionais. Este gráfico simplifica a compreensão das funções e a comunicação essencial para os objetivos corporativos. Importante salientar que o organograma teve origem na presidência e a partir da diretoria foi exposta a hierarquia do processo analisado. A composição hierárquica da área de foco está representada em destaque na cor vermelha na figura 9.

Figura 9: Organograma da empresa



Fonte: Elaborado pelo autor (2023)

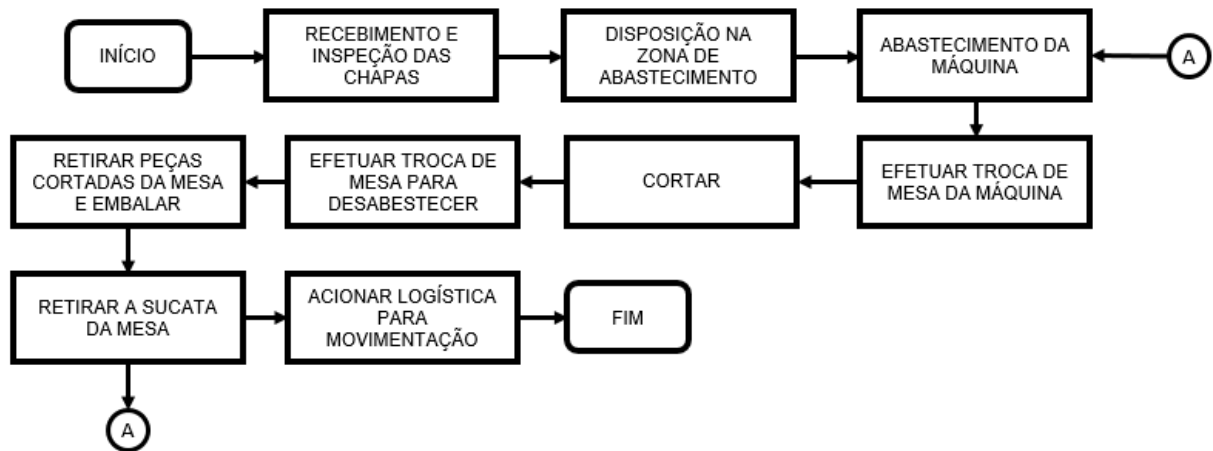
No topo da hierarquia, o Presidente é o principal líder, responsável por orientar a estratégia e a visão geral da organização. Os Diretores ocupam cargos de alto escalão e supervisionam áreas específicas, como finanças ou operações. Os Gerentes desempenham um papel fundamental na gestão de equipes e departamentos, tomando decisões operacionais para alcançar metas. Coordenadores auxiliam na administração de projetos e equipes, garantindo a eficiência operacional.

Supervisores trazem experiência avançada para liderar projetos complexos, enquanto Analistas realizam análises e pesquisas para fornecer *insights* valiosos. Técnicos possuem habilidades práticas em suas áreas de atuação, enquanto Líderes, em vários níveis, supervisionam equipes e garantem que as metas sejam alcançadas. Por fim, Operadores desempenham funções práticas no nível de execução, contribuindo para as operações diárias da empresa. Essa estrutura hierárquica bem definida permite uma distribuição eficaz de tarefas e responsabilidades, garantindo que a empresa funcione eficientemente e alcance seus objetivos. O presente estudo foi realizado pelo responsável técnico, que se reportou aos superiores para apresentação de resultados e contou com o apoio do time operacional e das lideranças para que pudesse desenvolvê-lo.

4.2 ESTADO INICIAL DO PROCESSO DE CORTE LASER

O processo pesquisado se trata da operação de corte laser, pertencente a área de fabricação de componentes para peças de máquinas de construção. Até a instalação da máquina de corte laser que ocorreu em junho de 2023, as peças possuíam outros fluxos sendo cortadas em máquina de corte plasma sem garantia da mesma precisão, cortadas em máquinas laser de outros segmentos da empresa ou eram produzidas por terceiros. Devido ao aumento da demanda e a entrada de novos itens, se fez necessário a aquisição de uma máquina que entregasse qualidade e que tivesse alta performance.

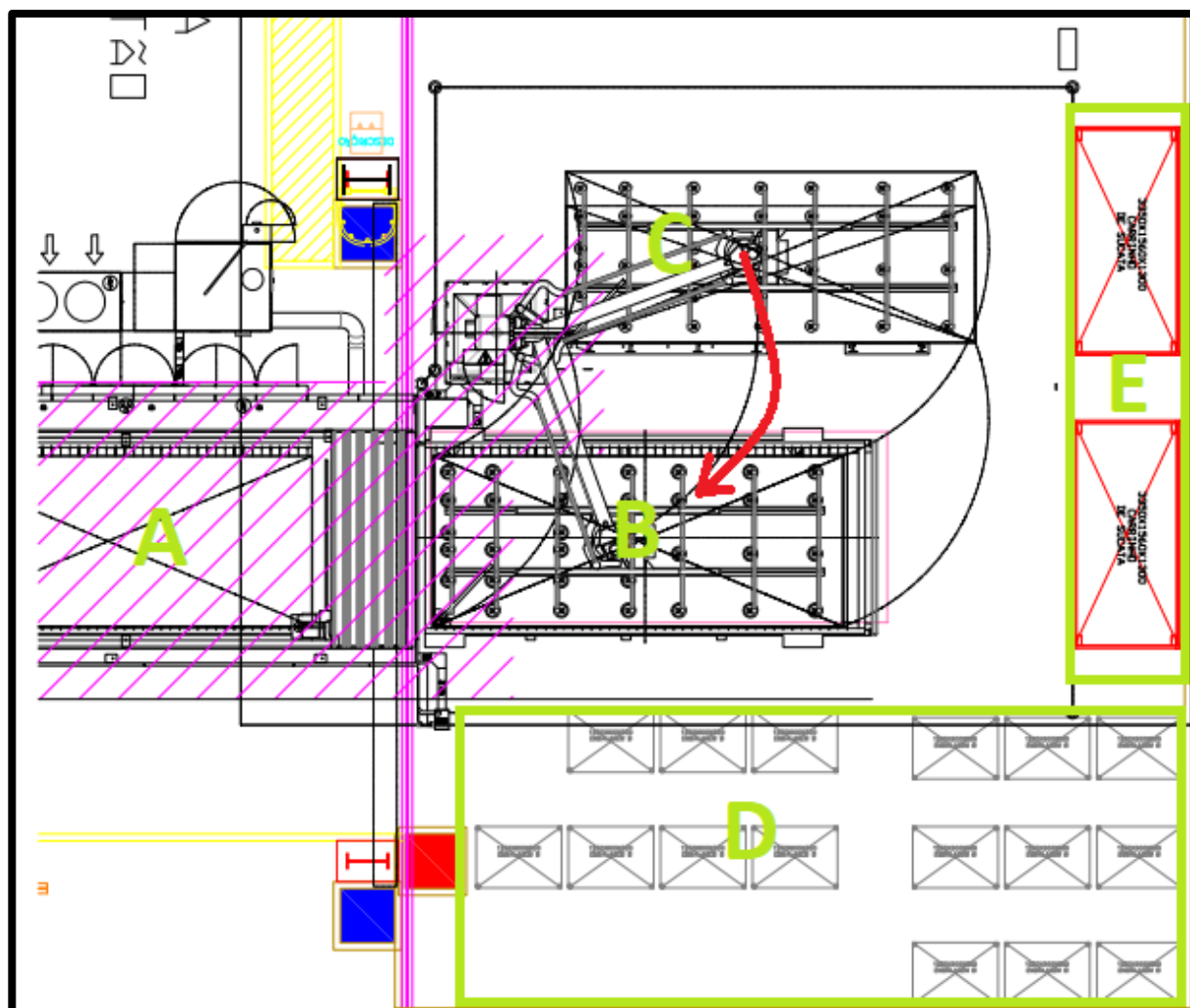
Sendo assim, foi adquirida uma máquina de corte laser 12000W, com um investimento aproximado de R\$8.500.000,00. Logo que finalizada a instalação da máquina, já existiam ordens de produção em aberto e logo em sequência, seu volume de trabalho se baseava na produção de mais de 500 componentes. O processo de fabricação neste centro de trabalho consiste nas etapas representadas no fluxo da figura 10.

Figura 10: Fluxo do processo

Fonte: Elaborado pelo autor, 2023

O processo inicia a partir da conferência da matéria-prima recebida, após verificada que é a correta a chapa é disposta sobre a mesa que está para parte externa da máquina enquanto a outra mesa está dentro da máquina, carregada com outra chapa em processo de corte. Após o carregamento e a finalização do corte são trocadas as mesas e as peças e sucatas cortadas são dispostas em seus devidos lugares para que a nova mesa seja abastecida para o próximo corte. Ou seja, o processo de descarregamento das peças cortadas e sucatas e o abastecimento da mesa é sobreposto ao processo de corte, enquanto um acontece dentro da máquina, o outro está acontecendo na parte de fora. Esse fluxo pode ser melhor entendido ao observar a figura 11.

Figura 11: Layout da máquina



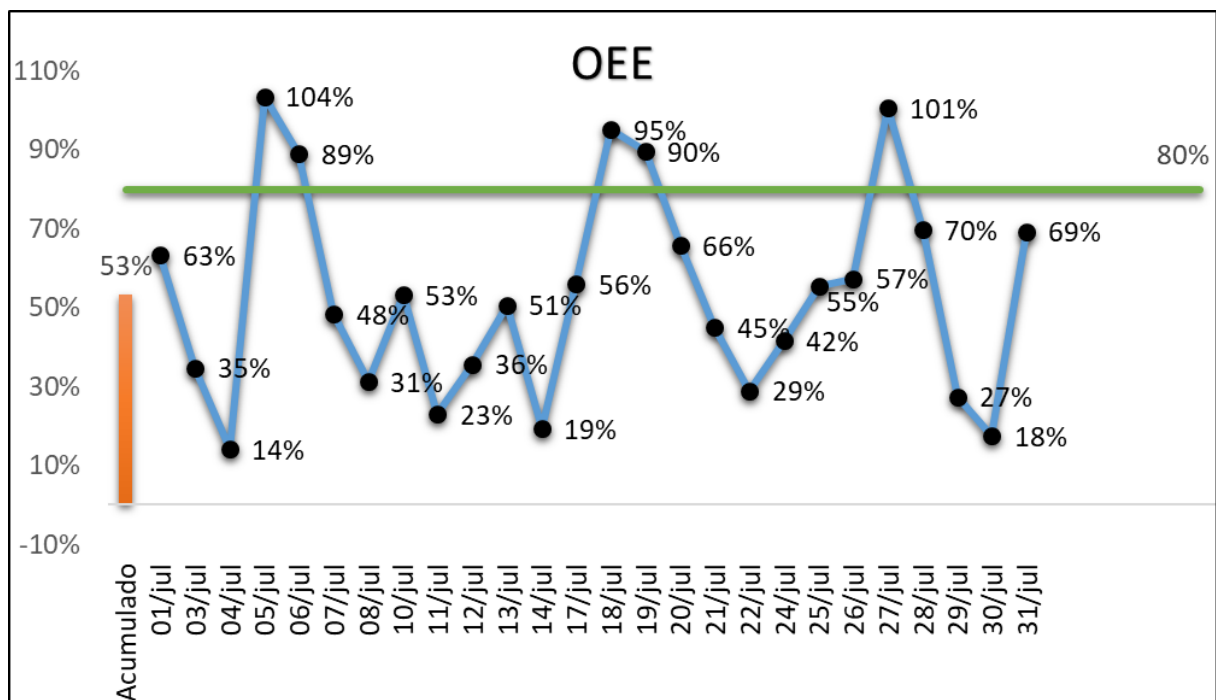
Fonte: Elaborado pelo autor, 2023

Analisando o *layout* da figura 11, é possível entender que, enquanto dentro da máquina na etapa de operação A está sendo efetuado o corte, na parte de trás da máquina estão sendo removidas as peças da mesa secundária B e passadas para as embalagens da área D e a sucatas para o descarte na área E. Após isso a primeira chapa dentre as dispostas na área de abastecimento C é transportada para a mesa secundária B (movimento indicado pela seta vermelha). Assim, o processo se resume em 3 componentes principais; abastecimento, corte, remoção de peças e sucatas. Além dos 3 principais passos, existem outros passos importantes como visto na figura 9. Todo o processo é desenvolvido por 2 operadores que intercalam entre operação de máquina e retirada de peças na parte de trás do equipamento.

Após isso as peças são disponibilizadas ao estoque para serem pagas aos processos seguintes. Dentre os clientes diretos do processo estudado, estão o setor de endireitamento, viradeiras, prensas, usinagem e linhas de solda. Contudo, o processo se não controlado pode gerar impacto no cliente final, quando falamos de dimensionais fora do especificado ou quaisquer outras não-conformidades que não possuem meio de inspeção em processos subsequentes. Dessa forma, além de o processo ter uma alta demanda e ser fundamental para que se perpetue a produção, existem características críticas que necessitam controle e atenção que devem ser levadas em consideração durante o desenvolvimento de uma nova peça, por exemplo.

Após dar início a produção, foi percebido a dificuldade em manter um OEE ao menos próximo da meta de 80%, tendo um fechamento no primeiro mês de 53%. Fora isso, destacaram-se também 2 pontos fora da curva nos dias 05/07 e 27/07, onde a eficiência calculada pelo sistema foi maior que 100% fazendo com que a eficiência ficasse acima da meta, expondo um ponto de atenção quanto as horas baixadas por dia.

Gráfico 2: OEE mês de Julho

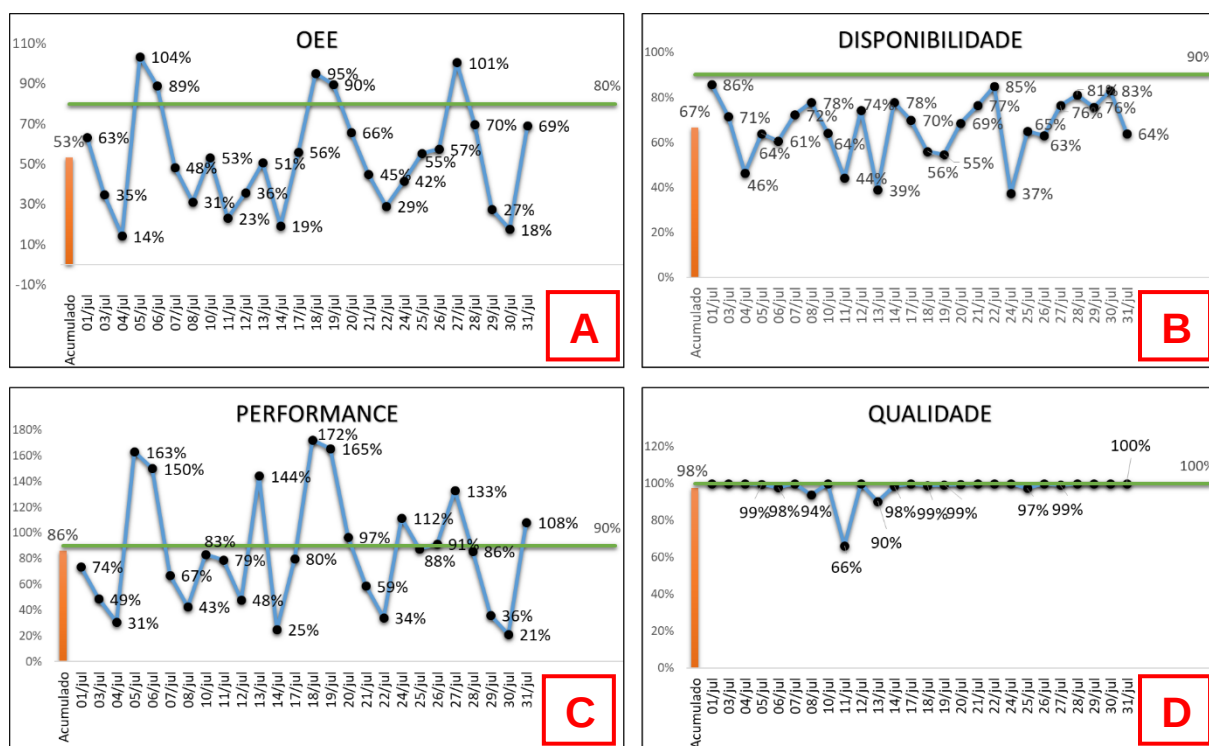


Fonte: Elaborado pelo autor, 2023

A baixa eficiência da máquina gerou impacto nos clientes internos, tendo sido responsável por falta de componentes nas linhas de solda e risco de parada na montadora (cliente final). Mesmo com o alto investimento e a tecnologia, no final do primeiro mês a máquina encerrou com 172 horas de atraso de produção, tendo sido necessário a terceirização de peças, horas extras e processos de corte alternativos para que pudessem ser entregues as peças. Isso fez com que a nova máquina se tornasse o gargalo da empresa, sendo o processo mais crítico para que os conjuntos finais pudessem ser entregues ao cliente.

No início, foi feita a coleta de todos os dados do OEE relativos ao mês de julho, com o objetivo de compreender qual das variáveis estava impactando negativamente a eficiência do equipamento. Essa coleta envolveu o registro diário dos operadores para calcular a disponibilidade, a obtenção de informações do sistema (SAP) para somar as horas perdidas a fim de calcular o desempenho e a análise dos dados de sucata para orientar o indicador de qualidade, que até então não havia sido calculado. Após a conclusão da coleta de dados, foram gerados os indicadores do OEE.

Gráfico 3: IROG do mês de Julho



Fonte: Elaborado pelo autor, 2023

No gráfico A, está representado um resumo da eficiência global do equipamento, conforme discutido anteriormente. É evidente que o indicador de qualidade D permanece próximo a 100%, o que indica que os impactos diretos na eficiência decorrem dos indicadores de disponibilidade B e performance C. No entanto, ao analisar o indicador de gráfico C, se observa que não há uma média bem definida, pois, a performance varia de 21% a mais de 100% (o que teoricamente não é possível). No gráfico B, se nota que, ao longo do primeiro mês, nunca fora atingida a meta estabelecida e que o indicador mantém uma instabilidade. Isso é notável quando se observa que o percentual diminui durante três dias, volta a subir por dois a quatro dias e depois volta a cair.

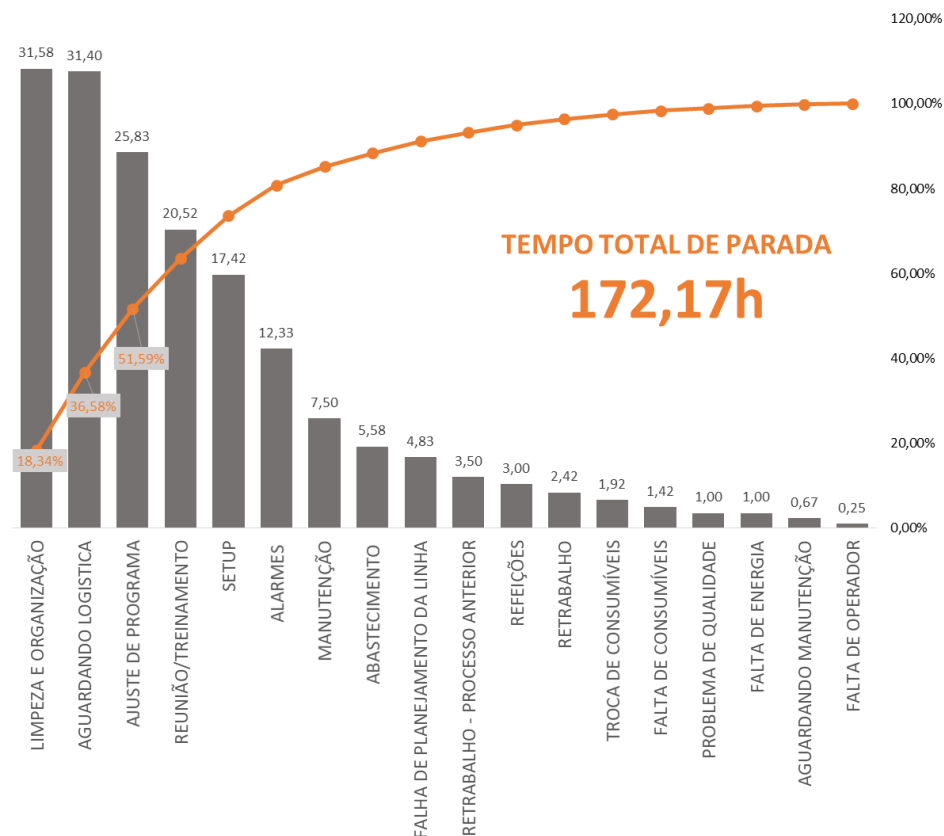
A atual instabilidade e inconsistência dos indicadores apresentados, especialmente nos gráficos C e B, são inaceitáveis e motivo de extrema preocupação. A variação incontrolável de desempenho no gráfico C, com valores que desafiam a lógica, é um sinal claro de problemas na coleta e interpretação de dados. Além disso, a persistente falta de alcance das metas de disponibilidade no gráfico B indica uma gestão deficiente dessas métricas essenciais. Essa situação compromete severamente nossa capacidade de tomar decisões assertivas e mina a confiabilidade das informações fornecidas pelos indicadores. É imperativo que ações imediatas sejam tomadas para resolver essas questões, reforçar a estabilidade dos indicadores e assegurar que nossos processos sejam executados de forma eficaz. A inconsistência demonstrada nos dados é inaceitável e exige uma investigação minuciosa e a implementação de medidas corretivas urgentes para garantir a integridade e a eficácia de nosso sistema de monitoramento.

Os principais focos de melhoria identificados se voltavam a direcionar esforços para melhorar a disponibilidade da máquina e reduzir as paradas associadas a causas como a limpeza, logística e ajustes de programa, a organização poderá aumentar a disponibilidade e, assim, elevar o indicador de OEE. Isso resultaria em uma utilização mais eficaz do equipamento e, por conseguinte, em uma produção mais eficiente. Além disso, a abordagem dos problemas relacionados à baixa performance e à medição da qualidade também tem implicações diretas no OEE. A estabilidade do desempenho e a medição adequada da qualidade contribuiriam para melhorar os componentes de desempenho e qualidade do OEE. Portanto, o foco nessas áreas críticas não apenas aprimoraria a eficiência operacional, mas também teria um

impacto positivo no indicador de OEE como um todo, resultando em uma operação mais produtiva e eficiente.

Para começar a identificar os problemas dentro do processo, foi desenvolvido um diagrama de Pareto com base nos registros das paradas da máquina. Este exercício revelou que 51,59% das paradas estavam concentradas em três motivos que surgiam diariamente nos relatórios de paradas. O motivo de parada mais significativo foi a 'limpeza e organização', que totalizou 31,58 horas de tempo perdido ao longo do mês de julho. Em seguida, foram registradas 31,4 horas de espera devido a questões logísticas relacionadas ao transporte dos fardos de chapa para a área de abastecimento. Em terceiro lugar, paradas relacionadas ao 'ajuste de programa', que se referem a falhas nos programas de corte da máquina, exigindo assistência adicional para solucionar os problemas, resultando em um total de 25,83 horas.

Gráfico 4: Pareto Tempos de Parada em Horas (Mês 7)



Fonte: Elaborado pelo autor, 2023

A análise detalhada do gráfico de Pareto resultou em uma conclusão de extrema relevância: a abordagem das três principais causas de paradas da máquina tinha a capacidade de impactar significativamente a eficiência operacional, com o potencial de reduzir até 51,59% das interrupções no funcionamento do equipamento. Essa descoberta foi de grande importância, pois sugere que direcionar esforços para solucionar esses motivos prioritários de paradas poderia resultar em melhorias substanciais na produtividade e no desempenho geral do processo. Portanto, a análise do gráfico de Pareto se revelou uma ferramenta valiosa para identificar e priorizar áreas de foco que podem contribuir de maneira significativa para o aprimoramento da eficiência operacional.

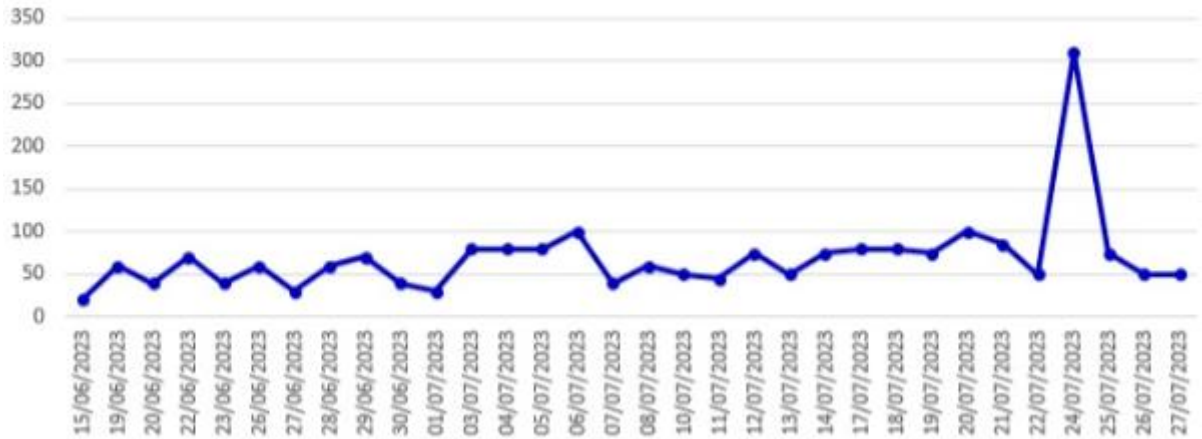
Além disso, a análise do gráfico de Pareto revela uma descoberta significativa, apesar de as três principais causas de paradas representarem 16,67% do total das causas. Isso ilustra a aplicação da regra 80/20 de Pareto, que sugere que uma minoria de elementos frequentemente contribui de forma desproporcional para a maioria dos resultados. Embora a proporção no gráfico seja diferente da tradicional 80/20, a essência do princípio de Pareto permanece válida.

Nesse contexto específico, as três principais causas de paradas, representando uma parcela menor, têm a capacidade de impactar de maneira significativa a eficiência operacional. A concentração de esforços nessas áreas críticas pode levar a uma redução substancial de até 51,59% das interrupções no funcionamento do equipamento. Essa observação destaca a importância de identificar e priorizar as causas com o maior impacto, seguindo a lógica subjacente à regra de Pareto. Portanto, mesmo com uma proporção diferente, a aplicação da regra de Pareto se mostrou valiosa na otimização da eficiência operacional.

Para alcançar esse objetivo, o pesquisador conduziu uma análise minuciosa das três principais causas de paradas em uma base diária, com o intuito de compreender a evolução desses motivos ao longo do tempo. Este estudo abrangeu um período significativo, começando desde a fase de testes da máquina, que teve início em 15 de junho, antes mesmo de ser iniciada a medição do OEE. O pesquisador usou dados coletados ao longo desse período, permitindo uma análise detalhada da tendência das três principais causas de paradas. A seguir, os gráficos 5 à 10 apresentam os números que compõem esse estudo, oferecendo uma visualização clara das mudanças e padrões observados ao longo do tempo. Esse aprofundamento no histórico das paradas de máquina é essencial para a identificação de estratégias

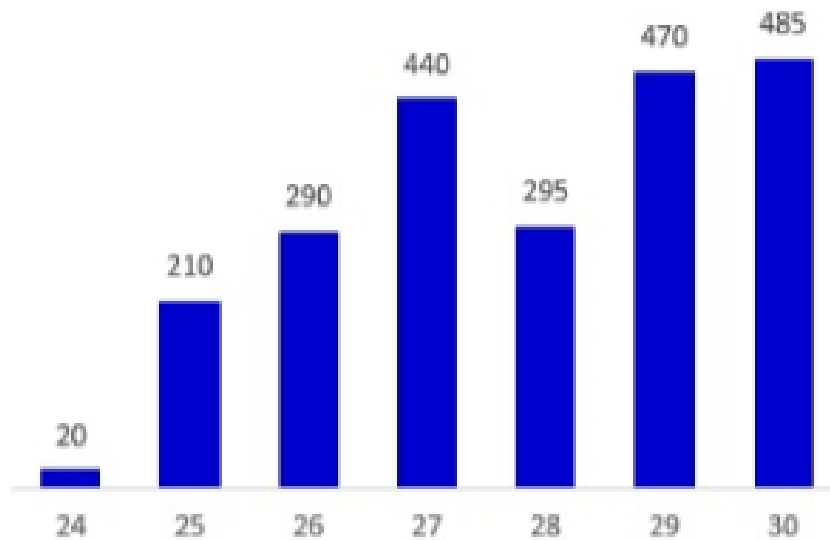
eficazes de melhoria na eficiência operacional e na redução das interrupções no processo produtivo.

Gráfico 5: Evolução diária das paradas por limpeza e organização em minutos



Fonte: Elaborado pelo autor, 2023

Gráfico 6: Evolução semanal das paradas por limpeza e organização em minutos

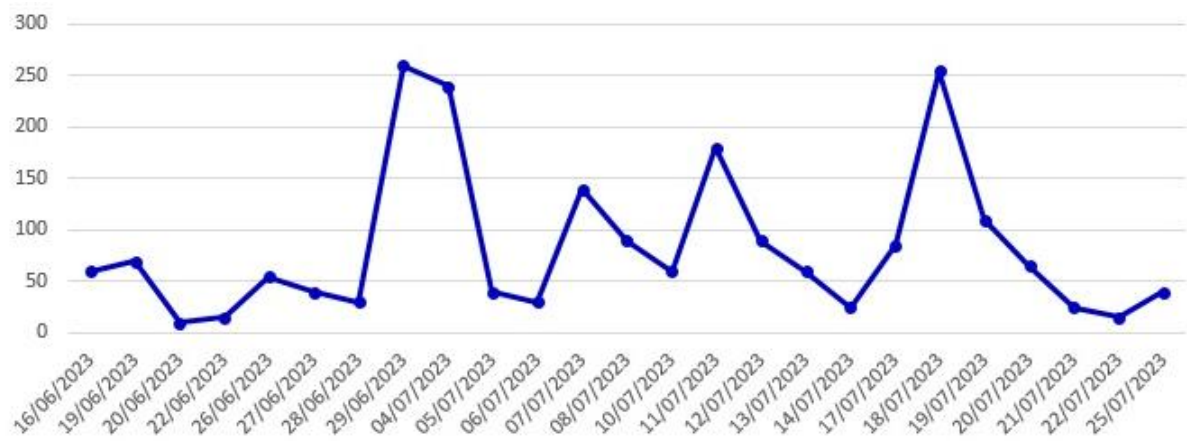


Fonte: Elaborado pelo autor, 2023

Nos gráficos 5 e 6, foi observado que a limpeza da máquina emergiu como a causa predominante para as paradas, consumindo uma média de 20 minutos em cada turno. Essas interrupções periódicas, apesar de breves, se acumularam ao longo do tempo, exercendo um impacto significativo na eficiência operacional. No contexto da

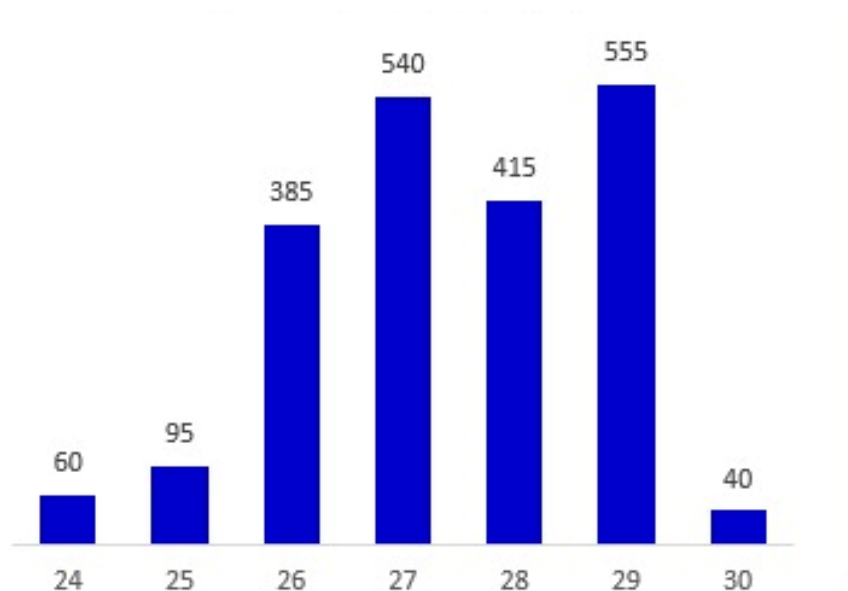
análise, foram analisadas profundamente as práticas de limpeza, identificando possíveis gargalos e considerando estratégias de otimização para minimizar seu impacto na produção. Compreender os detalhes dessa questão de limpeza desempenhou um papel crucial na busca por uma operação mais contínua e eficaz.

Gráfico 7: Evolução diária das paradas por ajuste de programa em minutos



Fonte: Elaborado pelo autor, 2023

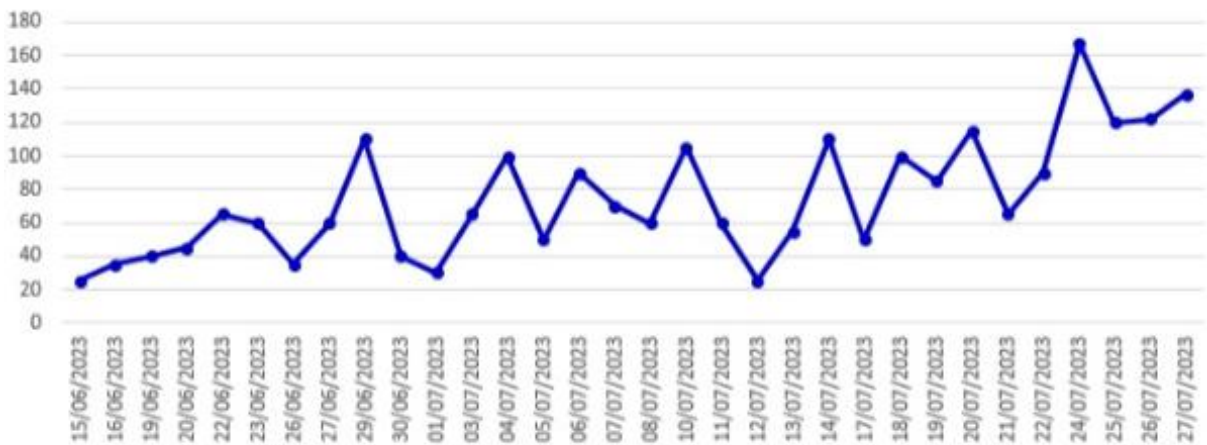
Gráfico 8: Evolução semanal das paradas por ajuste de programa em minutos



Fonte: Elaborado pelo autor, 2023

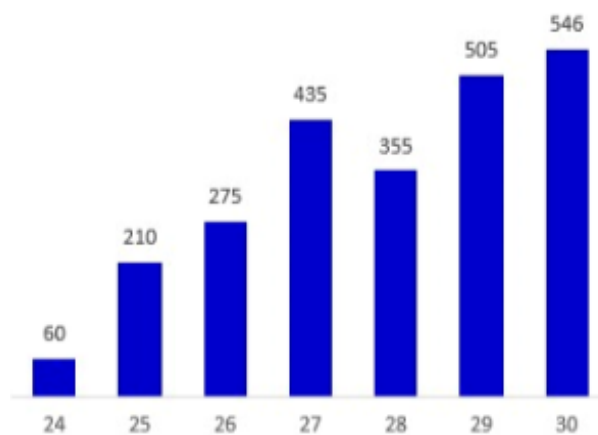
Nos gráficos 7 e 8, nota-se uma notável diminuição das paradas relacionadas a ajustes de programa nos últimos dias, o que contribuiu para uma melhoria visível no acumulado da semana. Esse declínio nas interrupções demonstra um progresso significativo na estabilidade operacional. No entanto, vale destacar que, com base nas tendências passadas, é essencial manter um monitoramento contínuo para garantir que essa melhoria seja sustentada e para identificar quaisquer variações ou recorrências dessas paradas de ajuste de programa. Essa análise de dados continua sendo fundamental para manter um desempenho operacional consistente.

Gráfico 9: Evolução diária das paradas por razões logísticas em minutos



Fonte: Elaborado pelo autor, 2023

Gráfico 10: Evolução semanal das paradas por razões logísticas em minutos



Fonte: Elaborado pelo autor, 2023

Ao analisar as paradas por motivos logísticos, se observa um aumento constante na sua ocorrência, (com a maior incidência registrada por operadores do turno 2). Essa tendência destacou a necessidade de uma análise mais aprofundada para compreender as razões subjacentes a esse aumento nas paradas logísticas, que explanou a necessidade de um movimentador sempre à disposição da máquina, pois hoje a máquina contava com apenas 1 operador de empilhadeira que atendia outros 7 centros de trabalho.

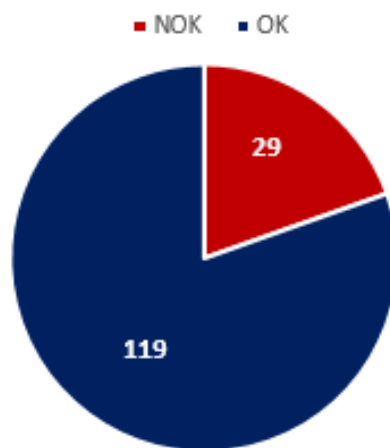
Em resumo, a análise revelou três áreas críticas para aprimorar a eficiência operacional. A limpeza da máquina surgiu como a causa predominante das paradas, apontando para a necessidade de otimizar esses processos para reduzir o impacto nas operações. Além disso, observou-se uma melhoria notável nas paradas relacionadas a ajustes de programa nos últimos dias, sugerindo progresso na estabilização das operações. Contudo, as paradas logísticas emergiram como uma preocupação crescente, destacando a importância de uma análise mais profunda e a necessidade de alocar recursos, como um movimentador dedicado, para minimizar essas interrupções. Em suma, esses *insights* direcionam os esforços para áreas críticas, com o objetivo de melhorar a eficiência operacional e manter um desempenho consistente.

No que diz respeito a performance da máquina, foram realizadas análises cronometradas que revelaram discrepâncias notáveis entre o tempo real e o tempo indicado pelo sistema. Essas inconsistências têm sua origem principalmente na transição para a nova máquina, que possui um tempo de processamento significativamente mais rápido. Isso resultou em diferenças "positivas" de tempo, notadamente ao se considerar a produção de peças com espessuras de até 8mm. Nas máquinas anteriores, a produção utilizava oxigênio como gás de assistência, o que acrescentava pelo menos um adicional de 30% no tempo de processamento em comparação ao nitrogênio (utilizado para espessuras até 8mm), somado ao fato de a velocidade de avanço das máquinas anteriores ser menor em relação ao novo equipamento.

Para a realização das cronoanálises, o tempo programado a partir do simulador de corte do software LANTEK foi utilizado como ponto de referência. Nesse processo, o tempo planejado no LANTEK foi comparado com o tempo real gasto na produção e, em seguida, validado com os registros do sistema para verificar a coerência. A análise

abrangeu um total de 148 itens de diferentes espessuras, permitindo a identificação de diferenças que poderiam tanto beneficiar quanto prejudicar os indicadores de baixa de horas. Nessa análise inicial, a atenção foi direcionada para os itens que impactavam negativamente os indicadores, ou seja, aqueles que não estavam atingindo a meta de eficiência. Nesse contexto, foi identificado um conjunto de 29 itens com tempos inferiores ao que deveria estar cadastrado no sistema. Essas discrepâncias revelaram oportunidades para otimizar o desempenho e, possivelmente, melhorar a eficiência operacional.

Gráfico 11: Avaliação dos itens já cortados na máquina



Fonte: Elaborado pelo autor, 2023

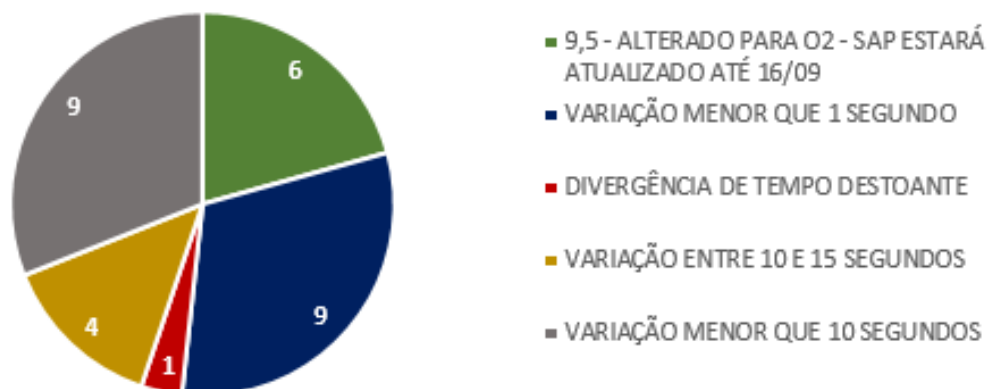
Os dados provenientes dessa análise, embora forneçam informações relevantes sobre o desvio médio de tempo no processo, não podem ser divulgados no trabalho em virtude de questões relacionadas à confidencialidade. A divulgação dessas informações pode expor detalhes sensíveis e estratégicos relacionados ao processo e à operação da empresa. Portanto, por motivos de sigilo e para proteger informações confidenciais, esses dados específicos não podem ser compartilhados no âmbito deste trabalho. Por este fato, as análises abaixo apresentarão apenas os resultados na análise realizada, sem comprometer a integridade dos dados da empresa.

Foi observado que, no geral, havia um desvio médio de tempo de 15,29 segundos quando considerada toda a população estudada. Contudo, quando o foco se voltou às peças com tempos cadastrados mais longos do que deveriam, notou-se

uma variação média de aproximadamente 21,2 segundos. Por outro lado, ao serem examinados os itens com tempos de cadastro mais curtos do que o necessário, nota-se uma média de desvio de 8,99 segundos a menos na prática em comparação ao tempo registrado no sistema.

No entanto, ao avaliar as peças com tempos menores no sistema, foi identificado um grupo de 29 itens. Dentro desse conjunto, 6 peças já estavam em processo de alteração de tempo devido à modificação em seus processos produtivos, que passaram a utilizar oxigênio como gás de assistência. Além disso, 9 peças apresentavam variações de até 1 segundo, enquanto outras 9 demonstravam desvios na faixa de 1 a 10 segundos. Entre as restantes, 4 peças exibiam variações de tempo entre 10 e 15 segundos, e 1 peça se destacava com uma discrepância notável, chegando a 38 segundos.

Gráfico 12: Avaliação dos itens com tempos menores



Fonte: Elaborado pelo autor, 2023

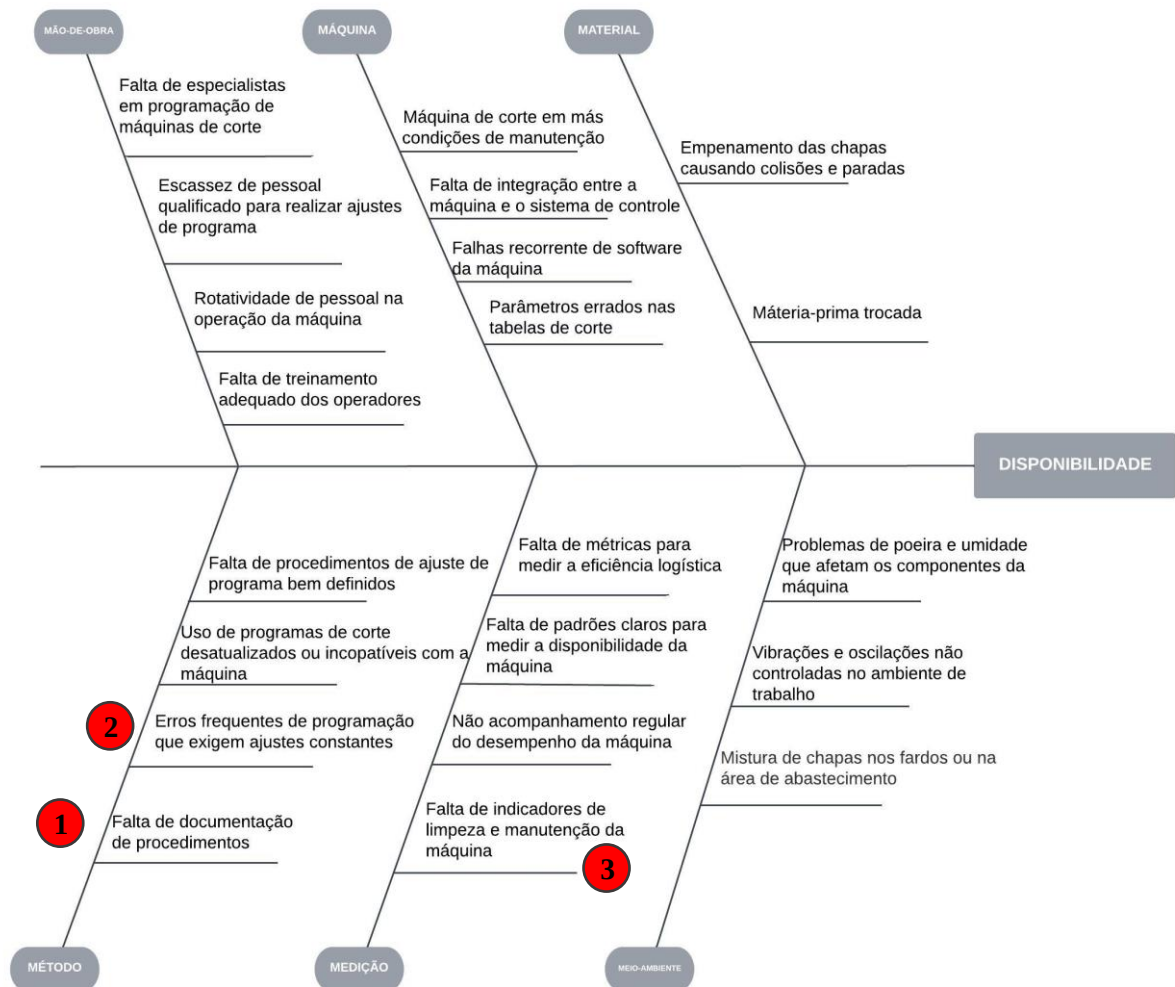
Quando consideradas as chapas com espessuras maiores, observa-se variações pontuais no tempo de processamento, geralmente na faixa de 1 a 15 segundos em relação ao programa de corte. No entanto, é crucial destacar que essas discrepâncias não impactaram de maneira significativa a redução das horas de operação da máquina, uma vez que estavam dentro da margem de erro estabelecida pelo sistema, que era de 10%. Isso indica que a máquina operava de acordo com as

expectativas, mantendo uma eficiência consistente na produção de peças mais espessas.

Essas pequenas variações não representaram um desafio substancial em termos de eficiência operacional, refletindo a estabilidade da produção nesse cenário específico. No entanto, a monitorização contínua é essencial para manter o controle dessas variações e garantir que não afetem o desempenho global da máquina a longo prazo. Além disso, a análise indicou que o tempo de processo por si só não era o principal fator que impactava negativamente o desempenho da máquina, tornando crucial a realização de avaliações "GEMBA" para compreender as razões subjacentes pela não redução das horas o suficiente para alcançar as metas estipuladas.

Após a conclusão da fase inicial do estudo, o foco direcionou-se para a identificação dos fatores que contribuíam para a baixa eficiência do processo. Para abordar essa questão, foram realizadas sessões de *brainstorming* altamente colaborativas, utilizando a metodologia do diagrama de Ishikawa para cada uma das três variáveis críticas: disponibilidade, performance e qualidade. As causas potenciais estão elencadas nos diagramas que seguem abaixo, proporcionando uma visão mais clara das áreas específicas que merecem atenção e ação para melhoraria da eficiência do processo.

Figura 12: Ishikawa Disponibilidade

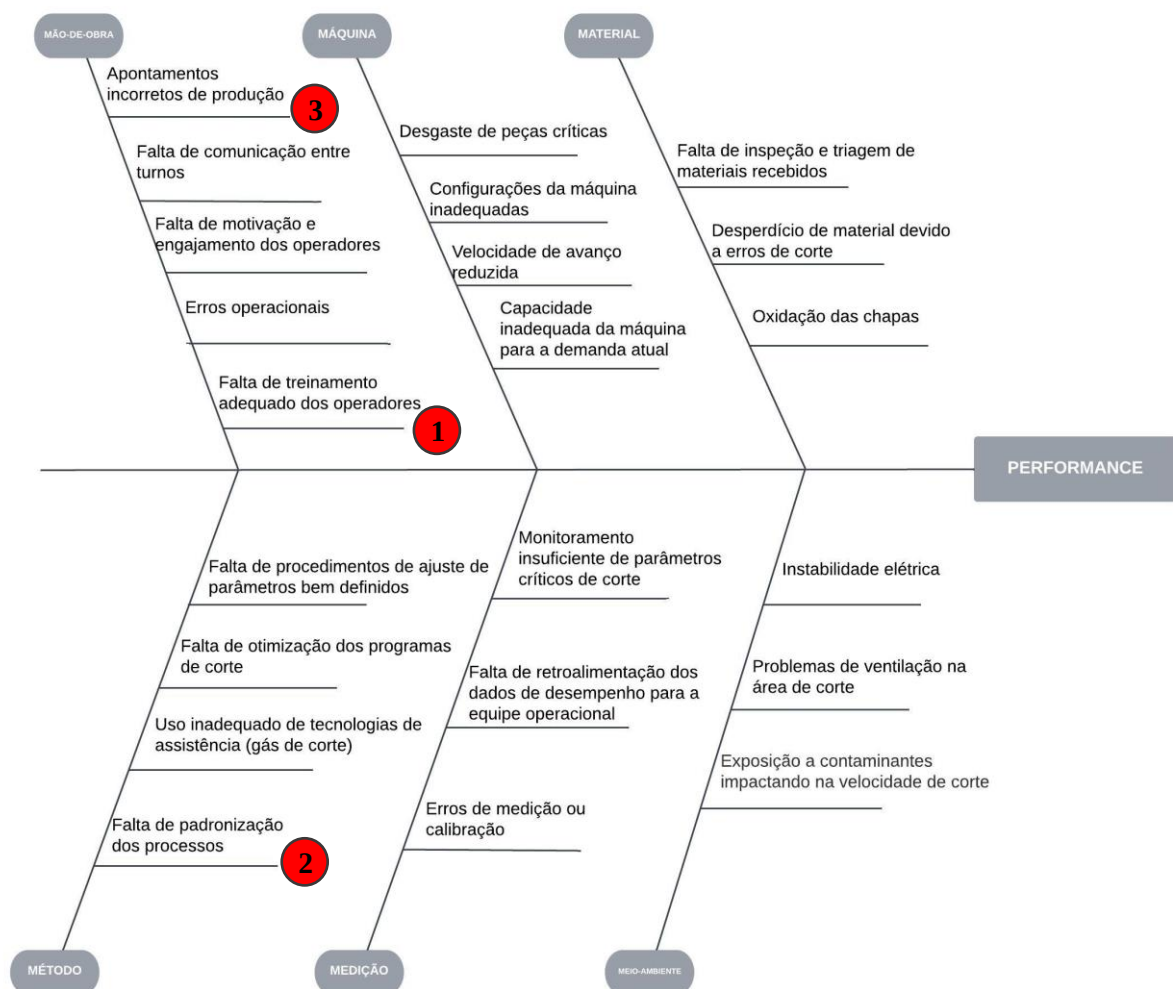


Fonte: Elaborado pelo autor, 2023

A análise de Ishikawa sobre a disponibilidade da máquina revelou três causas fundamentais que exerciam um impacto significativo na eficiência operacional. A primeira causa identificada, a "Falta de Documentação de Procedimentos," provou ser a preocupação central. A ausência de diretrizes e documentação clara referente a operação da máquina e resolução de problemas, resultava em um ambiente de trabalho desprovido de orientações sólidas. Esse problema era agravado pelo fato de a equipe não ter um roteiro definido para quem contatar em momentos de dificuldade, o que resultava em longos períodos de paralisação da máquina.

A segunda causa, relacionada aos "Erros de Programação que Exigiam Ajustes," também teve impacto notável na disponibilidade da máquina. Erros frequentes na programação levavam a paradas não planejadas e à necessidade de retrabalho, afetando negativamente a produtividade. Por último, a "Falta de Indicadores de Limpeza e Manutenção da Máquina" emergiu como uma terceira causa crítica. A ausência de indicadores eficazes resultava em um ciclo de manutenção reativa, com intervenções ocorrendo apenas após o surgimento de problemas graves. Além disso, apesar de não ter sido contemplado no Ishikawa, foi visto que havia necessidade de priorização logística para abastecimento e desabastecimento no posto de trabalho (que foi também tratada como uma causa raiz). Em conjunto, essas ações direcionadas foram fundamentais para melhorar a disponibilidade da máquina, otimizando, assim, a eficiência operacional de todo o processo.

Figura 13: Ishikawa Performance

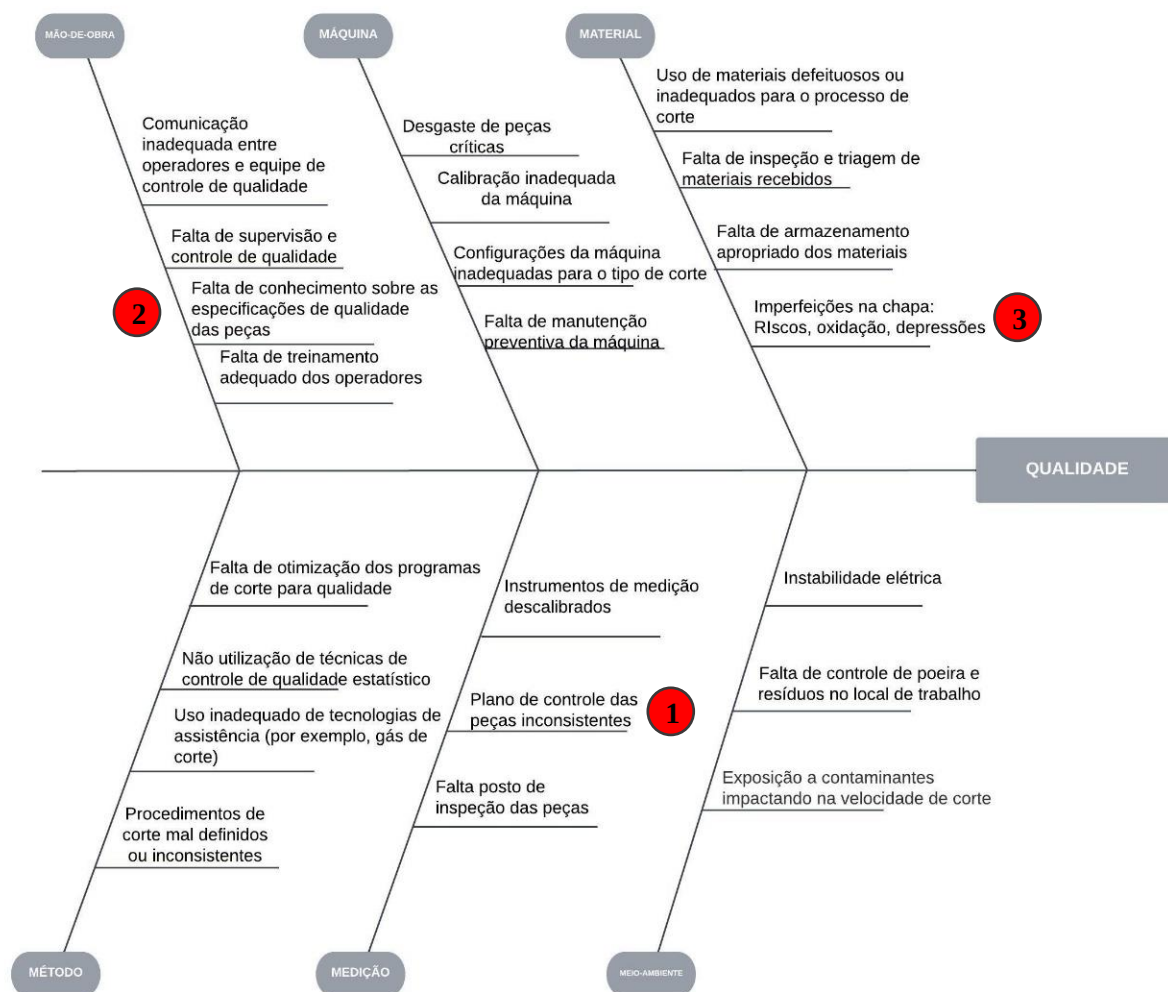


Fonte: Elaborado pelo autor, 2023

A análise Ishikawa, realizada para investigar as causas da baixa performance da máquina, identificou três fatores cruciais que impactavam substancialmente o seu desempenho. A primeira causa apontada foi a "Falta de Treinamento Adequado dos Operadores". Devido à falta de treinamento, os operadores enfrentavam dificuldades na operação eficiente da máquina, resultando em erros de configuração, baixa produtividade e ineficiências operacionais. Em seguida, a análise revelou a "Falta de Padronização dos Processos" como a segunda causa crítica.

A ausência de procedimentos e fluxos de trabalho padronizados gerava inconsistências na operação, prejudicando a eficiência global da máquina. Por fim, a terceira causa principal estava relacionada aos "Apontamentos Incorretos de Produção". Erros nos registros da produção não apenas impactavam a gestão da capacidade da máquina e o planejamento da produção, mas também não garantiam um registro preciso do número de produtos efetivamente produzidos. A equipe concentrou-se na resolução desses fatores-chave para otimizar a performance da máquina e melhorar a eficiência operacional de maneira abrangente.

Figura 14: Ishikawa Qualidade



Fonte: Elaborado pelo autor, 2023

Na análise Ishikawa realizada para investigar as causas de problemas de qualidade na operação da máquina, fatores críticos emergiram como principais determinantes da qualidade das peças produzidas. A primeira causa destacada foi a inconsistência nos planos de controle, nos quais a ausência de um plano eficaz para lidar com peças com variações de qualidade resultava em peças defeituosas, prejudicando substancialmente a qualidade geral do produto final. A segunda causa, relacionada à falta de conhecimento sobre as especificações de qualidade das peças, revelou-se um fator de peso na equação dos problemas de qualidade. A equipe enfrentava desafios devido à falta de compreensão completa das especificações de qualidade das peças, o que gerava inconsistências e inadequações nos processos de produção. Por fim, a terceira causa, envolvendo imperfeições na chapa, como riscos,

oxidação, depressões, entre outros, foi identificada como um elemento crucial na qualidade das peças. Essas imperfeições na matéria-prima impactavam diretamente a qualidade do produto final. A equipe concentrou seus esforços na resolução desses fatores-chave para aprimorar substancialmente a qualidade das peças produzidas pela máquina.

Nas fases iniciais do projeto, direcionou-se o foco para a metodologia DMAIC, que demonstrou ser uma abordagem sólida no desenvolvimento das etapas. Essa abordagem permitiu alcançar resultados conclusivos e estabelecer um plano de ação robusto. Nesse estágio inicial do projeto, foram priorizadas as três primeiras etapas do DMAIC, desempenhando um papel essencial na compreensão e resolução dos desafios enfrentados. As evoluções das etapas do DMAIC na primeira parte deste estudo estão elucidadas abaixo:

- *DEFINE*: A etapa "*DEFINE*" foi fundamental para o início do projeto. Nela, dedicou-se tempo significativo à identificação do problema. Isso envolveu uma análise aprofundada do fluxo do processo, onde se mapeou todas as etapas e atividades envolvidas, e uma avaliação minuciosa do cenário atual. Esse processo permitiu entender, de maneira abrangente, o que estava ocorrendo na operação da máquina e identificar com clareza os pontos problemáticos que exigiam intervenção. Definir com precisão o problema foi um passo crítico para orientar todo o projeto na direção certa.
- *MEASURE*: Na etapa "*MEASURE*," focou-se na coleta e análise de dados. Além de calcular indicadores-chave, como as variáveis de disponibilidade, performance e qualidade e a OEE, também foram utilizadas técnicas como o Diagrama de Pareto, para identificar as principais causas de paradas. Através de gráficos de controle, conseguiu-se rastrear a evolução dos problemas ao longo do tempo e detectar tendências importantes. Além disso, foram realizadas cronoanálises detalhadas e calculadas as variações de tempo, o que ajudou a identificar as áreas de maior impacto na eficiência operacional. A etapa "*MEASURE*" foi crucial para obter uma visão clara e baseada em dados da situação atual e das áreas que necessitavam de melhorias.
- *ANALYSE*: Após a coleta de dados detalhados na etapa "*MEASURE*," passou-se para a etapa "*ANALYSE*." Aqui, aprofundou-se a compreensão

dos indicadores, examinando o que cada um deles representava e como se correlacionavam. Além disso, utilizou-se uma abordagem colaborativa e criativa, aplicando a metodologia do brainstorming com base no Diagrama de Causa e Efeito. Essa técnica permitiu identificar as causas-raiz dos problemas e as conexões entre diferentes fatores. Foi nessa fase que se começou a definir as áreas críticas que precisavam ser abordadas para elevar a OEE da máquina e melhorar a eficiência operacional. A etapa "ANALYSE" serviu como uma ponte entre a coleta de dados na etapa "MEASURE" e a formulação de um plano de ação eficaz para solucionar os desafios identificados.

A situação em que a empresa estabelece metas, mas enfrenta dificuldades para segui-las ou alcançá-las apresenta diversas questões problemáticas. Primeiramente, a falta de cumprimento de metas pode indicar deficiências na definição, comunicação e entendimento das metas entre os membros da equipe, o que gera desalinhamento e falta de foco. Além disso, a empresa pode não estar avaliando corretamente sua capacidade e recursos para atingir as metas, o que pode levar a metas irrealistas. Essa situação também levanta preocupações sobre a eficácia do planejamento estratégico e da gestão de projetos na empresa.

Com base no diagnóstico realizado nas etapas iniciais deste estudo, foi elaborado um plano de ação abrangente e meticuloso. O cerne desse plano residia na abordagem eficaz das causas subjacentes que exerciam um impacto adverso na eficiência operacional da máquina. Cada etapa do plano foi cuidadosamente delineada, com metas claramente definidas e mensuráveis, e responsabilidades foram atribuídas de forma precisa. A abordagem era orientada para a resolução prática, com foco na colaboração, e foi essencial para assegurar que as melhorias fossem tangíveis e sustentáveis, representando um passo vital em direção à otimização do desempenho da máquina e ao aprimoramento da eficiência operacional. Para que fosse dado o correto direcionamento durante a montagem deste plano, foi elaborado um quadro síntese com as principais oportunidades de melhoria, que está apresentado no quadro 2.

Quadro 2: Quadro síntese das oportunidades de melhoria

Indicador	Oportunidade de Melhoria	Ganho esperado
Disponibilidade	Melhorar a limpeza e organização da área de trabalho.	Melhoria na disponibilidade da máquina
Disponibilidade	Implementar procedimentos para otimizar o ajuste de programas.	Melhoria na disponibilidade e no desempenho geral da máquina
Disponibilidade	Reduzir o tempo de espera de materiais ou peças.	Melhoria na disponibilidade da máquina
Disponibilidade	Desenvolver e manter documentação clara de procedimentos.	Melhoria na disponibilidade e no desempenho geral da máquina
Performance	Fornecer treinamento adequado para operadores.	Aumento do desempenho da máquina através de mão-de-obra qualificada
Performance	Garantir que os registros de produção sejam precisos e consistentes.	Aumento do desempenho da máquina e sustentação de dados confiáveis
Performance	Estabelecer procedimentos padronizados para operações e manutenção.	Aumento do desempenho da máquina
Qualidade	Fornecer treinamento sobre os critérios de qualidade das peças.	Redução de custos devido a menos retrabalho e desperdício.
Qualidade	Padronizar os planos de controle e garantir que sejam seguidos.	Redução de custos devido a menos retrabalho e desperdício.
Qualidade	Melhorar a inspeção e seleção da matéria-prima para evitar imperfeições.	Redução de custos devido a menos retrabalho e desperdício.

Fonte: Elaborado pelo autor, 2023

No Quadro 2, estão dispostas as oportunidades de melhoria para otimizar a eficiência da máquina laser, divididas em três categorias essenciais: disponibilidade, performance e qualidade. Para melhorar a disponibilidade, o foco se manteve na organização da área de trabalho, procedimentos para ajuste de programas, redução de tempos de espera e documentação de procedimentos. Na área de performance, foi estabelecido um plano de treinamento para operadores, garantia de registros precisos e procedimentos padronizados. Quanto à qualidade, se deu ênfase no treinamento sobre critérios de qualidade, padronização de planos de controle e aprimoramento na inspeção da matéria-prima para reduzir custos de retrabalho e desperdício.

5 PLANO DE MELHORIA PARA EFICIÊNCIA DO PROCESSO DE CORTE LASER

Após a conclusão das etapas iniciais, deu-se início à criação do plano de ação e à implementação das medidas destinadas a melhorar o indicador. Neste ponto, com base nas descobertas e conclusões das fases "*DEFINE*," "*MEASURE*," e "*ANALYSE*," obteve-se uma compreensão sólida dos problemas e das áreas críticas que requeriam intervenção. O plano de ação foi desenvolvido com um foco claro na melhoria do indicador-chave. Definiram-se metas específicas e mensuráveis, identificaram-se as ações necessárias para atingi-las, e responsabilidades foram atribuídas para cada tarefa. A ênfase estava em abordar as causas-raiz identificadas durante a análise anterior e em implementar soluções práticas que levariam a melhorias mensuráveis com fito de elevar a eficiência operacional da máquina e alcançar resultados significativos por meio do plano de ação explanado no quadro abaixo.

Com base no modelo 5W2H, foi desenvolvido um plano de ação que aborda os tópicos de Indicador de Interesse, Ação, Motivo, Responsável e Prazo. Cada um desses elementos corresponde diretamente às perguntas-chave do 5W2H, e essa adaptação foi concebida com o objetivo de fornecer detalhes mais minuciosos e específicos para cada componente do 5W2H. Isso desempenha um papel essencial na garantia de um planejamento sólido e na execução eficaz das ações, possibilitando a realização de metas e objetivos de forma organizada, com responsabilidades claramente definidas.

Nesse contexto, o Indicador de Interesse está alinhado com a identificação do que precisa ser feito, a "Ação" corresponde à descrição dos métodos de implementação, o "Motivo" justifica a necessidade da ação, o "Responsável" identifica a pessoa encarregada da execução e o "Prazo" estabelece um limite temporal para a conclusão da ação. Essa relação entre os tópicos e o 5W2H assegura que o plano seja estruturado de maneira organizada, com ações claramente definidas, justificadas e atribuídas a responsáveis, contribuindo para uma gestão eficaz e a realização dos objetivos estabelecidos, como a redução de custos de produção e a melhoria da eficiência.

Quadro 3: Plano de ação do processo de corte laser

Nº	INDICADOR	AÇÃO	MOTIVO	RESPONSÁVEL	STATUS
1	Disponibilidade	Disponibilizar empilhadeira para turno da madrugada	Não há movimentador disponível no turno e operador da máquina é habilitado para efetuar a movimentação	Coordenador logístico	Prazo: 11/08 Concluída sem atraso
2	Disponibilidade	Priorizar atendimento para a máquina nos dois primeiros turnos	Máquina crítica para pontualidade geral da fábrica, divide empilhadeira com outros processos	Lider de logística	Prazo: 04/08 Concluída sem atraso
3	Disponibilidade	Deixar fardos de chapas organizados por programa de corte	Facilitar identificação para reduzir tempo de procura para movimentação	Lider de produção	Prazo: 04/08 Concluída sem atraso
4	Disponibilidade	Ajustar programas para evitar falhas dimensionais	Furações internas com variações dimensionais gerando paradas de máquina	Técnico de processos/ Programador	Prazo: 11/08 Concluída sem atraso
5	Disponibilidade	Criar corpo de prova para furações que necessitam pnp	Evitar que peça seja cortada com não conformidade	Técnico de processos/ Programador	Prazo: 11/08 Concluída sem atraso
6	Disponibilidade	Disponibilizar bandeja para sucata debaixo da mesa de corte para facilitar limpeza da máquina	Sucatas provenientes do corte caem no chão após troca de mesa	Gestor de projeto	Prazo: 30/08 Em atraso Bandeja provisória instalada em 12/08 Entrega bandeja definitiva agendada para 10/12
7	Disponibilidade	Realizar treinamento de manutenção autônoma	Padronização da limpeza da máquina	Analista de sistema de gestão	Prazo: 15/08 Concluída sem atraso
8	Disponibilidade	Criar cronograma escalonado por turno	Limpezas diárias com maior tempo de execução devem ser realizadas com intercalação de turnos	Lider de produção	Prazo: 11/08 Concluída em atraso em 30/08
9	Disponibilidade	Instalação de carro para troca de chapas	Carro para troca de chapas será instalado para evitar atraso por movimentações logísticas	Técnico civil/ Ferramentaria	Em andamento Entrega programada para 30/11
10	Disponibilidade Performance	Ajustar tabelas de corte no software	Programas sendo gerados com tabelas de corte incorretas	Técnico de processos/ Programador	Prazo: 04/08 Concluída sem atraso
11	Performance Qualidade	Criar instrução de trabalho padronizado e treinar operadores	Não há instrução de trabalho	Técnico de processos	Prazo: 31/08 Concluída sem atraso
12	Performance	Instalação de talha reserva	Apenas uma ponte para movimentação de peças e sucata	Gestor de projeto	Prazo: 15/08 Concluída sem atraso
13	Performance	Disponibilizar um auxiliar para o processo em cada turno	Mostrou-se necessário ao menos 3 pessoas na máquina	Coordenador de produção	Prazo: 31/08 Concluída sem atraso
14	Performance	Treinamento quanto a parâmetros (operadores, técnico e programador) - EXTERNO	Operadores receberam apenas treinamento quanto a operação da máquina	Gestor de projeto	Prazo: 23/08 Concluída sem atraso
15	Performance	Controle diário dos apontamentos de produção	Apontamentos errados	Lider de produção	Prazo: 02/08 Concluída sem atraso
16	Performance	Revisar tempo de cadastro de todas as peças	Tempos com variações despadronizadas - padronizar para 10%	Técnico de processos	Em andamento Entrega programada para 15/11
17	Qualidade	Desenvolver método de mensurar retrabalho e processamento posterior para indicador de qualidade	Mensurado apenas sucata	Técnico de processos	Em andamento Entrega programada para 14/12
18	Qualidade	Ministrar treinamento sobre apontamento de setup, plano de controle e critérios de qualidade	Equipe desconhece os critérios	Técnico de processos	Prazo: 25/08 Concluída sem atraso

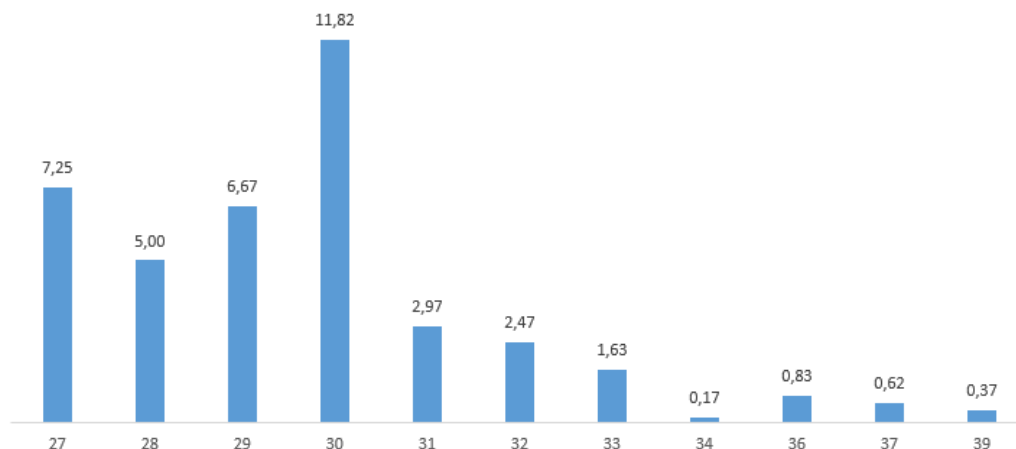
Fonte: Elaborado pelo autor, 2023

No plano de melhoria representado pelo quadro 3, as nove primeiras ações se referem especificamente a disponibilidade de máquina. Essas medidas buscam otimizar a operação, minimizando os tempos de parada e garantindo que a máquina esteja sempre pronta para produzir. As ações que se concentram na disponibilidade incluem desde a alocação de recursos, como a disponibilização da empilhadeira no turno da madrugada, até a organização dos materiais e a revisão dos programas para evitar falhas dimensionais. Além disso, a padronização de procedimentos, a criação de cronogramas escalonados e a instalação de equipamentos logísticos, como o carro para troca de chapas, desempenham um papel fundamental na redução de atrasos e interrupções não planejadas.

Na primeira ação foi definido a necessidade da disponibilização de uma empilhadeira para movimentações de abastecimento e retirada de peças no centro de trabalho estudado. Foi notado que as incidências das paradas por motivos logísticos tendiam a ser maiores nos turnos noturnos, principalmente durante a madrugada. Desta forma, foi definido que seria disponibilizada a empilhadeira para o processo de corte laser e essa seria operada pelo operador principal da máquina assim que qualificado, de modo que enquanto os auxiliares se responsabilizam pela retirada das peças cortadas, o operador faz a movimentação necessária para o abastecimento do material para o próximo programa de corte.

Da mesma forma que a primeira ação contribuiu em eficiência logística, a segunda ação definiu a necessidade de priorização do processo de corte laser quanto a atendimento da empilhadeira. Visto que a nova máquina se tornou o gargalo da unidade, foi necessário que a empilhadeira se mantivesse sempre à postos para subir as peças fabricadas ao estoque o mais rápido possível, para que essas peças pudessem ser disponibilizadas para os processos para que fossem finalizadas e vendidas dentro do prazo definido junto ao cliente.

Ainda seguindo a linha de raciocínio em eficiência logística, foi definida uma pessoa para cada turno para se responsabilizar pela separação de material. Assim, o operador de empilhadeira apenas retiraria o material já separado e o levaria para a máquina de acordo com o sequenciamento definido no início do turno. O conjunto dessas três ações foram fundamentais para a redução dos tempos de parada por motivos logísticos, como representado no gráfico 13.

Gráfico 13: Evolução semanal das paradas por questões logísticas (em horas)

Fonte: Elaborado pelo autor, 2023

A evolução semanal dos tempos de parada na máquina por motivos logísticos revelou resultados desafiadores nas semanas iniciais, com tempos de parada significativos atingindo 7,25 horas na semana 27. Esses primeiros registros apontavam para desafios substanciais em relação à disponibilidade da máquina. A situação se agravou ainda mais na semana 30, quando o tempo de parada por esse motivo chegou a 11,82 horas. No entanto, a partir da semana 31, onde começaram a ser tomadas as medidas planejadas, notou-se uma mudança notável. Com a implementação das ações de melhoria, a tendência de tempos de parada elevados começou a se inverter. As semanas 31 a 34 testemunharam uma diminuição constante nos tempos de parada, indicando que as melhorias estavam começando a produzir resultados positivos. O tempo de parada foi reduzido para 2,97 horas na semana 31, 2,47 horas na semana 32 e, finalmente, para meros 0,17 horas na semana 34.

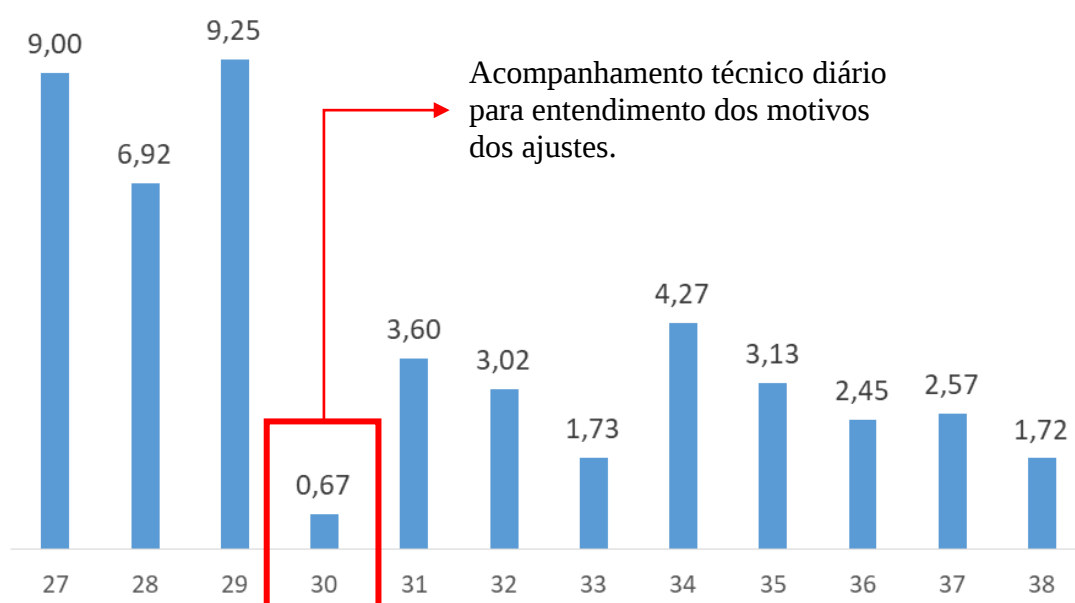
A partir daí, nas semanas 36 a 39, os tempos de parada permaneceram consistentemente baixos, variando de 0,17 a 0,83 horas. Essa evolução positiva, após um período inicial desafiador, reflete claramente o sucesso das ações de melhoria implementadas. Elas tiveram um impacto significativo na disponibilidade da máquina, levando a uma operação mais eficiente e consistente. Esse progresso é uma evidência da eficácia do plano de ação e sua contribuição para o alcance dos objetivos de otimização da disponibilidade da máquina laser.

A ação 4 definida no plano se refere aos ajustes necessários nos programas de corte, a fim de evitar falhas dimensionais. Ocorre que parte dos desenhos das

peças estavam com compensações ativas que se faziam necessárias para os processos de corte anteriores à aquisição da máquina. Além disso, para furações menores, que se fazia necessária utilização do instrumento de passa-não-passa para aferição 100%, foi percebido grande incidência de falhas dimensionais torando as furações menores. Após estudo foi validado que dentro do software havia uma compensação ativa de 0,45mm, fazendo com que todas as furações acabassem por ficar fora do especificado. Todos os pontos foram levantados em um acompanhamento feito junto a máquina na semana 30 e solucionados ao longo da semana seguinte.

Além disso, fora tomada a ação de número 5 e criado corpos de prova para todas furações controladas. Sendo assim, antes do corte iniciar na peça propriamente dita, é cortado um *setup* de furos, onde o operador pode aferir e ajustar os parâmetros para atendimento das especificações sem que gere não-conformidades na peça final. Essa ação contribui positivamente não só para melhoria do processo como redução da probabilidade de sucata por dimensionais fora do especificado, quando furos são cortados acima do limite superior e no retrabalho, quando cortados abaixo do limite inferior. Essas duas ações somadas apresentam um resultado positivo quando analisado o gráfico de paradas de máquina por ajuste de programa.

Gráfico 14: Evolução semanal das paradas por ajuste de programa (em horas)



Fonte: Elaborado pelo autor, 2023

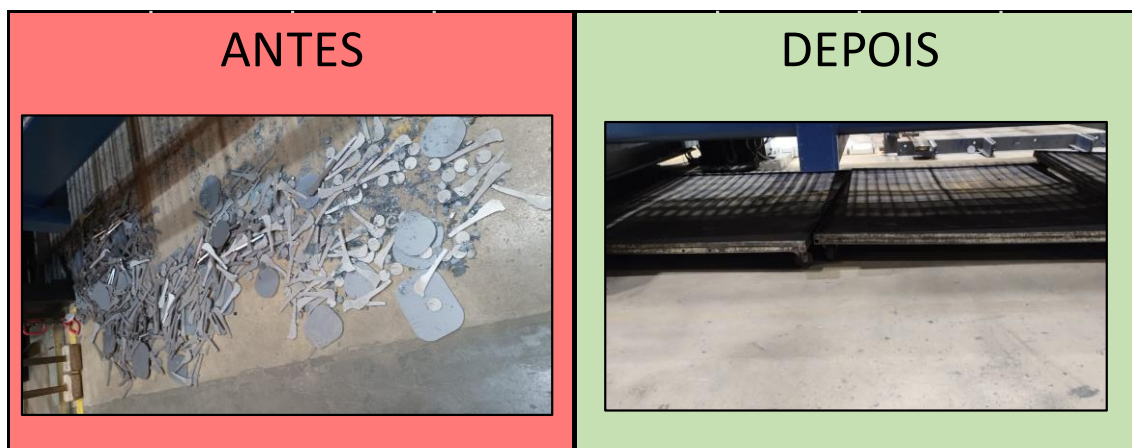
Durante a semana de acompanhamento técnico no processo, ficou evidente que havia uma ineficiência operacional significativa. A principal observação foi o alto número de paradas da máquina para verificações de peças, nas quais não eram seguidos procedimentos adequados. Isso resultava em atrasos maiores do que o necessário, afetando negativamente a produtividade. Além disso, foi constatado que várias dessas paradas não eram devidamente registradas no diário de bordo da máquina, o que gerava um impacto na performance da máquina ao invés de impactar na disponibilidade. Essas paradas não registradas não eram devidamente documentadas, tornando difícil identificar problemas recorrentes e tomar medidas corretivas eficazes.

A partir da semana de acompanhamento, observou-se uma notável redução média de mais de 50% no tempo de parada semanal, demonstrando uma tendência constante de melhoria. Entretanto, um ponto de destaque é a semana 34, que se apresenta como um ponto fora da curva. Nessa semana específica, embora o tempo de parada por ajuste de programa tenha aumentado para 4,27 horas, o resultado ainda é muito positivo quando comparado ao cenário inicial.

Isso indica que, mesmo considerando um breve aumento no tempo de parada em uma semana isolada, o progresso global na otimização do processo de ajuste de programa permanece substancial. A tendência geral é de redução consistente, e a semana 34 não compromete o sucesso das ações de melhoria implementadas. Elas continuam a contribuir para a eficiência da máquina laser em comparação com o cenário inicial, destacando o impacto positivo dessas medidas ao longo do período de análise.

A ação de número 6 no plano é a instalação de uma bandeja abaixo da mesa da máquina, com o propósito de facilitar a remoção de sucatas e peças que possam cair entre as grelhas. Além disso, essa ação visa reduzir o tempo necessário para a limpeza da máquina e minimizar os riscos ergonômicos ao operador. No entanto, devido a atrasos no projeto da bandeja definitiva, foi decidido implementar como medida paliativa a instalação de bandejas provisórias. Essa medida visa garantir a melhoria imediata das condições de trabalho e a otimização do processo, enquanto ainda não é concluído o projeto da bandeja definitiva.

Figura 15: Antes e depois das bandejas de remoção de sucata



Fonte: Elaborado pelo autor, 2023

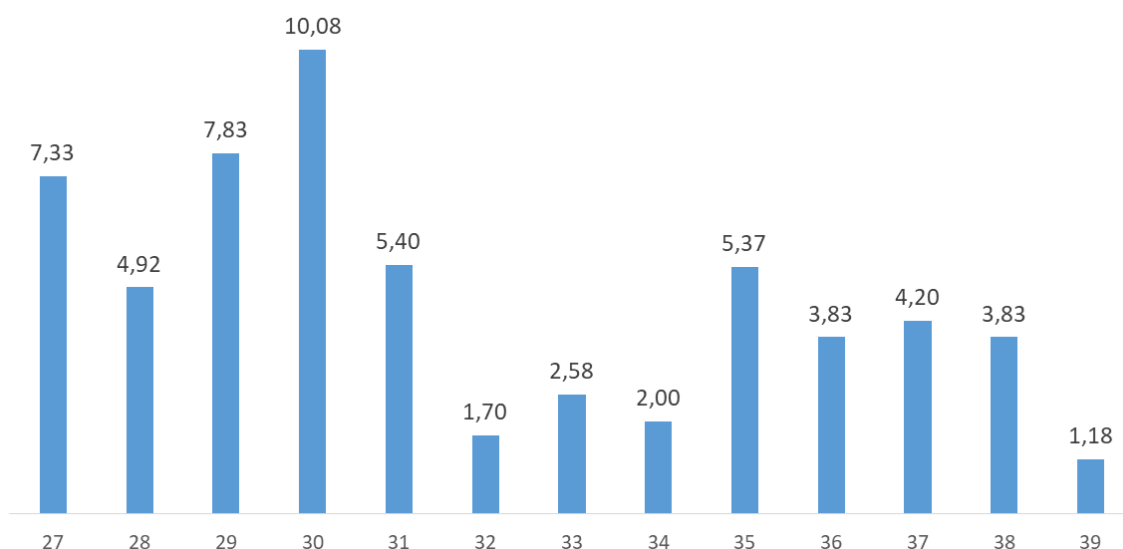
Na ação de número 7, foi estabelecido o treinamento operacional para o time na área de manutenção autônoma (verificar apêndice A). Apesar de a máquina já estar incluída no programa de manutenção preventiva total (TPM), o treinamento de manutenção autônoma tem um papel fundamental ao instruir os operadores sobre os pontos de atenção específicos relacionados à máquina. Além disso, esse treinamento fornece um guia passo a passo, indicando o que os operadores devem realizar para assegurar a sustentabilidade do equipamento, bem como a frequência com que essas ações devem ser executadas. Essa medida contribui não apenas para a eficácia da operação da máquina, mas também para o aumento da vida útil e a redução de paradas não programadas.

Após concluído o treinamento e definição dos itens, foi elencado a limpeza das grelhas da máquina como necessidade diária. Assim sendo, ação de número 8 prevê a criação de um cronograma estruturado para que a cada dia um turno se responsabilize por essa limpeza. Este ponto além de facilitar o trabalho e reduzir o tempo de limpeza, evita que o tópico de limpeza de grelhas seja ignorado, gerando sujeira e complicações no processo de corte devido ao estado da grelha, como visto na primeira imagem da figura 16.

Figura 16: Limpeza das grelhas

Fonte: Elaborado pelo autor, 2023

As ações 6, 7 e 8 do plano de melhoria tiveram um impacto positivo no indicador de parada por limpeza da máquina laser. A instalação da bandeja provisória abaixo da mesa da máquina facilitou a remoção de sucatas e peças, reduzindo o tempo de limpeza e contribuindo para a disponibilidade da máquina. O treinamento em manutenção autônoma instruiu os operadores sobre como manter a máquina, reduzindo paradas não programadas relacionadas à manutenção. Além disso, o cronograma estruturado de limpeza garantiu que a limpeza das grelhas fosse realizada de forma consistente, evitando complicações no processo de corte. Em conjunto, essas ações resultaram em uma significativa redução do indicador de parada por limpeza, melhorando a eficiência e a disponibilidade da máquina.

Gráfico 15: Evolução semanal das paradas em horas por limpeza e organização

Fonte: Elaborado pelo autor, 2023

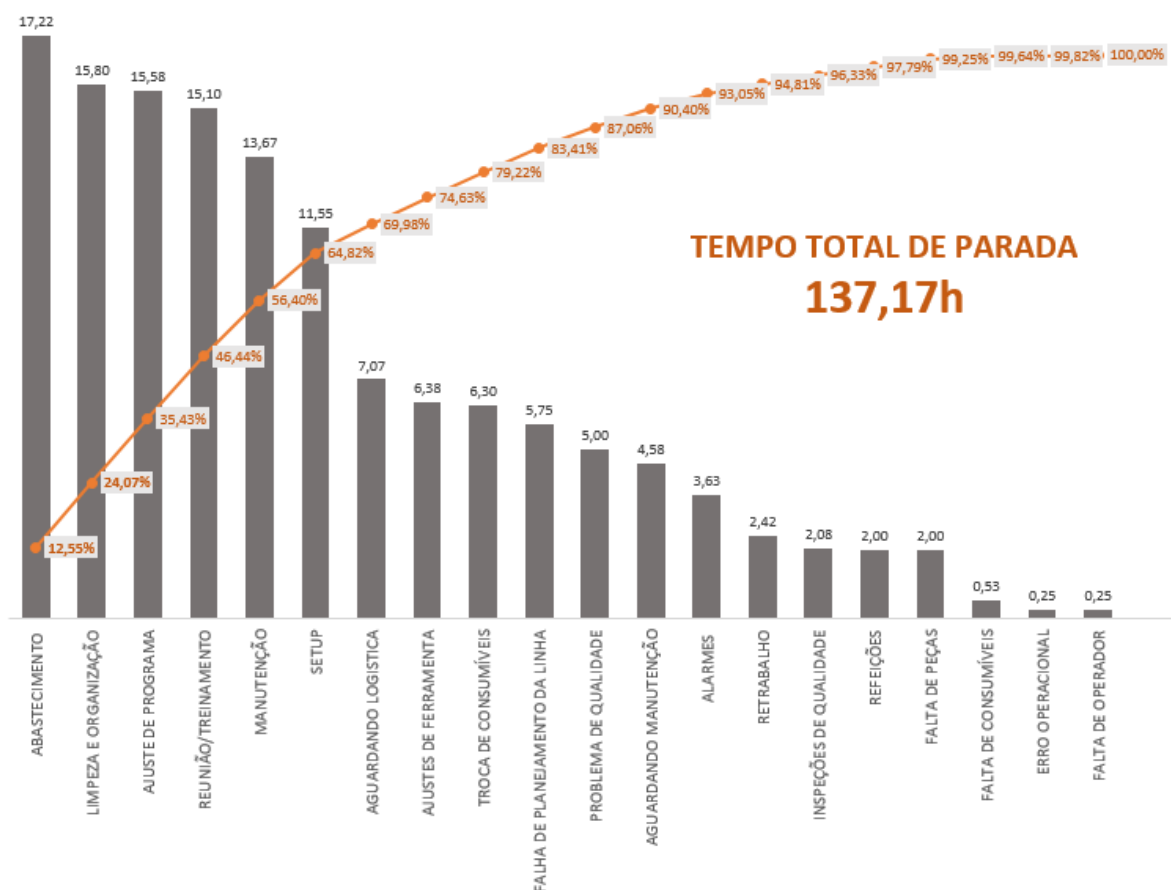
Analisando os dados apresentados, se observa uma clara melhoria nos indicadores da máquina laser a partir da semana 31, quando as melhorias começaram a ser implementadas. Nas semanas 27 a 30, os tempos de parada foram consideravelmente altos, atingindo um pico de 10,08 horas na semana 30. No entanto, a partir da semana 31, houve uma tendência de redução constante nos tempos de parada, indicando que as ações de melhoria estavam produzindo resultados positivos.

A partir da semana 32, os tempos de parada apresentaram uma queda significativa, com exceção da semana 35, que teve um ligeiro aumento. No entanto, em comparação com os tempos iniciais, essa variação ainda representa uma melhoria substancial. A partir da semana 35, os tempos de parada se estabilizaram em níveis mais baixos, variando entre 1,18 e 5,37 horas. Esses resultados destacam o impacto positivo das ações de melhoria implementadas a partir da semana 31, que significativamente aprimoraram a eficiência da máquina laser, reduzindo os tempos de parada e melhorando sua disponibilidade. Esse progresso é essencial para atingir metas de produção e eficiência, contribuindo para um ambiente de trabalho mais produtivo e eficaz.

Ao final de agosto, foi notável a transformação que ocorreu nas operações da empresa. O Pareto das paradas de máquina (conforme ilustrado no gráfico 16) apresenta resultados excepcionais. O tempo gasto em atividades de limpeza diminuiu

substancialmente, registrando uma redução notável de 50%. Os ajustes nos programas de corte, que antes consumiam uma parte significativa do tempo de produção, foram reduzidos em impressionantes 39,7%. Além disso, as paradas relacionadas à logística, que anteriormente eram uma fonte constante de interrupções, tiveram uma queda notável de 77,5%.

Gráfico 16: Pareto do mês 8 dos tempos de parada em horas



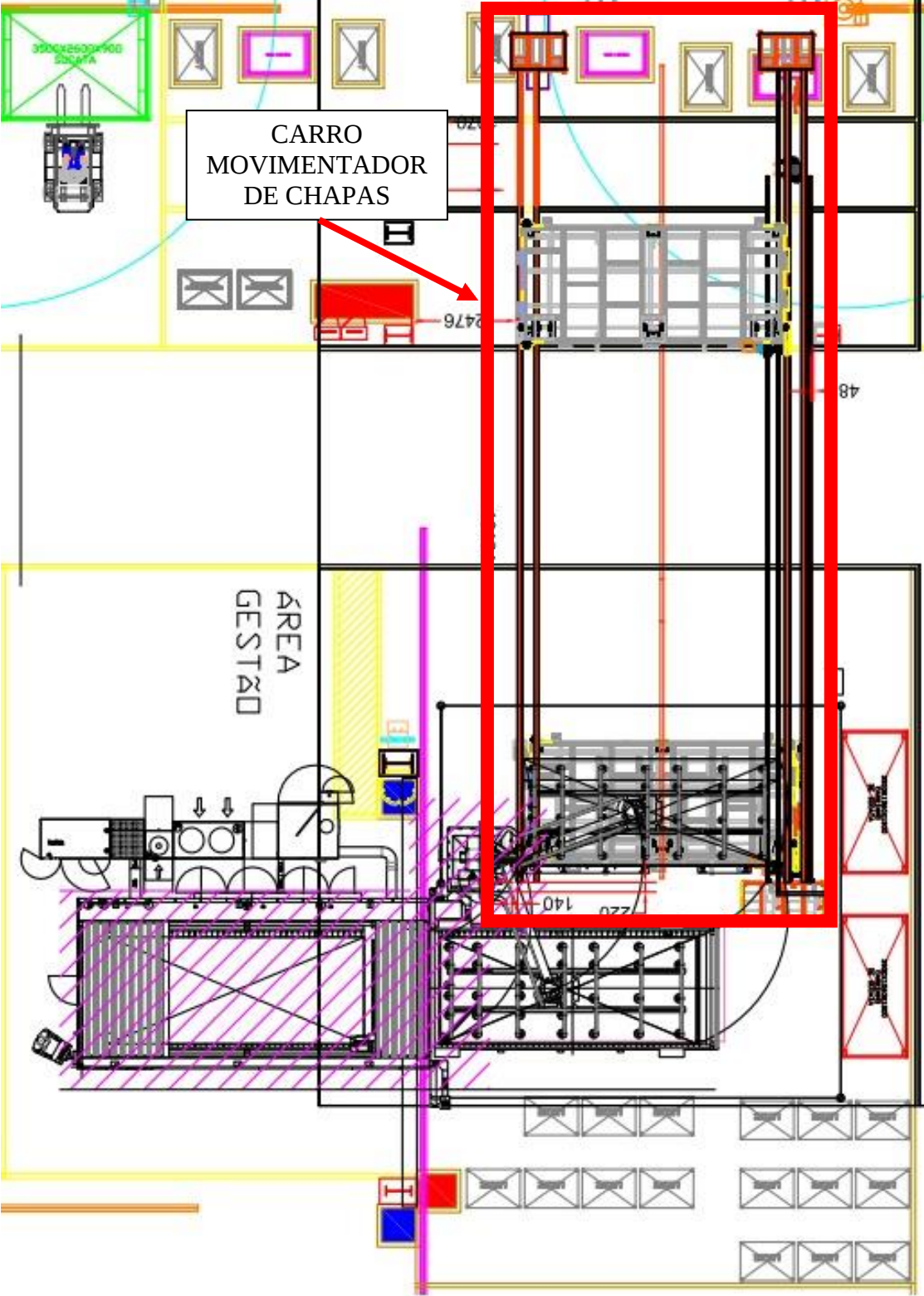
Fonte: Elaborado pelo autor, 2023

De forma mais ampla, o tempo de parada total da máquina foi reduzido em 20,33%, representando uma melhoria significativa na eficiência operacional. Esses resultados não apenas comprovam o êxito das ações implementadas, mas também ressaltam o impacto extremamente positivo dessas melhorias no desempenho geral

da empresa. A redução dos tempos de parada permitiu um aumento da produção, maior confiabilidade nos indicadores e uma considerável economia de recursos, o que se traduz em benefícios econômicos e operacionais para a organização. Além disso, nesse novo cenário, existe uma maior distribuição nos tempos de paradas entre os motivos dos mesmos, mostrando a redução da concentração de um tempo excessivo em apenas duas ou três causas.

A ação 9 do plano é a instalação do carro transportador de chapas. Essa ação estava prevista desde o início do projeto de instalação da máquina, porém teve uma alteração em suas datas de início e fim. A obra para instalação do carro movimentador iniciou no dia 18/09 e tem previsão de entrega para 30/11. Devido ao início da obra os indicadores pertinentes ao OEE sofreram distorções, por conta de impactarem diretamente o funcionamento da máquina, sendo necessárias paradas para que possa ser dado andamento em determinadas etapas. O novo *layout*, após o término da instalação está explanado na figura 31.

Figura 17: Layout futuro do posto de trabalho



Fonte: Elaborado pelo autor, 2023

A instalação do movimentador de chapas tem um impacto direto e significativo na disponibilidade e no desempenho da máquina. Isso ocorre porque o movimentador permite a utilização eficiente de todo o espaço da mesa de corte, que possui dimensões de 2,8m x 6m. Além disso, o funcionamento do movimentador é bastante simples: ele consiste em duas mesas que operam de forma intercalada. Enquanto a máquina está executando o programa A, uma mesa se encontra na zona de abastecimento da máquina, carregada com material do programa B, enquanto a outra está na zona de abastecimento de chapas, pronta para receber o material do programa C. Essa abordagem otimizada melhora significativamente a eficiência operacional da máquina.

Na décima ação do plano está elencada a necessidade de revisão das tabelas de corte para diferentes chapas. Durante um estudo conduzido no dia 02/08 foi notado que estavam sendo utilizadas tabelas com tecnologias inferiores ou com tempo de processamento maior para diferentes espessuras de chapas. Além disso, voltado para a questão de qualidade, foi pontuado que chapas de 9,5mm de espessura que passavam pelo processo de jato de gralha estavam indevidamente sendo cortadas com nitrogênio como gás de assistência, não garantindo o perfil de corte adequado. Essa situação também foi revisada e alterado o gás de assistência para oxigênio.

Os ganhos com as alterações das tabelas de corte não puderam ser mensurados neste estudo pela carência da empresa de um indicador de retrabalho na área de corte. O impacto dessas alterações está diretamente ligado a situações como corte serrilhado, rebarba, entre outros problemas que devem ser identificados e retrabalhados pelos operadores. Dessa forma, notou-se durante os dias que se seguiram uma melhora na qualidade do corte, bem como na produtividade pela redução do tempo de *setup* e aumento da velocidade no corte com as tabelas adequadas, além de redução das trocas manuais das tabelas de corte que impactavam no motivo de parada “ajuste de programa”.

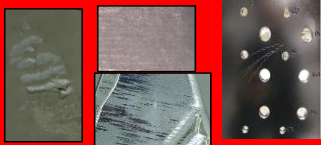
A ação de número 11 representa um passo fundamental no processo de melhoria da eficiência na máquina laser. Consistia na elaboração de uma instrução de trabalho padronizado e abrangente para o posto de trabalho, englobando todos os processos necessários para a produção de qualquer item cortado na máquina. Esse documento será um guia completo que orientará os operadores e a equipe no desempenho de suas funções, garantindo que todas as etapas sejam executadas de maneira uniforme e consistente.

Essa padronização é crucial para a manutenção da qualidade e eficiência da produção, uma vez que define as melhores práticas, procedimentos e critérios de qualidade a serem seguidos. Além disso, a instrução de trabalho também inclui informações sobre a manutenção preventiva da máquina, como guia de testes a serem feitos pelos operadores para garantir integridade da máquina e garantindo que a operação seja sustentável a longo prazo. Portanto, a ação 11 visava criar uma base sólida para a operação eficiente da máquina, contribuindo para a otimização dos processos e o alcance das metas de qualidade e produtividade estabelecidas.

Figura 18: Recorte da Instrução de Trabalho – 1

1

INSPEÇÃO DE CONTAMINANTES/AVARIAS NA MATÉRIA-PRIMA

DESCRIÇÃO DO CONTAMINANTE	AÇÃO CORRETIVA	DESCRIÇÃO DO CONTAMINANTE	AÇÃO CORRETIVA
CHAPA OXIDADA 	REMOVER OXIDAÇÃO COM LIXADEIRA ELÉTRICA OU PNEUMÁTICA (TREME TREME).	ETIQUETA ADESIVA DE IDENTIFICAÇÃO NAS CHAPAS OU SIMILARES 	REMOVER ETIQUETA. SE NECESSÁRIO, COM AUXÍLIO DE LIXADEIRA
TINTA DE MARCADOR INDUSTRIAL OU SIMILARES 	SEGREGAR MATERIAL NÃO CONFORME NA ÁREA DE CONTENÇÃO E EFETUAR RETRABALHO.	DEFEITOS NA CHAPA(ESFOLIAMENTO, ESTRIAS, MARCAS DE ESCOVA, RISCOS, DEPRESSÕES). 	SEGREGAR LOTE E CHAMAR ÁREA DE APOIO CFME BT 0018
FEZES DE AVES	REMOVER DETRITOS COM AUXÍLIO DE PANO		



ATENÇÃO

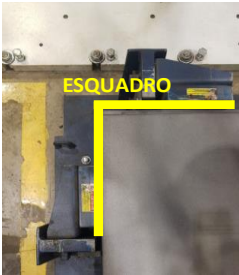
DIVISÃO DE FARDOS DE FORMA INCORRETA CAUSANDO RISCOS PROFUNDOS NAS CHAPAS.

2

(SETUP) PREPARAR MÁQUINA CONFORME PROCEDIMENTOS ABAIXO

▶ ATENTAR AO CORRETO POSICIONAMENTO DAS CHAPAS NA ÁREA DE ABASTECIMENTO DO LOADMASTER PARA GARANTIR O ESQUADRO DA CHAPA QUANDO POSICIONADA NA MESA.

ESQUADRO



LIMITE



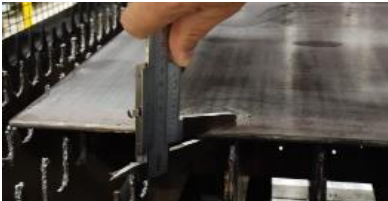
POSIÇÃO NA MESA



▶ ANTES DE INICIAR O CORTE MEDIR ESPESSURA, COMPRIMENTO E LARGURA CONFORME O PROGRAMA DE CORTE SELECIONADO (MEDIR PRIMEIRA CHAPA DE CADA FARDO, CONFORME DESCRIÇÕES A SEGUIR).

▶ REALIZAR MEDIÇÃO TRANSVERSAL DE CHAPAS, PARA IDENTIFICAR A PRESENÇA DE CHAPA FORA DO ESQUADRO.

MEDIÇÃO DA ESPESSURA DA CHAPA COM PAQUÍMETRO



MEDIÇÃO DA LARGURA E COMPRIMENTO DA CHAPA COM TRENA RESOLUÇÃO 1MM



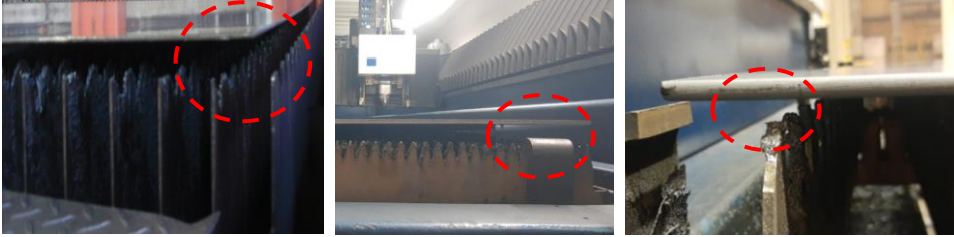
VERIFICAR CÓDIGO CORRETO DO MATERIAL CONFORME PACOTE/RPP. MEDIR A ESPESSURA E DIMENSÕES DA CHAPA CONFORME IMAGENS.

Na primeira fase da instrução, destaca-se a necessidade de realizar uma inspeção minuciosa do material recebido, visando prevenir não conformidades e preservar a integridade da máquina de corte laser. Esta inspeção abrange a verificação de etiquetas, a identificação de sinais de oxidação, empenamento, riscos, entre outros. O objetivo é assegurar que a chapa destinada ao corte esteja em condições adequadas. Na segunda fase, a atenção volta-se para a disposição do material na área de carregamento. São fornecidas orientações precisas para a medição da espessura, comprimento e largura, bem como a verificação do esquadro.

Esses procedimentos são fundamentais para a preparação adequada do material, visando evitar possíveis anomalias durante o processo de corte. Ao seguir rigorosamente essas diretrizes, busca-se garantir não apenas a eficácia do processo de corte, mas também a prevenção de problemas potenciais associados à qualidade do material utilizado. Essa abordagem cuidadosa contribui para a integridade do trabalho e a obtenção de resultados consistentes no contexto da operação da máquina de corte laser.

Figura 19: Recorte da Instrução de Trabalho – 2

► VERIFICAR POSSÍVEL EMPENAMENTO DAS CHAPAS - EMPENAMENTO GERA RISCO DE COLISÃO DO CABEÇOTE DA MÁQUINA COM A PEÇA E RISCO DE CORTE FORA DO DIMENSIONAL.



CASO SEJA IDENTIFICADO EMPENAMENTO DA CHAPA, A MESMA DEVE SER SEGREGADA E IDENTIFICADA COM FICHA AMARELA PADRÃO PT0010. ACIONAR A LIDERANÇA PARA QUE SEJA DADA TRATATIVA PARA O MATERIAL

IMPORTANTE !!

ANTES DE INICIAR O PROGRAMA, VERIFICAR SE ALGUM ITEM DO PACOTE SOLICITA MARCAÇÃO LEVE OU PROFUNDA E AJUSTAR OS PARÂMETROS PARA A CORRETA MARCAÇÃO CONFORME NECESSIDADE. CASO SEJA MARCAÇÃO PROFUNDA, VERIFICAR SE ESTÁ PROGRAMADO PARA FAZER A MARCAÇÃO DE TODAS AS PEÇAS DA CHAPA ANTES, PARA DEPOIS EXECUTAR O CORTE (SE NÃO ESTIVER DE ACORDO, PEDIR PARA PROGRAMAÇÃO A LASER AJUSTAR).

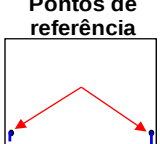
QUALQUER AJUSTE NO PROGRAMA DE CORTE DEVE SER REALIZADO POR UM OPERADOR QUALIFICADO E TREINADO.

► REGULAR A MÁQUINA OBSERVANDO SEMPRE SE A MESMA ESTÁ REALIZANDO A LEITURA CORRETA DA CHAPA E SE OS PARÂMETROS ESTÃO OK.
► VERIFICAR E AJUSTAR QUANDO NECESSÁRIO, OS PARÂMETROS DE CORTE CONFORME ANEXO "A", A FIM DE GARANTIR A QUALIDADE E PERFORMANCE EXIGIDA, EM ESPECIAL EM FUROS DE DIMENSÕES PRÓXIMA AO VALOR DA ESPESSURA.

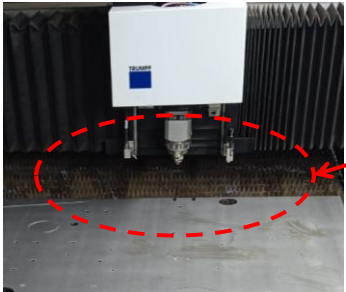
MÁQUINA REALIZANDO LEITURA DA CHAPA PARA CRIAR REFERÊNCIA



Pontos de referência



► VERIFICAR SE A PEÇA ENCONTRA-SE CONFORME O DESENHO (FURAÇÃO COMPLETA E CORTE COMPLETO).
► EFETUAR A INSPEÇÃO CONFORME PLANO DE CONTROLE E REGISTRAR O SETUP NO COCKPIT DE PRODUÇÃO



ATENÇÃO
DURANTE O CORTE CONFERIR SE A MÁQUINA SEGUE O DESENHO CFM PACOTE OU SE ESTÁ CORTANDO FORA DA CHAPA (CASO O CORTE ESTEJA FORA DA CHAPA O PROCESSO DEVE SER ENCERRADO E ACIONADA A CADEIA DE AJUDA)

Fonte: Elaborado pelo autor, 2023

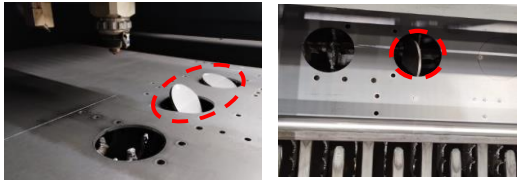
Após a análise do material na segunda etapa da instrução, ressalta-se a importância de verificar potenciais empenamentos evidenciados após a disposição na

mesa, com o objetivo de prevenir colisões do cabeçote da máquina. Além disso, orienta-se a assegurar que a máquina realizou a leitura correta, verificando se o corte está sendo executado dentro dos limites da chapa e se as gravações, quando aplicáveis, estão sendo feitas de maneira adequada. Esses cuidados adicionais buscam garantir a precisão e a conformidade das operações, minimizando a ocorrência de erros ou falhas no processo de corte a laser.

Figura 20: Recorte da Instrução de Trabalho – 3

► VERIFICAR A EXISTÊNCIA DE MICROJUNTAS OU NANOJUNTAS NAS PEÇAS E SUCATAS PARA QUE SEJA EVITADO O RISCO DE COLISÃO.

EXEMPLO SEM MICRO/NANOJUNTAS

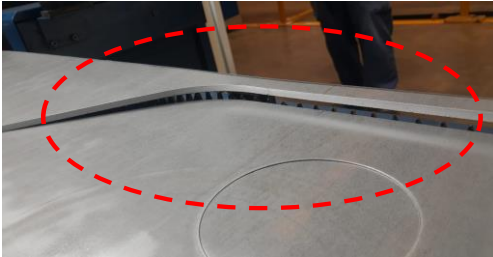


EXEMPLO COM MICRO/NANOJUNTAS



3 INFORMAÇÕES IMPORTANTES PARA A PRODUÇÃO DAS PEÇAS

► DURANTE O CORTE VERIFICAR SE O MATERIAL (CHAPA) NÃO ESTÁ EMPENANDO DEVIDO AO AQUECIMENTO, OU SE A PEÇA NÃO ESTÁ PARA CIMA DA CHAPA, ISSO PODE CAUSAR A COLISÃO DO CABEÇOTE DA MÁQUINA E COMPROMETER A QUALIDADE DE CORTE.



CÓPIA CONTROLADA

RV00

DATA:

02/10/2023

► NUNCA PARAR A MÁQUINA ANTES DE FINALIZAR O CORTE DE UMA PEÇA PARA VERIFICAR SE ESTÁ CORTANDO BEM, PARA INSPEÇÃO, TROCA DE TURNO OU DESLIGAMENTO DA MESMA.

► APENAS ACIONAR A TECLA PAUSA DEPOIS QUE A PEÇA CORTAR POR COMPLETO. 

► EM CASO DE QUEDA DE ENERGIA, RESET DA MÁQUINA, ALARME QUE SE SUCEDER DURANTE O CORTE, COLISÃO OU QUALQUER OUTRA CAUSA PARA PARADA DE MÁQUINA; MARCAR A PEÇA EM QUE HOUVE A PARADA E COMPARAR O COM O DESENHO VERIFICANDO PERFIL E FURAÇÕES, APÓS ISSO EFETUAR INSPEÇÃO CFM PLANO DE CONTROLE.

4 ARÉA DE SEPARAÇÃO E EMBALAMENTO DAS PEÇAS

► SE NECESSÁRIO, UTILIZAR MARTELO DE MADEIRA PARA DESTACAR AS PEÇAS COM MICRO/NANOJUNTAS DA CHAPA.

Caso esteja difícil efetuar a remoção das peças, comunicar área de apoio para ajuste das micro/nanojuntas afim de não ser necessário utilizar força excessiva



Ainda na segunda fase da orientação, orienta-se a verificação cuidadosa de microjuntas ou nanojuntas nas peças e sucatas, visando evitar colisões durante a operação da máquina de corte e, assim, preservar a integridade do cabeçote, o que impacta diretamente na qualidade do processo de corte. Já na terceira etapa, durante o corte, instrui-se a monitoração atenta do material (chapa) em busca de sinais de empenamento causados pelo aquecimento. Além disso, recomenda-se garantir que a peça não esteja acima da chapa, prevenindo colisões do cabeçote que poderiam prejudicar a qualidade do corte. A prática sugerida é não interromper a máquina antes de concluir o corte de uma peça para inspeção, troca de turno ou desligamento, acionando a pausa somente após o término total do corte.

Em casos de situações adversas, como queda de energia, *reset* da máquina, alarmes durante o corte, colisões ou outras causas de parada, instrui-se a marcação da peça onde ocorreu a interrupção. Posteriormente, essa peça deve ser comparada com o desenho, verificando perfil e furações, seguida por uma inspeção de acordo com o plano de controle estabelecido.

Na quarta fase, caso seja necessário destacar as peças com micro/nanojuntas da chapa, sugere-se o uso de um martelo de madeira. Se a remoção das peças estiver difícil, orienta-se comunicar a área de apoio para ajustes das micro/nanojuntas, evitando o uso excessivo de força e preservando a integridade do material. Essa abordagem visa garantir uma manipulação cuidadosa das peças, mantendo a qualidade e eficácia do processo.

Figura 21: Recorte da Instrução de Trabalho – 4

► REALIZAR MOVIMENTAÇÃO DAS PEÇAS COM A PONTE SEMPRE QUE NECESSÁRIO

01

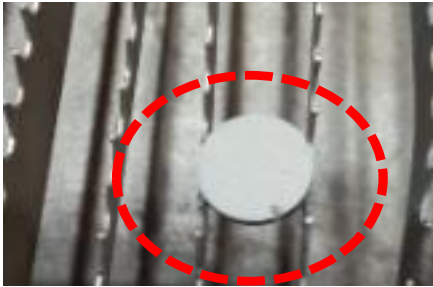


02



MOVIMENTAÇÃO COM AUXÍLIO DO IMÃ ALÉM DE GARANTIR A INTEGRIDADE DO OPERADOR, GARANTE QUE AS PEÇAS NÃO RISCHEM POR SEREM MOVIMENTADAS EM CONTATO COM AS GRELHAS

► VERIFICAR SE TODA SUCATA FOI REMOVIDA DA MESA ANTES DE REABESTECE-LA COM UMA NOVA CHAPA



Abastecimento da chapa por cima de pequenas sucatas acarreta na posição inadequada da chapa sobre a mesa, podendo gerar não-conformidades no corte e colisões do cabeçote

► DISPOR APENAS 1 PART-NUMBER POR EMBALAGEM, EVITANDO ASSIM PROBLEMAS DE QUALIDADE NAS OPERAÇÕES SEGUINTE.

► TER O MÁXIMO DE CUIDADO NO MANUSEIO DAS PEÇAS AO COLOCÁ-LAS NA EMBALAGEM E MOVIMENTAR INTERNAMENTE, PARA EVITAR POSSÍVEIS PROBLEMAS COMO MARCAS, RISCOS, DEFORMAÇÕES, AMASSAMENTOS, QUEDAS DE EMBALAGENS, QUE AFETARÃO A QUALIDADE DAS MESMAS.

► PEÇAS COM MICRO JUNTAS OU NANO JUNTAS DEVEM PASSAR POR INSPEÇÃO 100% PARA GARANTIR QUE TODAS SEJAM RETIRADAS, EM CASO DE DIFICULDADES UTILIZAR LIMA OU LIXADEIRA ELÉTRICA.

IMPORTANTE !!

- SEGUINDO CORRETAMENTE A SEQUÊNCIA DESTA INSTRUÇÃO, EVITA-SE QUE PEÇAS REPROVADAS SEJAM ENVIADAS AO CLIENTE. ASSIM SATISFAZEMOS O CLIENTE MOSTRANDO NOSSA QUALIFICAÇÃO.

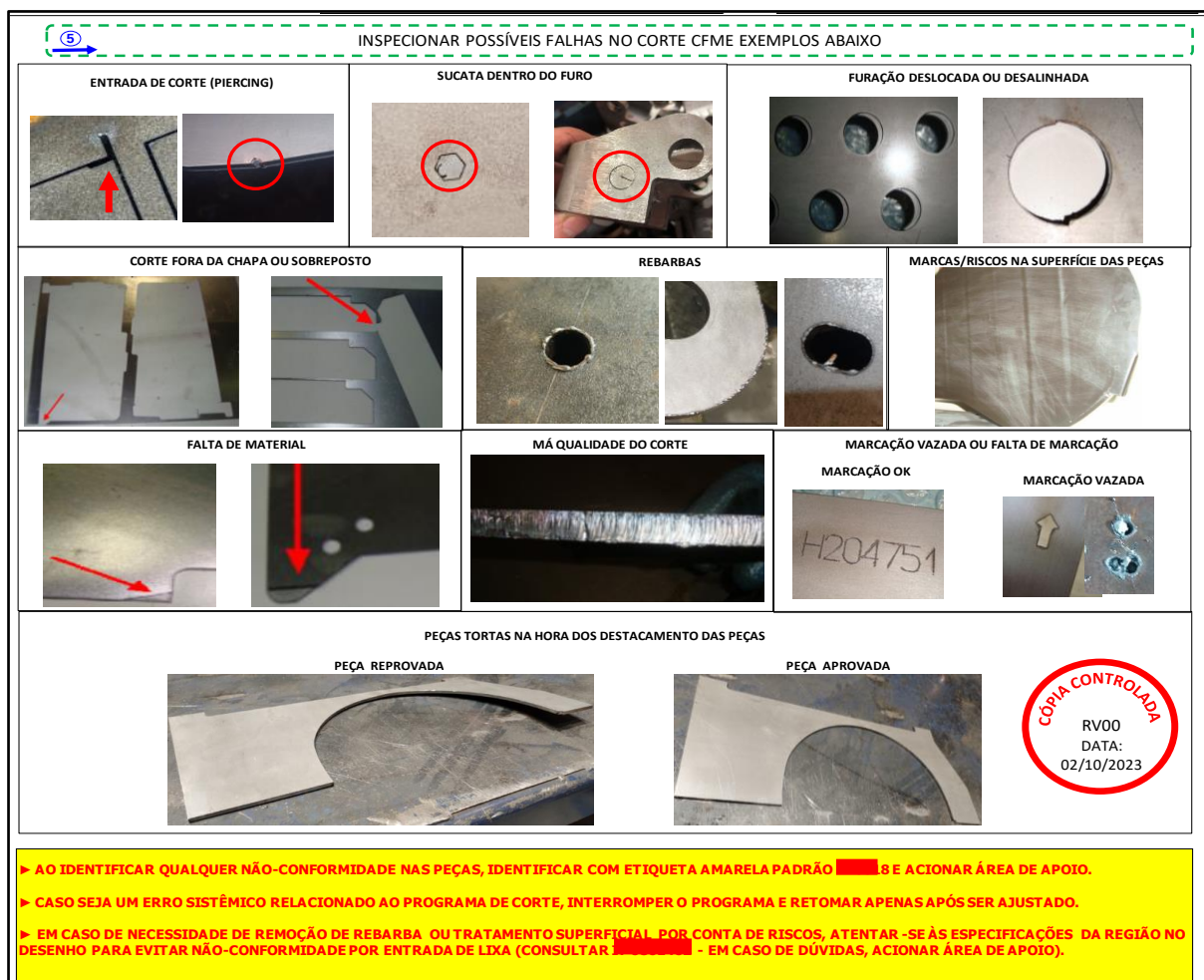
PLANO DE INSPEÇÃO E MONITORAMENTO						⌂	⌂	D	Comum
ITEM	ESPECIFICAÇÃO	INSTR.	RESOL.	CÓD.INST.	FREQ.	PROC.	F / F	S / L	
01	Verificar inexistência de contaminantes nas peças ²	Visual	N/A	N/A	100%	N/A	N/A	N/A	X
02	Cumprir orientações de setup ²	Visual	N/A	N/A	100%	N/A	N/A	N/A	X
03	Seguir plano de controle definido para a peça cfm cockpit ²	Visual	N/A	N/A	100%	N/A	N/A	N/A	X
04	Verificar inexistência de possíveis falhas ²	Visual	N/A	N/A	100%	N/A	N/A	N/A	X
05	Cumprir orientações p/Embalamento/movimentação ²	Visual	N/A	N/A	100%	N/A	N/A	N/A	X

² Caso não conforme, interromper a operação e chamar Instrutor ou Apoio Técnico (BT 0018)

Na execução das operações, instrui-se a movimentação das peças utilizando a ponte sempre que necessário, recorrendo ao auxílio do ímã. Essa prática, além de preservar a integridade do operador, assegura que as peças não sofram arranhões, pois são movimentadas sem contato direto com as grelhas. Verifica-se a retirada completa de sucata da mesa antes de reabastecê-la com uma nova chapa. Orienta-se a disposição de apenas uma *part-number* por embalagem, evitando possíveis problemas de qualidade em operações subsequentes. Durante o manuseio das peças ao colocá-las na embalagem e movimentá-las internamente, é recomendado o máximo cuidado para prevenir problemas como marcas, riscos, deformações, amassamentos e quedas de embalagens, fatores que poderiam impactar a qualidade. Para peças com microjuntas ou nanojuntas, a indicação é realizar uma inspeção completa para garantir a remoção de todas, podendo ser utilizada uma lima ou lixadeira elétrica em caso de dificuldades.

Seguir corretamente a sequência desta instrução é crucial, evitando, dessa forma, o envio de peças reprovadas ao cliente e, ao fazê-lo, demonstrando nossa qualificação. O plano de inspeção e monitoramento detalha especificações e instruções, abrangendo verificações visuais, conformidade com o setup, adesão ao plano de controle, identificação de falhas, e orientações para embalagem e movimentação, todas com uma frequência de 100%.

Figura 22: Recorte da Instrução de Trabalho – 5



Fonte: Elaborado pelo autor, 2023

Na quinta etapa, após a conclusão da produção, é realizada a inspeção de possíveis falhas de corte, é orientado atentar para diversos critérios, incluindo sucata dentro do furo, furação deslocada, corte fora da chapa, rebarba, marcas de riscos, falta de material, má qualidade de corte, marcação vazada, e peças tortas ou empenadas. Ao identificar qualquer não-conformidade nas peças, a instrução é etiquetar com a etiqueta amarela padrão e acionar a área de apoio. No caso de um erro sistêmico relacionado ao programa de corte, a orientação é interromper o programa e retomá-lo apenas após o devido ajuste. Em situações em que seja necessário remover rebarbas ou realizar tratamento superficial devido a riscos, destaca-se a importância de observar as especificações da região no desenho para evitar não-conformidades por entrada de lixa. Em caso de dúvidas, a recomendação é acionar a área de apoio.

Finalizadas as instruções quanto ao processo, é orientado quanto a necessidade de execução semanal do *Cutting Guide* (guia de corte). O *Cutting Guide* da Trumpf é uma ferramenta essencial no processo de configuração e manutenção da máquina de corte laser. Projetado para proporcionar uma configuração ideal, ele desempenha um papel crucial ao guiar os usuários passo a passo na identificação e resolução de possíveis problemas durante o processo de corte.

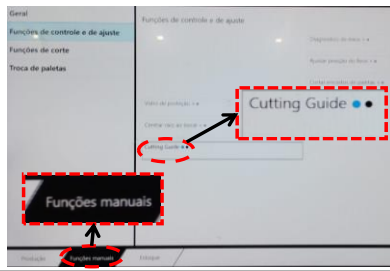
Figura 23: Recorte da Instrução de Trabalho – 6

(CUTTING GUIDE) INSPEÇÃO DE COMPONENTES E CALIBRAÇÃO DA MÁQUINA

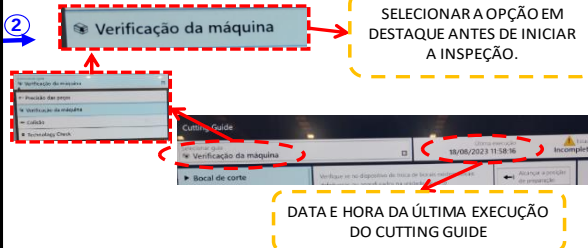
SEMANALMENTE DEVE-SE REALIZAR A INSPEÇÃO DE CUTTING GUIDE.
ALÉM DA ROTINA, REALIZAR TODA VEZ EM QUE HOUVER ALGUMA COLISÃO QUE DESACUPLE O CABEÇOTE DE CORTE OU QUANDO ESTEJA COM MUITA DIFICULDADE AO REGULAR A MÁQUINA PARA CORTAR.

PROCEDIMENTO DE CUTTING GUIDE A SER REALIZADO NA MÁQUINA.

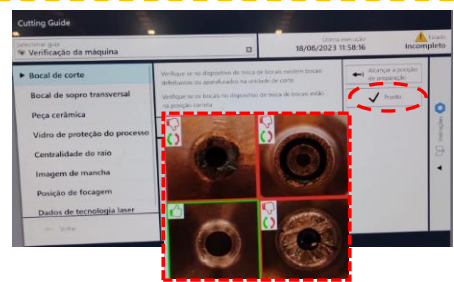
- 1 INICIAR O GUIA DE CORTE**

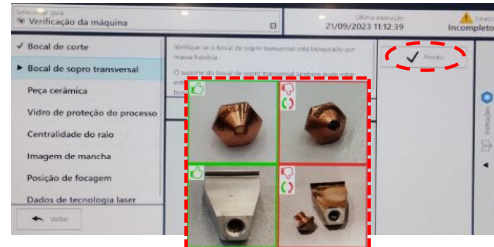

- 2 Verificação da máquina**

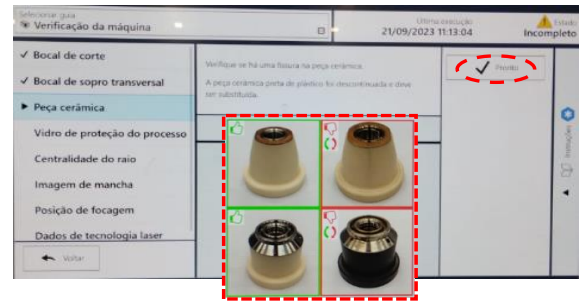
SELECIONAR A OPÇÃO EM DESTAQUE ANTES DE INICIAR A INSPEÇÃO.

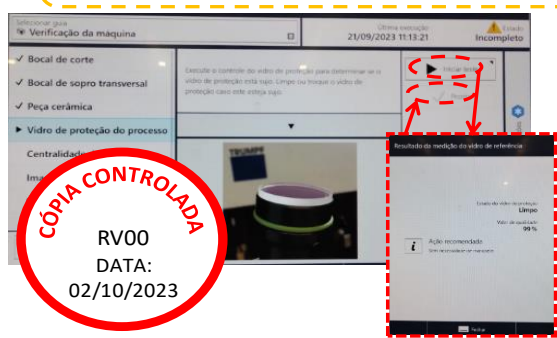


DATA E HORA DA ÚLTIMA EXECUÇÃO DO CUTTING GUIDE
- 3 VERIFICAR A QUALIDADE DO BICO DE CORTE. ESTANDO CONFORME IMAGENS, SELECIONAR "PRONTO"**

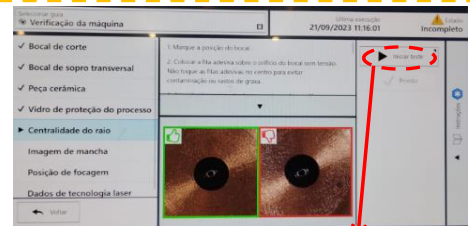

- 4 VERIFICAR A QUALIDADE DO BICO DE SOPRO E SE EXISTE SUJEIRA O BLOQUEANDO. ESTANDO CONFORME IMAGENS SELECIONAR "PRONTO"**


- 5 VERIFICAR SE A PORCELANA NÃO TEM TRINCAS OU ESTÁ QUEBRADA. ESTANDO CONFORME IMAGENS SELECIONAR "PRONTO"**

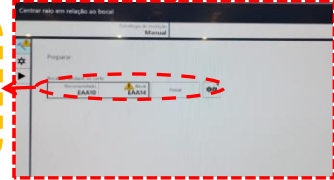

- 6 VERIFICAR QUALIDADE DO VIDRO DE PROTEÇÃO:**
AO CLICAR EM INICIAR TESTE, A MÁQUINA FARÁ O TESTE AUTOMATICAMENTE. SE O VALOR ESTIVER ABAIXO DE 80% EXECUTAR A LIMPEZA DO VIDRO DE PROTEÇÃO E REFAZER O TESTE, CASO NÃO SE RESOLVA EXECUTAR A TROCA DO MESMO, APÓS OS AJUSTES FEITOS SELECIONAR "PRONTO"



CÓPIA CONTROLADA
RV00
DATA:
02/10/2023
- 7 VERIFICAR CENTRALIDADE DO RAIOS DE CORTE**



CLICAR NO ÍCONE  E CASO O MODELO DE BICO EM USO SEJA O INCORRETO CLICAR EM "TROCAR"



Fonte: Elaborado pelo autor, 2023

Figura 24: Recorte da Instrução de Trabalho – 7

AJUSTE DO TAMANHO DO DIÂMETRO DO RAIOS PARA CENTRALIZAÇÃO DO BICO.

APÓS CLICAR EM IMPULSO, VERIFICAR A CENTRALIDADE DO BICO DE ACORDO COM O TREINAMENTO DE OPERAÇÃO E AJUSTAR SE NECESSÁRIO (SEGUINDO O PASSO A PASSO *).

DEPOIS DE CONCLUÍDA A CENTRALIZAÇÃO CLICAR EM "PRONTO"

8 EFETUAR TESTE DE MANCHA PARA VERIFICAR INTEGRIDADE DA LENTE

- CASO SEJA NECESSÁRIO, REALIZAR A TROCA DE BICO NA TECLA "TROCAR" - REMOVER AMBAS AS MESAS DE DENTRO DA MÁQUINA

POSICIONAR PAPEL ESPECÍFICO NA POSIÇÃO X INDICADA NA IMAGEM PARA INSPEÇÃO DA MANCHA.

CLICAR E EXECUTAR IMPULSO PARA REALIZAÇÃO DO TESTE DA MANCHA.

APÓS O TESTE REALIZADO SERÁ VERIFICADO OS DOIS PONTOS ONDE FOI FEITO O TESTE DA MANCHA.

TESTE DA MANCHA REPROVADO QUANDO SE ENCONTRA PONTOS PRETOS DENTRO DO CÍRCULO DE TESTE SEM QUEIMAR.

SELECIONAR A OPÇÃO DE ACORDO COM O RESULTADO (SE FOI APROVADO OU REPROVADO).

9 EXECUTAR AVALIAÇÃO DAS FENDAS DE CORTE POR DIÂMETRO DE FOCAGEM. NECESSÁRIO CHAPA DE INOX DE 1MM DE ESPESSURA

CLICAR EM INICIAR TESTE, SELECIONAR COMO SE REFERENCIAR E MOVER O CABEÇOTE ATÉ A ÁREA DESEJADA.

APÓS REALIZADO O CORTE DOS PENTES, INSPECIONAR AS FENDAS COM CALIBRE DE FOLGA DE ACORDO COM A NUMERAÇÃO DE CADA PENTE. APÓS ISSO, ENCONTRAR O PONTO MÉDIO ENTRE OS DOIS LIMITES.

LIMITES: ENCONTRAR FENDA DE CORTE ONDE NÃO CONSEGUE ENCAIXAR ATÉ O FINAL DO CALIBRE E MARCAR COM CANETÃO NO LADO POSITIVO DE NEGATIVO DA FENDA DE CORTE.

CORREÇÃO: APÓS ISSO, ENCONTRAR O PONTO MÉDIO ENTRE OS LIMITES E PREENCHER O VALOR CORRESPONDENTE DE CADA UM DOS CAMPOS INDICADOS E CARREGAR OS DESLOCAMENTOS.

LAMINA DE CALIBRE DE FOLGA DE ACORDO COM DIÂMETRO DE FOCAGEM:
840-LAMINA DE 75.
600-LAMINA DE 55.
210-LAMINA DE 25.
150-LAMINA DE 15.

O OBJETIVO É DEIXAR CENTRALIZADO NO NÚMERO 0.

CASO APENAS UM ESTEJA INCORRETO, É POSSÍVEL SELECIONAR APENAS O FALTANTE E REALIZAR O MESMO PASSO ANTERIOR ATÉ O AJUSTE COMPLETO.

APÓS CONCLUIR, CLICAR EM "PRONTO"

10 APÓS CONCLUÍDO O PASSO-A-PASSO À CIMA, SEGUIR INSTRUÇÕES PARA SALVAMENTO E CLICAR "PRONTO".

Esta ferramenta não se limita apenas à solução de falhas comuns, como sucata dentro do furo. Ela também abrange elementos críticos para o desempenho da máquina, incluindo a centralização do raio. A centralização é essencial para assegurar a precisão e consistência nos cortes, e o *Cutting Guide* fornece orientações específicas para verificar e ajustar esse parâmetro. Além disso, o *Cutting Guide* orienta a verificação do estado do bico e do anel cerâmico, destacando a importância desses componentes para o funcionamento eficiente da máquina. A qualidade do vidro de proteção e a limpeza da lente, outros pontos críticos, são abordados pela ferramenta para preservar a integridade do feixe de laser e garantir cortes de alta qualidade.

A validação de fendas de corte por diâmetro de focagem também é uma dimensão abordada pelo *Cutting Guide*. Ele fornece instruções específicas para garantir que a máquina esteja configurada corretamente, resultando em cortes precisos e consistentes. Assim, o *Cutting Guide* da Trumpf não apenas soluciona problemas específicos, mas serve como um guia abrangente para a configuração ideal e a manutenção contínua da máquina de corte laser, contribuindo para a otimização da eficiência e a garantia da qualidade dos cortes.

Figura 25: Recorte da Instrução de Trabalho – 8

UTILIZAR COMO PADÃO A TABELA EM QUE ESTÁ PROGRAMADO O PACOTE, A MESMA É CHAMADA AUTOMATICAMENTE NA MÁQUINA.

Vel. Corte	ST040MD0-N2H0-30-2mm/min			kg	73.705
Tecnologia	Tabela	Lente	Gás		
LASER	ST040MD0-N2H0-30-2	7.9	MD0-N2H0 HightSpeed		

VARIAÇÃO DE AVANÇO DE CORTE NA MÁQUINA É DE MAIS OU MENOS 10%, DE ACORDO COM A COMPLEXIDADE DE CADA MATERIAL.

POTENCIÔMETRO REGULA A VELOCIDADE DE DESLOCAMENTO DOS EIXOS (MANTER O MESMO EM 100% DURANTE O PROCESSO DE CORTE).

POTENCIÔMETRO DE AVANÇO

AS MICRO/NANOJUNTAS PODEM SER ATIVADAS E DESATIVADAS DIRETAMENTE NA MÁQUINA.

TAMBÉM É POSSÍVEL EXECUTAR AJUSTE DO TAMANHO DA MICRO/NANOJUNTA.

CASO NÃO SEJA O SUFICIENTE ACIONAR PROGRAMAÇÃO PARA AJUSTAR.

ATIVAR/DESATIVAR MICRO E NANOJUNTAS

SENDO NECESSÁRIO, É POSSÍVEL AJUSTAR A RESISTÊNCIA DAS NANOJUNTAS.

1: Reduzido
0: Normal
1: Aumentado

MUO-3

Ajustes

Comprimento de Microjoint para contorno pequeno
1 mm

Comprimento de Microjoint para contorno médio
1,2 mm

Comprimento de Microjoint para contorno grande
1,2 mm

Tipo de punção conforme Microjoints
11: Punção suave

Microjoints programados ativos

Nanojoints programados ativos

Microjoints próprios ativos

Nanojoints próprios ativos

-1 mm

-1 mm

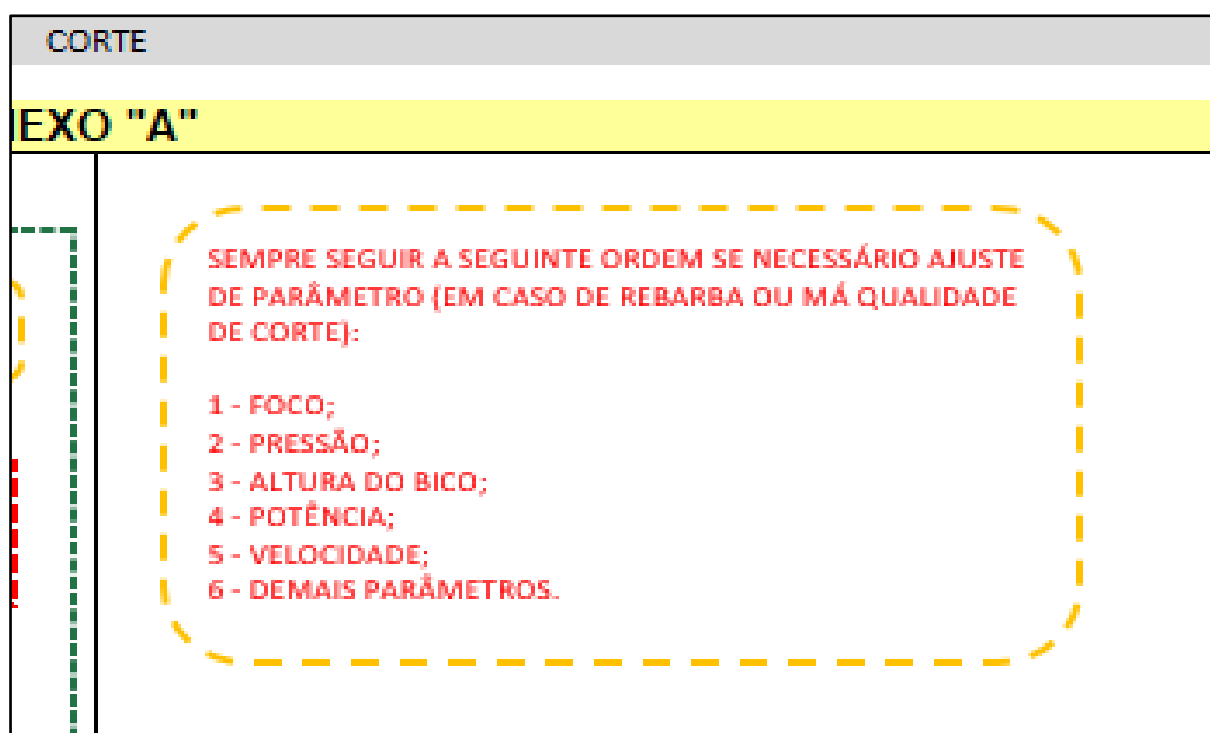
Fonte: Elaborado pelo autor, 2023

Nos anexos das instruções, a orientação é manter como padrão a tabela programada no pacote, automaticamente chamada pela máquina. Em relação ao

avanço de corte, é recomendado ajustar essa variável em torno de 10%, de acordo com a complexidade do material, assegurando um controle preciso durante o processo. O potenciômetro, responsável por regular a velocidade de deslocamento dos eixos, deve ser mantido ajustado em 100% durante toda a operação de corte. Quanto a micro/nanojuntas, é possível ativá-las ou desativá-las diretamente na máquina, proporcionando também a opção de ajustar o tamanho conforme necessário.

Se as configurações padrão não atenderem completamente, nos anexos é indicado acionar a programação para realizar ajustes específicos, permitindo uma personalização mais detalhada. Além disso, a resistência das nanojuntas pode ser ajustada, se necessário, para otimizar o processo de corte. Essas diretrizes, presentes nos anexos das instruções, visam oferecer flexibilidade e controle preciso, adaptando-se às características do material e aos requisitos específicos de corte.

Figura 26: Recorte da Instrução de Trabalho – 9



Fonte: Elaborado pelo autor, 2023

Por fim, foi definida uma orientação para realizar ajustes de parâmetros, especialmente em situações como rebarba ou má qualidade de corte. Para isso foi definido os ajustes a serem feitos por ordem de prioridade. Deve-se iniciar ajustando o foco para garantir a concentração ideal do feixe de laser. Em seguida, efetuar regular à pressão, otimizando a interação entre o material e o feixe de corte. Após isso a recomendação é regular a altura do bico para manter a distância apropriada entre a máquina e o material. Em sequência podem ser feitos ajustes na potência para alcançar a intensidade desejada de corte. Em seguida, ajuste da velocidade para otimizar o ritmo do processo de corte.

Seguindo essa ordem, verificando a qualidade após cada passo, caso não seja solucionado o problema então pode ser dedicada atenção aos demais parâmetros específicos, assegurando uma configuração completa e precisa. Essa abordagem sequencial proporciona uma metodologia eficaz para otimizar a qualidade do corte, abordando sistematicamente cada aspecto crítico e minimizando possíveis problemas na operação da máquina de corte laser.

A partir da análise dos motivos de baixa performance, ficou evidente a ineficiência operacional para retirada das peças antes do encerramento do ciclo da máquina. Com base nisso, foram desenhadas as ações 12 e 13. A ação 12 consistia na instalação de mais uma talha modelo bandeira para auxiliar na retirada de peças e/ou sucatas da mesa de corte, visto que os operadores dispunham apenas de uma ponte rolante. Além disso, a talha servirá de recurso fundamental quando iniciado o corte de chapas de 6 metros, o que tornará insuficiente a utilização apenas da ponte.

A outra iniciativa de destaque é a ação 13, que foi implementada em resposta a uma orientação da coordenação. Essa ação consistiu em alocar um auxiliar em cada turno de operação da máquina laser. Dessa forma, a equipe passou a contar com dois operadores qualificados e um auxiliar dedicado ao processo. Essa adição de recursos teve um impacto altamente positivo no indicador de performance da máquina.

A presença do auxiliar permitiu otimizar diversas tarefas relacionadas ao processo de corte a laser. Ele desempenha um papel essencial no apoio aos operadores e na execução de tarefas que, de outra forma, poderiam consumir tempo precioso. Isso resultou em um aumento significativo na eficiência do processo, com um impacto direto na produtividade e na redução das paradas não programadas da máquina. A equipe agora pode se concentrar em suas funções principais, enquanto o auxiliar lida com tarefas auxiliares, tornando todo o processo mais ágil e eficaz.

A ação 14 representou um marco importante no processo de aprimoramento da operação da máquina laser. Essa ação concentrou-se no treinamento operacional relacionado aos parâmetros de corte e englobou não apenas os operadores dos três turnos, mas também envolveu o técnico de processos e o programador de corte. O treinamento, com uma duração de três dias, desempenhou um papel crucial na eliminação de diversas dúvidas que a equipe ainda tinha em relação à máquina.

Após o treinamento, houve uma notável transformação na dinâmica de operação da máquina. A equipe, agora mais familiarizada e bem preparada para lidar com os parâmetros de corte, viu uma redução significativa na necessidade de acionar a cadeia de ajuda para solucionar questões relacionadas a esses parâmetros. Os operadores se tornaram mais autônomos e capacitados a tomar iniciativas e resolver problemas, contribuindo para um fluxo de trabalho mais eficiente e produtivo. A ação 14 demonstrou que o investimento em treinamento e capacitação pode gerar melhorias substanciais no desempenho da máquina e na qualidade da produção.

Paralelamente às ações voltadas para o campo operacional, uma iniciativa de gestão desempenhou um papel fundamental na melhoria do desempenho da máquina laser. Foi identificado um descompasso entre os valores de produção registrados e os apontamentos no sistema, levando a inconsistências nos saldos produzidos versus os apontados. Como resposta a essa questão, a equipe implementou a ação 15, um controle diário rigoroso e sistemático dos apontamentos de produção.

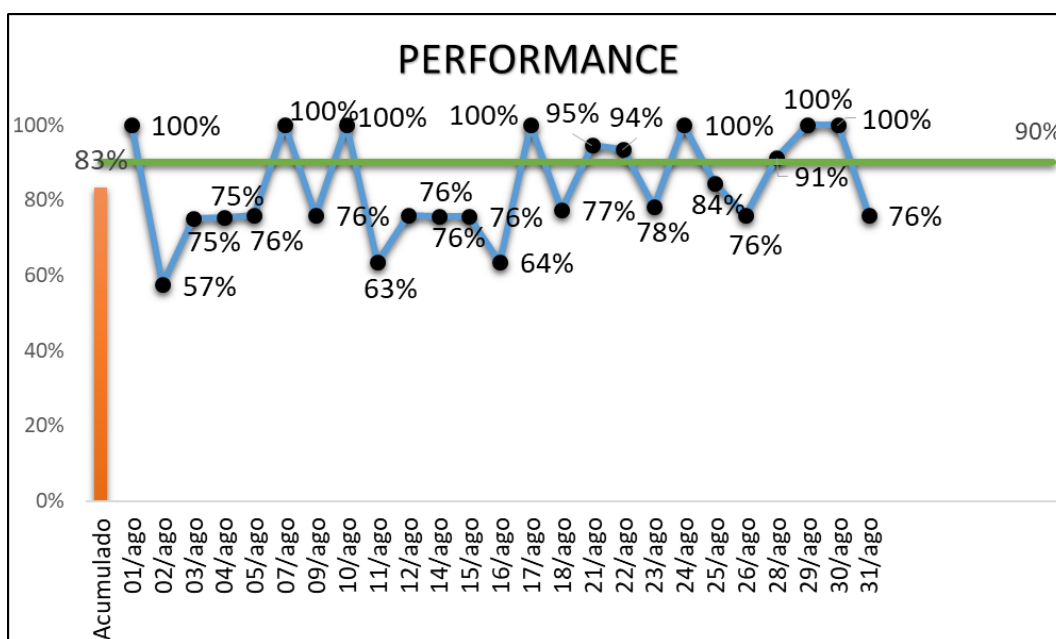
Essa abordagem permitiu a manutenção de dados precisos e confiáveis no sistema, fornecendo uma visão clara e atualizada das atividades da máquina. Além disso, o acompanhamento diário proporcionou um controle mais efetivo das horas de trabalho e do desempenho diário da máquina, fornecendo informações essenciais para o processo de tomada de decisões. Essa iniciativa demonstra como uma gestão mais atenta aos detalhes e à integridade dos dados pode ter um impacto positivo na eficiência operacional e na qualidade dos registros de produção.

Concluindo a série de ações voltadas para a melhoria do desempenho da máquina laser, a equipe de processos assumiu a responsabilidade pela ação 16, que envolve a revisão dos tempos de processo da máquina. Como observado anteriormente, a maioria dos tempos estava inicialmente superestimada, o que, em certa medida, gerava um impacto "positivo" no indicador de desempenho, mas, ao mesmo tempo, criava distorções que ocultavam a visão real da situação. Para abordar esse problema, a equipe decidiu revisar minuciosamente todos os itens com

distorções superiores a 20%. O processo de revisão atual toma como base o tempo de simulação do software, com a adição de uma margem de 10%. Isso garante que os tempos de processo se aproximem o máximo possível da realidade. Vale ressaltar que essa ação está em andamento e está programada para ser concluída até o dia 15 de novembro. Essa iniciativa tem como objetivo fornecer uma base sólida e precisa para avaliar e otimizar o desempenho da máquina, contribuindo para uma gestão mais eficiente e confiável dos recursos.

No que diz respeito às ações de aprimoramento da performance da máquina laser, um conjunto significativo de medidas foi implementado. A equipe concentrou seus esforços na correção de tempos de corte superestimados, por meio da revisão de parâmetros e treinamentos para operadores, técnicos e programadores. Além disso, a equipe adotou um rigoroso controle diário de apontamentos de produção para garantir a consistência dos registros e promover a eficiência operacional.

Gráfico 17: Performance mês de Agosto



Fonte: Elaborado pelo autor, 2023

Ao encerrar o mês 8, a performance da máquina laser atingiu 83%. Esse valor em um primeiro momento não representa uma mudança significativa em relação ao mês anterior. No entanto, a redução da variabilidade no indicador é notável. Isso

significa que os resultados agora são mais consistentes e alinhados com a prática operacional. Apesar da queda em 3% na performance em comparação com o mês anterior, a tendência de estabilização e a obtenção de resultados sólidos são indicativos positivos, além do fato de não haver mais resultados errôneos além do limite de 100%. Isso sugere que as ações de melhoria estão contribuindo para tornar a máquina mais eficiente e previsível em sua operação, o que é essencial para o sucesso a longo prazo. Esse resultado indica não apenas o sucesso do programa de melhoria, mas também o início da estabilização do indicador e a probabilidade de melhoria a curto prazo, visto que o processo teve uma estabilização significativa em apenas 30 dias de acompanhamento.

A ação de número 17 se compromete em desenvolver um método para mensurar o retrabalho e o processamento posterior, esse é um passo essencial para elevar a qualidade e a eficiência do processo de corte a laser. Até o momento, o indicador de qualidade se limita à medição da sucata, o que, embora seja uma parte importante da avaliação, não captura totalmente os desafios relacionados à qualidade. A nova iniciativa, prevista para o final do ano, representa um avanço significativo quanto à análise de custo de não qualidade na área de corte laser da empresa.

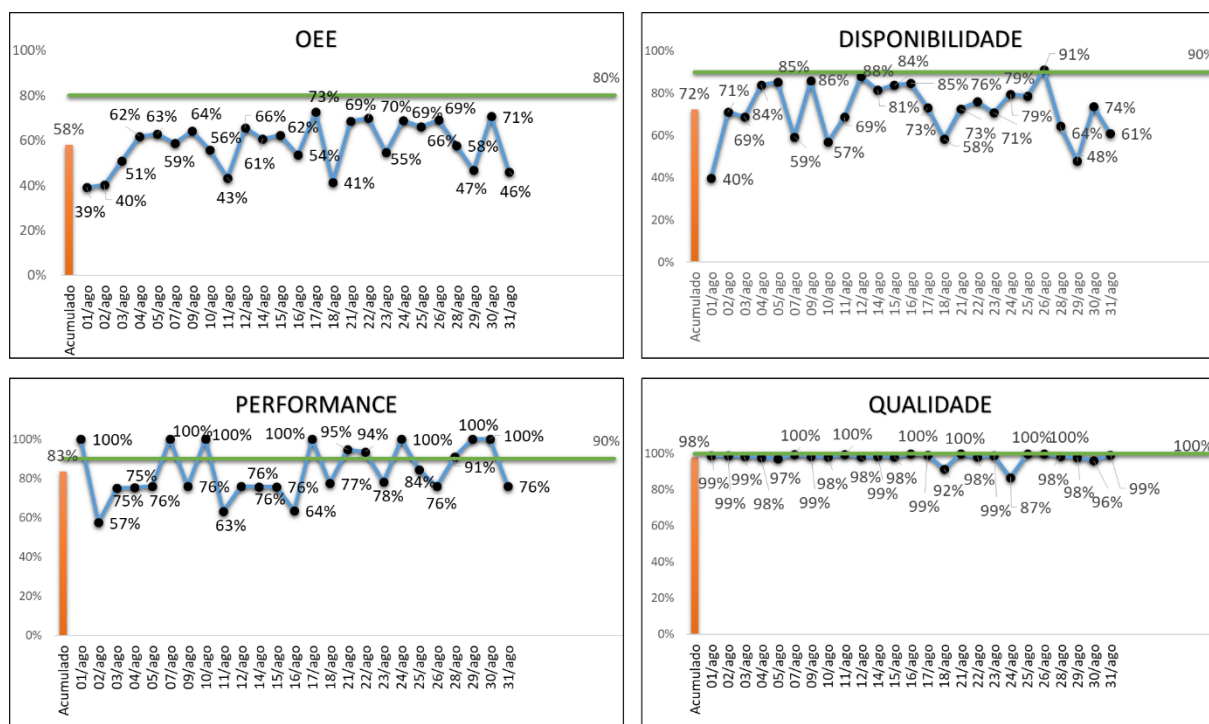
A partir daí a equipe poderá ampliar a avaliação da qualidade para incluir não apenas a sucata, mas também o retrabalho e o processamento posterior de peças. Isso fornecerá uma visão mais completa da eficácia do processo, identificando áreas que exigem atenção especial. Essa abordagem permitirá a identificação de padrões, tendências e problemas específicos relacionados à qualidade que antes passavam despercebidos. Essa ação demonstra um compromisso contínuo com a melhoria da qualidade e eficiência do processo, com a expectativa de reduzir custos e aumentar a satisfação do cliente. A implementação desse método de mensuração mais abrangente terá um impacto positivo na tomada de decisões, na identificação de oportunidades de aprimoramento e no alcance de níveis mais elevados de qualidade em peças produzidas com o processo de corte laser.

A ação de número 18, focada no treinamento operacional relacionado à qualidade, desempenhou um papel fundamental na busca pela melhoria contínua do processo. Esta iniciativa visou aprimorar a qualificação dos operadores, capacitando-os em várias áreas críticas para assegurar a qualidade das peças produzidas com o processo de corte a laser. Durante o treinamento, os operadores foram instruídos sobre a execução de um apontamento de *setup* preciso, a verificação dos desenhos

e planos de controle no sistema, além de outros procedimentos relacionados à qualidade. Essas informações foram essenciais para que os operadores compreendessem os requisitos de qualidade e soubessem como atender às especificações.

Além disso, o treinamento focou na importância da instrução de trabalho padrão, fornecendo um guia passo-a-passo sobre como produzir peças, tratar materiais não conformes e garantir que o processo ocorresse de acordo com os padrões estabelecidos. Como resultado, essa ação teve um impacto positivo na melhoria da qualidade do processo e na capacitação dos operadores, contribuindo para a redução de não conformidades, a satisfação do cliente e o alcance de níveis mais elevados de qualidade nas peças produzidas. Foi uma parte fundamental do esforço contínuo para aprimorar o processo de corte a laser e elevar os padrões de qualidade.

Após o segundo mês de análise, observou-se uma notável melhoria nos indicadores, refletindo uma maior acurácia e confiabilidade dos dados. Essa evolução proporcionou uma visão mais precisa do cenário real da eficiência da máquina de corte a laser. Além disso, como mencionado anteriormente, houve uma redução significativa na variabilidade dos números, indicando uma tendência positiva de crescimento das variáveis. No encerramento do primeiro mês após a implementação das melhorias, constatou-se um aumento de 5% na eficiência e disponibilidade da máquina. Embora o indicador de performance tenha registrado uma diminuição, esse declínio foi resultado da capacidade de avaliar com precisão os valores inseridos no sistema. No passado, inúmeras vezes, valores superestimados foram lançados no sistema, levando a performances aparentemente superiores a 100%. Essas inconsistências nos tempos de processo distorciam a realidade dos números, criando uma ilusão de melhora no indicador em análises superficiais. A correção dessas discrepâncias proporcionou uma visão mais fiel do desempenho real da máquina e permitiu uma análise mais sólida dos resultados obtidos.

Gráfico 18: IROG mês de Agosto

Fonte: Elaborado pelo autor, 2023

O projeto em questão trouxe uma série de ganhos significativos para a empresa. Inicialmente, as melhorias implementadas resultaram em um aumento da eficiência e da disponibilidade da máquina de corte a laser. Com isso, a empresa passou a produzir mais em menos tempo, reduzindo os tempos de parada e otimizando a utilização do equipamento. Além disso, a melhoria na acurácia e confiabilidade dos dados permitiu uma análise mais precisa da eficiência da máquina, contribuindo para uma gestão mais eficaz. Outro ganho importante foi a redução da variabilidade nos indicadores, o que significa que a empresa passou a ter números mais consistentes e condizentes com a realidade do processo. Isso possibilitou uma tomada de decisão mais assertiva e uma análise mais sólida dos resultados obtidos. O treinamento e capacitação dos operadores e equipe de manutenção também tiveram um impacto positivo, pois permitiram que a equipe operasse de forma mais autônoma e eficaz. A padronização dos processos e a criação de instruções de trabalho contribuíram para a melhoria da qualidade do produto e a redução de erros operacionais.

Para esse trabalho não será possível trazer os resultados dos meses que se seguiram, porém, a tendência para o fechamento do mês de setembro estima um resultado mensal da eficiência de pelo menos 70%, o que presume que o indicador estará dentro da meta estabelecida em 80% antes do término do ano de 2023. As atuações para melhoria do OEE agora mantêm o foco nas paradas com acompanhamento do time multifuncional diariamente, e no ajuste dos tempos de processo que está em andamento, além da criação de um indicador robusto de qualidade. A jornada rumo à otimização das operações está em pleno andamento, e os dados mostram que serão alcançados os objetivos estabelecidos, garantindo eficiência, qualidade e rentabilidade para a empresa.

Em resumo, as melhorias implementadas no projeto resultaram em ganhos significativos de eficiência para a empresa. Com um aumento na eficiência e disponibilidade da máquina de corte a laser, a produção ocorre de maneira mais rápida e eficaz, reduzindo tempos de parada e maximizando o uso do equipamento. A tendência de alcançar pelo menos 70% de eficiência até setembro, com uma meta de 80% até o final de 2023, reflete um progresso notável em direção a uma operação mais eficiente, destacando o compromisso contínuo da equipe com a excelência operacional. A busca pela excelência operacional é um compromisso constante, e o progresso até agora é um testemunho da dedicação e eficácia da equipe.

6 CONCLUSÃO E SUGESTÕES PARA TRABALHOS FUTUROS

Ao longo deste estudo, foram dedicados esforços para implementar a metodologia *Lean Six Sigma* em uma indústria metalúrgica do Sul do Brasil. O objetivo geral era aprimorar de forma sustentável a Eficiência Global de uma máquina de corte laser, e os objetivos específicos abrangeram a aplicação da metodologia DMAIC em um processo de corte laser, realização de um diagnóstico abrangente do processo e proposição de um plano de melhoria estruturado para otimizar o processo de corte laser. Durante esse processo, fora adquirida uma compreensão mais profunda do processo de corte laser, identificadas áreas de oportunidade e aplicadas com êxito as etapas do DMAIC para diagnosticar questões-chave e implementar soluções eficazes.

Com base na análise minuciosa realizada nas etapas iniciais do estudo, fora elaborado um plano de ação abrangente e metódico, que tinha como cerne a abordagem eficaz das causas subjacentes que impactavam negativamente a eficiência operacional da máquina de corte a laser. Cada etapa desse plano foi minuciosamente delineada, com metas definidas e mensuráveis, e atribuição precisa de responsabilidades. A abordagem adotada foi voltada para soluções práticas, com um enfoque colaborativo, e foi essencial para garantir que as melhorias fossem tangíveis e sustentáveis, representando um passo crucial em direção à otimização do desempenho da máquina e ao aprimoramento da eficiência operacional.

As oportunidades de melhoria foram distribuídas em três categorias essenciais: disponibilidade, performance e qualidade. Para incrementar a disponibilidade da máquina, os esforços se concentraram na organização do ambiente de trabalho, na otimização dos procedimentos para ajuste de programas, na redução dos tempos de espera e na documentação precisa dos processos. No âmbito da performance, fora estabelecido um plano abrangente de treinamento para os operadores e implementados procedimentos padronizados. Em relação à qualidade, foi enfatizada a necessidade de instrução relativa aos critérios de qualidade, a padronização dos planos de controle e aprimoramento dos procedimentos de inspeção da matéria-prima, com o objetivo de reduzir os custos associados a retrabalho e desperdício. Cada uma dessas ações contribuiu de forma significativa para otimizar a eficiência da máquina de corte a laser e alcançar as metas de melhoria previamente estabelecidas.

O presente estudo proporcionou uma série de conquistas significativas para a empresa. Inicialmente, as melhorias implementadas resultaram em um aumento da

performance diária e da disponibilidade da máquina de corte a laser. Como resultado, a empresa passou a produzir mais em menos tempo, reduzindo os tempos de parada e otimizando a utilização do equipamento. Além disso, aprimorou-se a precisão e a confiabilidade dos dados, permitindo uma análise mais precisa da eficiência da máquina e contribuindo para uma gestão mais eficaz. Um benefício crucial foi a redução da variabilidade nos indicadores, resultando em números mais consistentes e condizentes com a realidade do processo. Isso facilitou a tomada de decisões assertivas e a análise sólida dos resultados. O treinamento e capacitação dos operadores também gerou um impacto positivo, possibilitando uma operação mais autônoma e eficaz. A padronização dos processos e a criação de instruções de trabalho contribuíram para melhorar a qualidade do produto e reduzir erros operacionais.

Embora não tenha sido possível apresentar resultados dos meses subsequentes, a tendência para o fechamento de setembro apontou para um resultado mensal da eficiência de pelo menos 70%, indicando que o indicador estará alinhado com a meta estabelecida em 80% antes do final de 2023. As ações em curso para a melhoria do OEE agora se concentram nas paradas, com acompanhamento diário da equipe multifuncional, bem como no ajuste dos tempos de processo, além da criação de um indicador de qualidade robusto. A jornada em direção à otimização das operações está em pleno progresso, e os dados sustentam a expectativa de que os objetivos estabelecidos serão alcançados, garantindo eficiência, qualidade e rentabilidade contínua para a empresa.

O próximo passo essencial é acompanhar de perto o desenvolvimento do projeto até o final do ano. Isso garantirá que as melhorias continuem a ser implementadas de forma consistente e que as metas estabelecidas sejam alcançadas com sucesso. Além disso, após encerrado o projeto no processo de corte laser, o objetivo é concentrar esforços em um novo projeto utilizando da metodologia DMAIC dentro do *Lean Six Sigma*, que se encontra atualmente na fase de *DEFINE*, com foco no processo de jateamento de granalha. A aplicação da metodologia *Six Sigma* promete trazer um rigoroso enfoque na qualidade e eficiência, contribuindo ainda mais para os aprimoramentos operacionais.

À medida que os projetos avançam, escopo vai se expandindo para abranger outros processos de corte na área, como plasma e oxicorte (que estão elencados como projetos para o ano de 2024). Essa expansão das atividades de pesquisa e

melhoria contínua reforça o compromisso em alcançar eficiência, qualidade e excelência em todos os aspectos da operação. O futuro reserva um cenário promissor, com o impacto positivo que essas iniciativas trarão para a empresa. Além disso, o mesmo campo de estudo pode ser aplicado em qualquer unidade da empresa, como a unidade Agrícola, por exemplo, que possui máquinas semelhantes a estudada no presente trabalho.

Para trabalhos futuros, no setor metal-mecânico e além, há oportunidades a serem exploradas. A expansão do *Lean Six Sigma* para outros processos e setores oferece o potencial de otimizar operações em diversos campos. Além disso, a aplicação em diferentes indústrias, como química, farmacêutica e serviços, ampliaria o alcance e os benefícios do método exposto neste projeto. O estudo de cases de sucesso em outras empresas, no âmbito industrial, oferece lições valiosas e *insights* aplicáveis. Fomentar uma cultura de melhoria contínua, com foco na inovação e eficiência, contribui para a excelência operacional e competitividade em vários setores. Essas oportunidades representam um futuro promissor e inspirador para a busca contínua de aprimoramento, alinhando-se ao compromisso com eficiência, qualidade e competitividade em várias áreas industriais.

Considerando o *Lean Six Sigma*, este projeto não apenas sublinha a sua aplicabilidade, mas também destaca como essa metodologia moldou e esculpiu de maneira distinta o presente e o futuro. A implementação prática do *Lean Six Sigma*, através da metodologia DMAIC, não só permitiu melhorias mensuráveis na eficiência e disponibilidade da máquina, mas também abriu novas portas para sua aplicação em diferentes setores e processos. A fundamentação estatística, o foco meticuloso em dados concretos e a estruturação eficaz delineada neste estudo não são apenas pilares de uma abordagem de melhoria contínua, mas agora representam um catalisador para a inovação e excelência operacional em múltiplos cenários industriais. Ao comprometer-se de maneira contínua com esta metodologia, não apenas é possível responder às demandas do presente, mas também pavimentar o caminho para um futuro dinâmico e repleto de oportunidades.

REFERÊNCIAS

- ABNT (BRASIL). 30/10/2015. **ABNT NBR ISO 9000**: Sistemas de gestão da qualidade — Fundamentos e vocabulário, Rio de Janeiro: Associação brasileira de normas técnicas, ano 2015, p. 65, 29 out. 2023.
- ALVES, Bruno Nóbrega de Paiva et al. **A utilização da ferramenta 5W2H: uma proposta de melhoria no setor produtivo de uma empresa industrial de artefatos em acrílico**. 2021. Trabalho de Conclusão de Curso. Universidade Federal do Rio Grande do Norte.
- ANDRADE , Darly Fernando. **Seis Sigma**: Coletânea de Artigos Volume I. 1. ed. Belo Horizonte: Poisson, 2017. 199 p. v. 1.
- ARAÚJO, André Luiz Santos de. **Implantação das ferramentas 5S e 5W2H como plano de ação no setor de oficina em uma empresa de automóveis na cidade de João Pessoa-PB**. 2018.
- BASTOS, Livia Tiemi; ANDREOLI, Taís Pasquotto. **Gestão da qualidade: melhoria contínua e busca pela excelência**. 1. ed. [S. l.]: InterSaberes, 2017. 188 p. ISBN 9788559724714.
- CASTANHEIRA, Nelson Pereira. **ESTATÍSTICA APLICADA A TODOS OS NÍVEIS**. 2. ed. Curitiba: Intersaberes, 2018. 273 p.
- CONFEDERAÇÃO NACIONAL DA INDÚSTRIA**. Perfil Setorial da Indústria. Brasília, 2022. Disponível em: <https://perfilsetorialdaindustria.portaldaindustria.com.br/categorias/28-maquinas-e-equipamentos/>. Acesso em: 15 nov. 2023.
- CORRÊA, Henrique Luiz; CORRÊA, Carlos Alberto. Administração de Produção e Operações: Manufatura e Serviços: Uma Abordagem Estratégica. Atlas. **São Paulo, Brasil**, 2013.
- CUSTODIO, Marcos Franqui. **Gestão da qualidade e produtividade**. [S. l.]: Pearson, 2015. 188 p.

DA COSTA, Igor Jardim et al. Melhoria da Qualidade e Produtividade através da Manufatura Enxuta: Uma Revisão da Literatura/Improving Quality and Productivity through Lean Manufacturing: A Literature Review. **ID on line. Revista de psicologia**, v. 15, n. 58, p. 427-443, 2021.

DA SILVA, José Pedro. OEE—A forma de medir a eficácia dos equipamentos. 2009. DE LIMA PEREIRA, Luciana; SAMBUICHI, Cristina Rosoga; DE OLIVEIRA, Selma Suely Baçal. Cultura japonesa: fábrica e escola na Amazônia. **Educação**, p. e68/1-30, 2023.

SANTOS, Wagner de Miranda; PISCIOTTA, Alex. **APLICAÇÕES DO LASER NA INDÚSTRIA 4.0: PROCESSOS DE CORTE, SOLDA, MEDIÇÃO E RASTREABILIDADE POR MEIO DE GRAVAÇÃO DIRETA DE PEÇAS.**

DE SOUZA, Jonas. **Eficiência Geral de Equipamento (OEE) Um estudo da associação entre o OEE e outros indicadores da atividade produtiva.** 2017. Tese de Doutorado. Dissertação de Mestrado Profissional.

DELLARETTI FILHO, Osmário; DRUMOND, Fátima Brant. **Itens de controle e avaliação de processos.** Belo Horizonte: Fundação Christiano Ottoni, 1994. 151 p.

DENNIS, Pascal. **Produção Lean Simplificada:** Um guia para entender o sistema de produção mais poderoso do mundo. 2. ed. Porto Alegre: Bookman, 2008. 191 p.

DIAS, Bruno Lemos. **A aplicação do diagrama de Ishikawa no mapeamento de processos e a gestão das operações de construção realizadas por uma companhia de engenharia de construção.** 2019.

DIAS, Matheus Borges. **Proposta de desenvolvimento de uma máquina de corte a laser para facilitar a prototipagem.** 2015.

FALCONI, Vicente. **Qualidade Total - Padronização de empresas.** 2. ed. [S. l.]: Falconi, 2014. 171 p. ISBN 978-85-98254-67-8.

FELIX, John Hebert da Silva. **Como escrever bem: projeto de pesquisa e artigo científico.** Appris Editora e Livraria Eireli-ME, 2018.

GERRING, John. **Pesquisa de estudo de caso: princípios e práticas**. Editora Vozes, 2019.

GIL, Antônio Carlos. **Como Elaborar Projetos de Pesquisa**. 7.ed. São Paulo: Atlas, 2022.

GRILO, André Tiago Silva. **Técnicas de melhoria contínua aplicadas a uma seção de corte laser**. 2018. Dissertação de Mestrado.

GROSBELLI, Andressa Carla. **Proposta de melhoria contínua em um almoxarifado utilizando a ferramenta 5W2H**. 2014. Trabalho de Conclusão de Curso. Universidade Tecnológica Federal do Paraná.

IMAI, Masaaki. **GEMBA KAIZEN**: Uma abordagem de bom senso à estratégia de melhoria contínua. 2. ed. Porto Alegre: Bookman, 2014. 404 p.

LIKER, Jeffrey K. **O modelo toyota**: 14 princípios de gestão do maior fabricante do mundo. 2. ed. Porto Alegre: Bookman, 2007. 316 p.

MALTA, Andre de Almeida Pereira et al. Lean six sigma: aplicação de um roteiro DMAIC como ferramenta para redução do sobrepeso do pacote em uma indústria de biscoitos. **OBSERVATÓRIO DE LA ECONOMÍA LATINOAMERICANA**, v. 21, n. 4, p. 2080-2100, 2023.

MARCONI, Marina de Andrade; LAKATOS, Eva Maria. **Técnicas de pesquisa**. 9.ed. São Paulo: Atlas, 2021.

MARTINS, Petrônio Garcia; LAUGENI, Fernando Piero. **Administração da produção**. 3.ed. São Paulo: Saraiva, 2015.

OHNO, Taiichi. **O SISTEMA TOYOTA DE PRODUÇÃO**: Além da produção em larga escala. 1. ed. [S. l.]: Bookman, 1997. 129 p.

OLIVEIRA, R. U.; FIGUEIREDO, O. C. O impacto da padronização dos desperdícios em uma indústria de autopeças. **Revista Brasileira de Administração Científica**, v. 9, n. 1, p. 115-126, 2018.

PANDE, Peter S; NEUMAN.; Robert P.; KAVANAGH, Roland R. **The Six SIGMA Way**: How GE, Motorola, and Other Top Companies Are Honing Their Performance. Nova Iorque: McGraw-Hill Companies, 2000. 448 p. ISBN 978-0071358064.

PARANHOS FILHO, Moacyr. **Gestão da produção industrial**. Editora Ibpx, 2012.

PESQUISA DA FIERGS: PESQUISA DA FIERGS APONTA PERCEPÇÃO POSITIVA DA SOCIEDADE GAÚCHA SOBRE O SETOR INDUSTRIAL. [S. l.], 29 out. 2023. Disponível em: <https://www.sesirs.org.br/noticia/pesquisa-da-fiergs-aponta-percepcao-positiva-da-sociedade-gaucha-sobre-o-setor-industrial>. Acesso em: 29 out. 2023.

ROTHER, Mike. **Toyota Kata**: Gerenciando pessoas para melhoria da adaptabilidade e resultados excepcionais. Porto Alegre: Bookman, 2010. 256 p.

SABINO, Claudia de Vilhena Schayer et al. O uso do diagrama de Ishikawa como ferramenta no ensino de ecologia no ensino médio. *Educação & Tecnologia*, v. 14, n. 3, 2011.

SANDER, Carlos. **Lean Seis Sigma: O guia básico da metodologia**. 1. ed. São Paulo: CAE, 2021. 120 p

SHINGO, Shigeo. **O Sistema Toyota de Produção**: Do Ponto de Vista da Engenharia de Produção. 1. ed. Porto Alegre: Bookman, 1996. 291 p. ISBN 978-8573071696.

SILVA, Briany Campos do Carmo; TROMBINI, Jéssica de Castro; CORREA, Rafaela Saraiva. **APLICAÇÃO DAS FERRAMENTAS DIAGRAMA DE ISHIKAWA E 5W2H: um estudo de caso em uma microempresa de móveis no Sul de Minas.** -, 2019.

TAQUETTI, Larissa Barbosa et al. Aplicação da integração Lean Six Sigma para melhoria da produtividade em uma linha de montagem. **Journal of Lean Systems**, v. 2, n. 4, p. 42-61, 2017.

TRUMPF GMBH + CO. **Tecnologia de Corte a laser TruLaser 2D**. [S. l.: s. n.], 2012.

WERKEMA, Cristina. **Criando a cultura lean six sigma**. 1. ed. São Paulo: Elsevier, 2012. 249 p.

WERKEMA, Cristina. **Ferramentas Estatísticas Básicas do Lean Seis Sigma Integradas ao PDCA e DMAIC**. 1. ed. Rio de Janeiro: ELSEVIER, 2014. 296 p.

WERKEMA, Cristina. **Métodos PDCA e Demaica e Suas Ferramentas Analíticas**. 9. ed. Rio de Janeiro: EDITORA ATLAS LTDA, 2022. 180 p.

WOMACK, JAMES P; JONES, DANIEL T; ROOS, DANIEL. **The Machine That Changed the World: The Story of Lean Production-- Toyota's Secret Weapon in the Global Car Wars That Is Now Revolutionizing World Industry**. [S. l.]: FreePress, 2007. 352 p. ISBN 978-0743299794.

APÊNDICES

Apêndice A: Instrução de Manutenção Autônoma

ITEM	Executar MA c/ Máquina	AÇÕES	MEIOS	TEMPO PADRÃO	FREQUÊNCIA
A - Máquina de corte a Laser 2D Trumpf					
A01	LIGADA	Verificar existencia de alarmes no painel de operação. Quando existir, abrir chamado de manutenção.	VISUAL	1	<i>Diária</i>
A02	DESLIGADA	Verificar condições, funcionamento e efetuar limpeza do console de comando (monitor, teclado e mouse).	MANUAL/UTILIZAR PANOS QUE NÃO LIBERE FIOS	5	<i>Diária</i>
A03	EM QUALQUER SITUAÇÃO	Verificar condições e funcionamento das botoeiras, chaves e sinaleiros em toda a máquina.	MANUAL / VISUAL	5	<i>Diária</i>
A04	LIGADA	Testar funcionamento dos botões de emergência. Ao acionar a botoeira de emergência, deve aparecer um alarme na tela do painel de comando de segurança acionada. Atenção: não efetuar o teste com equipamento em operação.	MANUAL / VISUAL	1	<i>Diária</i>
A05	LIGADA	Verificar pressão nos manômetros. Caso estiver fora da faixa verde abrir chamado de manutenção. (4p)	VISUAL	5	<i>Diária</i>
A06	LIGADA	Verificar condições e limpeza das lâmpadas da iluminação interna da máquina.	VISUAL	1	<i>Diária</i>
A07	DESLIGADA	Verificar as condições e fixação dos foles.	MANUAL/ VISUAL	5	<i>Diária</i>
A08	LIGADA	Verificar centralidade do raio em relação ao bocal na tela do painel de comando.	VISUAL	1	<i>Diária</i>
A09	DESLIGADA	Efetuar limpeza do cabeçote de corte e ao seu entorno.	MANUAL/ ASPIRADOR/ PANO SECO/AR COMPRIMIDO	5	<i>Diária</i>
A10	LIGADA	Verificar o vidro de proteção na câmera de leitura do trocador de bico, caso o vidro esteja sujo, deve-se efetuar a limpeza. Ver status na tela do painel de comando.	MANUAL/ VISUAL	20	<i>Diária</i>
A11	LIGADA	Se houver necessidade de trocar o vidro de proteção da lente, seguir procedimento anexo no croqui.	MANUAL/ VISUAL	10	<i>Diária</i>

A12	DESLIGADA	Efetuar limpeza dos componentes das janelas de aspiração (chapa de separação, placa de proteção, chapa perfurada, dampers (válvula de aspiração), "tulha de aspiração ou grelha de captação").	MANUAL/ VASSOURA/PÁ/ REMOCAÇÃO DE SUJEIRA	40	<i>Diária</i>
A13	LIGADA	Verificar eficiência da captação de pó. Se não estiver funcionando efetuar limpeza dos damper (válvulas de aspiração).	VISUAL	1	<i>Diária</i>
A14	EM QUALQUER SITUAÇÃO	Efetuar limpeza da bandeja de sucata parte frontal da máquina (retirar a bandeja e efetuar a limpeza). E no piso embaixo da máquina, onde ficam as bandejas.	MANUAL/ VASSOURA/PÁ/ REMOCAÇÃO DE SUJEIRA	10	<i>Diária</i>
A15	EM QUALQUER SITUAÇÃO	Efetuar limpeza das bandejas de sucata na lateral direita da máquina (retirar a bandeja e efetuar a limpeza). E no piso embaixo da máquina, onde ficam as bandejas.	MANUAL/ VASSOURA/PÁ/ REMOCAÇÃO DE SUJEIRA	15	<i>Diária</i>
A16	EM QUALQUER SITUAÇÃO	Efetuar limpeza do piso entorno da máquina.	MANUAL/ VASSOURA/PÁ/ REMOCAÇÃO DE SUJEIRA	20	<i>Diária</i>
A17	EM QUALQUER SITUAÇÃO	Verificar existência de vazamentos de ar comprimido, gás, água ou óleo em toda máquina. Ao perceber qualquer anomalia, abrir chamado de manutenção.	VISUAL	5	<i>Semanal</i>
A18	EM QUALQUER SITUAÇÃO	Efetuar limpeza do piso entorno da máquina.	MANUAL/ MÁQUINA DE LAVAR PISO	40	<i>Semanal</i>
A19	EM QUALQUER SITUAÇÃO	Efetuar limpeza das carenagens, prateleiras e vidros da parte frontal da máquina.	MANUAL/ PANOS/ BORRIFADOR/ PROD. DE LIMPEZA	0	<i>Semanal</i>
A20	EM QUALQUER SITUAÇÃO	Efetuar limpeza das carenagens da lateral direita da máquina.	MANUAL/ PANOS/ BORRIFADOR/ PROD. DE LIMPEZA	0	<i>Semanal</i>
A21	EM QUALQUER SITUAÇÃO	Efetuar limpeza das carenagens da lateral esquerda da máquina.	MANUAL/ PANOS/ BORRIFADOR/ PROD. DE LIMPEZA	0	<i>Semanal</i>
A22	DESLIGADA	Efetuar limpeza das carenagens da parte traseira da máquina.	MANUAL/ PANOS/ BORRIFADOR/ PROD. DE LIMPEZA	0	<i>Semanal</i>

A23	LIGADA	Efetuar limpeza geral da placa de calibração e escovas de limpeza para bocais.	MANUAL/ PANOS QUE NÃO LIBEREM FIOS		<i>Mensal</i>
A24	DESLIGADA	Verificar condições, limpeza e fechamento das calhas.	VISUAL		<i>Mensal</i>
A25	EM QUALQUER SITUAÇÃO	Verificar existência de ruídos e vibrações anormais, peças soltas, quebradas, amassadas, falta de parafusos e perfeito fechamento das portas etc. em toda máquina. Ao perceber qualquer anomalia, abrir chamado de manutenção.	VISUAL	0	<i>Mensal</i>
A26	EM QUALQUER SITUAÇÃO	Verificar se a limpeza parte superior da máquina está acontecendo. No sistema está programada para acontecer a cada 3 meses.	VISUAL		<i>Mensal</i>
B - Mesa					
B01	LIGADA E OPERANDO	Verificar perfeito deslocamento das mesa. Qualquer anormalidade abrir chamado de manutenção.	VISUAL		<i>Diária</i>
B02	DESLIGADA OU LIGADA	Efetuar limpeza das grelhas de apoio das peças, após a limpeza das grelhas, deve-se remover a sujeira em baixo da mesa.	MANUAL/ MÁQUINA DE LIMPAR GRELHAS/ VASSOURA/PÁ	0	<i>Diária</i>
B03	DESLIGADA OU LIGADA	Efetuar limpeza do painel de comando de troca de mesa.	MANUAL/ PANOS/ PRODUTOS DE LIMPEZA/ BORRIFADOR		<i>Diária</i>
B04	DESLIGADA OU LIGADA	Verificar existência de vazamentos de óleo em toda máquina. Ao perceber qualquer anomalia, abrir chamado de manutenção.	VISUAL		<i>Diária</i>
B05	DESLIGADA	Verificar condições e limpeza do pedal no painel de comando de troca de mesa da máquina.	MANUAL/ VISUAL		<i>Semanal</i>
B06	EM QUALQUER SITUAÇÃO	Verificar nível de óleo na unidade hidráulica.	VISUAL		<i>Semanal</i>
B07	DESLIGADA	Verificar condições das escovas de limpeza dos guias da mesa.	VISUAL		<i>Mensal</i>
B08	DESLIGADA	Efetuar limpeza das colunas da mesa (4p).	MANUAL/ VASSOURA/PÁ REMOCAÇÃO DE SUJEIRA	0	<i>Mensal</i>
C - Alimentador Load Master					

C01	DESLIGADO	Verificar condições e fixação das barreiras de segurança, espelhos, gradil. Efetuar limpeza com pano macio, limpo e seco. Obs: Cuidar para não desregular o foco das barreiras de segurança.	MANUAL/ PANO MACIO, LIMPO E SECO		<i>Diária</i>
C02	LIGADA	Testar o funcionamento das barreiras de segurança (cortinas de luz). Ao invadir a área de proteção da máquina, deve aparecer um alarme na tela do painel de comando de segurança acionada e o equipamento não deverá entrar em operação.	MANUAL/ VISUAL		<i>Diária</i>
C03	LIGADA E OPERANDO	Verificar pressão no manômetro. Caso estiver fora da faixa verde abrir chamado de manutenção.	VISUAL		<i>Diária</i>
C04	DESLIGADA	Verificar condições, fixação, limpeza e existência de danos nas ventosas.	VISUAL		<i>Semanal</i>
C05	EM QUALQUER SITUAÇÃO	Verificar existência de vazamentos de ar comprimido, óleo em toda máquina. Ao perceber qualquer anomalia, abrir chamado de manutenção.	VISUAL		<i>Diária</i>
C06	DESLIGADO	Efetuar limpeza geral do Load master.	MANUAL / ASPIRADOR INDUSTRIAL / PANO / AR COMPRIMIDO	0	<i>Semanal</i>
C07	EM QUALQUER SITUAÇÃO	Verificar existência de ruídos e vibrações anormais, peças soltas, quebradas, amassadas, falta de parafusos e perfeito fechamento das portas etc. em toda máquina. Ao perceber qualquer anomalia, abrir chamado de manutenção.	MANUAL / VISUAL		<i>Semanal</i>
D – Chiller					
D01	EM QUALQUER SITUAÇÃO	Verificar existência de ruídos e vazamentos de água nos equipamentos. Ao perceber qualquer anomalia, abrir chamado de manutenção.	VISUAL		<i>Diária</i>
D02	DESLIGADA	Troca dos filtros do chiller (filtro cód: 686123).	MANUAL/ MÁSCARA(CLA SSE FFP3)		<i>Semanal - Terça / Sexta</i>
D03	DESLIGADA	Efetuar limpeza geral de toda parte externa do chiller.	MANUAL / PANOS / PRODUTO DE LIMPEZA	0	<i>Semanal</i>

D04	EM QUALQUER SITUAÇÃO	Verificar o nível de água, se caso estiver abaixo do nível mínimo abrir chamado de manutenção.	VISUAL	0	Semanal
D05	LIGADA	Verificar pressão nos manômetros. Caso estiver fora da faixa verde abrir chamado de manutenção. (2p)	VISUAL		Diária
E - Exaustor					
E01	DESLIGADA	Verificar pressão diferencial no manômetro, caso o mostrador estiver indicando na faixa vermelha deve-se efetuar a troca do pó do sistema de exaustão em recipiente descartável. Descartar recipiente quando estiver acima de 75% da capacidade e colocar recipiente novo.	MANUAL / MÁSCARA (CLASSE FFP3)		Diária
E02	DESLIGADA	Verificar condições dos baldes e vedações. Os mesmos devem ter perfeito fechamento, pois se não irá diminuir a eficiência de captação de pó.	MANUAL / VISUAL		Diária
E03	LIGADA	Verificar eficiência da captação de pó na área de trabalho da máquina. Ao perceber qualquer anomalia, abrir chamado de manutenção.	VISUAL		Diária
E04	EM QUALQUER SITUAÇÃO	Verificar existência de ruídos, vibrações e vazamentos de ar comprimido nos equipamentos. Ao perceber qualquer anomalia, abrir chamado de manutenção.	VISUAL		Semanal
E05	DESLIGADA	Efetuar limpeza geral de todo o exaustor.	MANUAL / PANOS / PRODUTO DE LIMPEZA	0	Semanal
F - Agregados (Trudisk, Estabilizador, Transformador, Secador de Ar.					
F01	DESLIGADA	Efetuar limpeza geral de toda a parte externa do laser Trudisk.	MANUAL	0	Diária
F02	EM QUALQUER SITUAÇÃO	Verificar existência de ruídos e vazamentos de água nos equipamentos. Ao perceber qualquer anomalia, abrir chamado de manutenção.	MANUAL / PANOS / PRODUTO DE LIMPEZA	0	Semanal-Segunda/Quarta/
F03	DESLIGADA	Efetuar limpeza geral de toda parte externa do transformador / estabilizador.	MANUAL / PANOS / PRODUTO DE LIMPEZA	0	Semanal
F04	DESLIGADA	Efetuar limpeza geral de toda parte externa do secador de ar.	MANUAL / PANOS / PRODUTO DE LIMPEZA		Semanal

F05	LIGADA	Testar funcionamento do dreno automático do secador de ar, acionando a botoeira "teste". Caso não sair ar, abrir chamado de manutenção.	MANUAL	<i>Semanal</i>
------------	--------	---	--------	----------------