



ELABORAÇÃO DE UM PLANO DE MANUTENÇÃO PREVENTIVA PARA A INDÚSTRIA METAL MECÂNICA

Leonardo Rissi
152925@upf.br

Professor Me. Guilherme Reschke do Nascimento / Mecânica dos sólidos
guilhermenascimento@upf.br

Professor Dr. Leandro Dóro Tagliari / Engenharia Mecânica e Engenharias
leandrotagliari@upf.br

Comissão Examinadora – Professor Dr. Fábio Goedel, Professor Me. Auro Candido Marcolan

RESUMO

Num cenário onde a economia está cada dia mais globalizada, surgem novos desafios para as indústrias, um deles é a capacidade de atender seus clientes de forma ágil, entretanto manter a qualidade do produto é ainda mais importante, tendo em vista este contexto, faz-se necessário ter cada dia máquinas mais modernas, a atividade de manutenção industrial vem ganhando papel importante, tornando-se uma função estratégica e fundamental para que indústrias não parem suas atividades. Sendo assim, o presente trabalho, visa buscar uma fundamentação teórica sobre manutenção, com ênfase em manutenção preventiva, para poder aplicar os conceitos em uma indústria metal mecânica. Neste sentido, o plano de manutenção é formado e aplicado, focando no setor de corte e dobra, voltado para máquina de corte laser, visto que a mesma é considerada um gargalo para indústria em questão, assim busca-se diminuir custos, aumentar a produtividade através da prevenção. Para formular este plano de manutenção, aplica-se a ferramenta de análise de modo e do efeito de falha (FMEA), com ela é possível definir o nível de risco para cada componente. Através de Pareto é possível destacar os componentes mais críticos, e identificar os pontos que registram as maiores perdas de tempo, com paradas desnecessárias. Através dos resultados obtidos, conclui-se que a empresa apresenta deficiência na identificação de pontos críticos. Assim, o plano de manutenção criado neste artigo, conseguiu demonstrar os itens mais falhos, e com isso espera-se, que novos processos sejam implementados e seguidos, para assim garantir confiabilidade para o equipamento e para gestão.

Palavras chave: corte e dobra; FMEA; gestão; manutenção; indústria metal mecânica.

1 INTRODUÇÃO

Tendo em vista o cenário da indústria metal mecânica atual, onde além da qualidade de produto exige-se cada vez mais velocidade para entrega de produtos e de mão de obra, reinventar-se é uma alternativa para destacar-se e conseqüentemente ganhar espaço no mercado de trabalho.

Para isso as empresas apostam cada dia mais em tecnologia e pessoas, onde acabam por investir em máquinas tecnológicas para suprir suas demandas, onde assim é possível obter qualidade de produto e agilidade na entrega de pedidos, dito isso máquinas necessitam de manutenção, neste sentido, o estudo deste trabalho será focado em máquinas do setor de corte e dobra de uma indústria metal mecânica da região, onde o mesmo é composto por uma máquina de corte laser e dobradeira, máquinas essas que são consideradas gargalos para produção da empresa em questão, sendo que para aumentar a competitividade, uma alternativa para as empresas deste segmento é investir em planos de manutenção, em especial manutenção preventiva, pois o mesmo plano possibilita prever e evitar paradas indesejadas.

De acordo com Seleme (2015), a manutenção tem como um de seus primórdios manter os sistemas e equipamentos em funcionamento, tendo em vista que isso possibilita para fábrica a obtenção de seus produtos com custos menores e dentro de seus prazos de entrega estimados.

Para Kardec e Nascif (2009) o cenário da indústria é cada dia mais competitivo, sem espaço para improvisos, empresas que possuem organização, trabalho em equipe, que buscam criar novas ideias para atender o mercado além de agregar velocidade para suas metas, acabam por prevalecer.

Sabe-se que, para uma empresa obter sucesso, é fundamental investir em pessoas, ou seja, um bom ambiente de trabalho e qualificar seus colaboradores é um diferencial, antes de implementar um plano de manutenção, acredita-se que é importante formar uma boa equipe. Pois sabe-se que, a equipe se tornará responsável pela manutenção da fábrica, pode-se dizer que a equipe é responsável por evitar manutenções, principalmente corretivas, isso porque correção não é previsto, ou seja, para corrigir a máquina ou processo, a fábrica necessita estar parada, o que já causa perdas, além de gerar correria e maior margem para erros, dito isso profissionais de manutenção estão conquistando seu espaço dentro das empresas para desenvolverem suas funções, e com isso evitar deixar equipamentos e processos parados (KARDEC; NASCIF, 2009).

1.1 Justificativa

Segundo Sellitto e Fachini (2014, *apud* HOOSE *et al.*, 2017), é possível inferir que a manutenção desempenha um papel integrador nos diferentes subsistemas de uma organização, visando alcançar melhores resultados e atender às demandas dos clientes internos. A implementação de um programa de gestão da manutenção é essencial para otimizar o desempenho do sistema produtivo e aumentar a competitividade da organização no mercado.

Desta maneira o presente trabalho justifica-se devido, a falta de profissionais capacitados para prestar serviços de manutenção em máquinas de corte laser, além da dificuldade de encontrar insumos para reposição justificam o presente trabalho, tendo em vista que, a partir do momento que um componente falhar e por consequência ocasionar a parada do equipamento e do processo, o tempo que um profissional técnico capacitado leva para se deslocar e prestar assistência, acaba por elevar as perdas não apenas pela parada inesperada, mas também pelo custo da mão de obra.

Outro fator que justifica este trabalho, são os componentes para substituição, por serem difíceis de encontrar, tem como consequência o custo, que se torna alto, cabe dizer ainda que. o presente trabalho irá focar na máquina de corte laser, visto que a mesma é a principal fonte de alimentação da fábrica, alimentando outros setores, como dobra, solda, usinagem e expedição, além de ser utilizada para terceirizar serviço de corte laser.

1.2 Objetivo geral

Formular um plano de manutenção preventiva em uma indústria metal mecânica.

1.2.1 Objetivos específicos

Para que seja possível alcançar o objetivo geral, foram definidos alguns objetivos específicos listados abaixo.

- Realizar estudo de caso em máquina de corte laser para avaliar a viabilidade da implementação de um plano de manutenção preventiva;
- Definir a estratégia de manutenção da máquina de corte laser;
- Utilizar a ferramenta FMEA para identificar a criticidade dos componentes da máquina;
- Utilizar a ferramenta de qualidade Diagrama de Pareto, para classificar a criticidade dos componentes e classificar o tempo desperdiçado com paradas;
- Montar um *checklist*;
- Analisar os resultados obtidos.

2 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

Pode-se afirmar que, uma das áreas de grande importância dentro da engenharia, hoje, é a manutenção. Dito isso, para formular um bom plano de manutenção e aplicá-lo, é necessário que se faça uma boa revisão bibliográfica, a fim de poder obter o conhecimento teórico de quais metodologias e ferramentas existem, e que melhor se aplicam ao problema em questão.

2.1 Definição de manutenção

Para Almeida (2015), pode-se caracterizar a manutenção, como sendo um conglomerado de procedimentos técnicos, que juntos, garantem o bom desempenho dos equipamentos. Também é possível afirmar que, a manutenção garante a qualidade das peças e ferramentas, visto que consequências do bom desempenho das máquinas são peças com qualidade e ferramentas e componentes com maior tempo de vida útil. Ainda, segundo o autor, a palavra manutenção deriva do latim, *manus tenere*, ou seja, manter o que se tem disponível no momento, em outras palavras, preza-se que o sistema produtivo não pare, para poder obter o melhor desempenho e atingir as metas esperadas.

Sabe-se que, o papel da manutenção hoje não é apenas manter o equipamento conservado, mas, sim, manter a função do sistema, pois somente assim será garantida a confiança na atividade e nos equipamentos que compõem o processo (KARDEC; NASCIF, 2009).

Segundo Seleme (2015), em muitos casos, a manutenção não caminha de acordo com a engenharia, visto que a engenharia procura empregar um método de trabalho sistemático, com regras a serem seguidas. Já para desempenhar a função de manutenção, nem sempre há um clima com condições favoráveis, pois, na maioria dos casos o clima é de pressão, sendo necessária a intervenção dos profissionais desta área, para que a tarefa seja executada da maneira mais funcional e rápida possível, e o processo retorne ao seu fluxo normal.

2.2 Modelos de manutenção

Para Almeida (2016), o passar do tempo trouxe muita evolução para a indústria e seus equipamentos e processos. Em consequência disso, foi necessário que a manutenção também evoluísse, para poder adaptar-se às novas demandas. Sendo assim, apenas consertar um equipamento que estragou não é mais suficiente, ou seja, já é hora de antecipar os problemas, para evitar que a indústria sofra com paradas desnecessárias, para isso, a manutenção está recebendo áreas de atuação específicas para cada demanda.

Os tipos de manutenção são: corretiva, preventiva, preditiva, manutenção produtiva total (conhecida pela sigla TPM, abreviação do inglês *Total Productive Maintenance*), manutenção centrada na confiabilidade (MCC, em inglês *Reliability Centered Maintenance* – RCM). Atualmente a gestão da manutenção utiliza a série de normas da ISO (sigla do inglês *International Organization for Standardization* – Organização Internacional para Padronização), a ISO 55000 (ALMEIDA, 2016, p. 16, grifo do autor).

Ainda, segundo o autor, dentro da indústria, a manutenção não é mais responsável apenas pelo bom funcionamento dos equipamentos, mas também desempenha um papel importante na construção de equipamentos, visto que profissionais que exercem a função de manter as máquinas funcionando, se depararam com situações adversas, que exigem conhecimento técnico, para realizar os procedimentos de montagem das máquinas. Essa experiência lhes permite opinar sobre métodos, formas, materiais e componentes que apresentarão um melhor desempenho, possibilitando assim, que, ainda no projeto, se consiga corrigir problemas (ALMEIDA, 2016).

2.2.1 Manutenção corretiva

Segundo as autoras, este método, refere-se ao ato de corrigir ou consertar o que já quebrou, parou. Vale ressaltar que cada indústria tem um conceito, uma ideia diferente de abordagem do sistema de manutenção (GREGÓRIO; SILVEIRA, 2018).

Para Hoose *et al.* (2017), uma indústria que opta por resolver seus problemas apenas através da manutenção corretiva, ou seja, apenas faz a intervenção no momento em que o processo estiver parado por algum defeito do maquinário, a longo e médio prazo, traz sérias consequências para a empresa que o adotar, tendo em vista que os equipamentos começam a degradar. Nesse caso é possível citar uma expressão mais popular: a máquina começa a ficar “sucateada”. Além dos problemas citados anteriormente, em muitos casos, a solução encontrada é algum improviso, “gambiarra”, para manter a máquina funcionando e não parar o processo, o que é pior, porque além de prejudicar a máquina colocam-se em risco os funcionários da empresa, em especial, os operadores, que por sua vez, estão em contato direto com a máquina. Sabendo que, as adaptações aumentam a margem de falhas, podendo ocasionar acidentes, ainda é possível ocorrerem outros problemas como, por exemplo, a perda do material que está sendo processado no momento, aumentando mais o prejuízo.

Segundo Viana (2002, *apud* HOOSE *et al.*, 2017, p. 43),

[...] a manutenção corretiva é a intervenção necessária, feita de forma imediata, para evitar graves consequências aos equipamentos de produção, à segurança do trabalhador ou ao meio ambiente. Ela se configura em uma intervenção aleatória, sem definições anteriores, sendo mais conhecida no ambiente fabril pela expressão: “apagar incêndios”.

Pode-se dizer que a manutenção corretiva deve ser aplicada, em locais onde seja viável fazer o reparo, e, no futuro, fazer a substituição, já visando à manutenção preventiva. Também é possível afirmar que o método corretivo é empregado por profissionais e empresas que não possuem conhecimento de outros modelos de manutenção. Assim, optam por esperar falhar, para então consertar (HOOSE *et al.*, 2017).

2.2.2 Manutenção preventiva

Conforme Almeida (2015), pode-se definir a manutenção preventiva, como intervenções nas máquinas e processos; porém, as intervenções são realizadas a partir de um cronograma, que define data e horário, para que aquele processo esteja parado, e os profissionais possam inspecionar e fazer os reparos necessários nos equipamentos, que compõem o processo produtivo em questão, que caracteriza a manutenção preventiva.

De acordo com o autor, a manutenção preventiva é aplicada em intervalos de tempo, contrapondo-se ao método de manutenção corretiva, visto que a preventiva, tem por objetivo reduzir a taxa de falhas, prevendo-as, ou seja, não se espera falhar para corrigir, mas sim, antecipar-se o problema, intervindo em determinados intervalos. Aplicando este método, a degradação dos equipamentos da indústria é menor (SELEME, 2015).

É importante destacar que, em muitos casos, os fabricantes não disponibilizam manuais sobre seus equipamentos, tornando a manutenção mais desafiadora, visto que, sem o manual, não há informações sobre os planos de prevenção que devem ser seguidos. Dito isso, os profissionais acabam optando por duas soluções, esperar que o componente venha a falhar ou fazer precocemente a substituição (KARDEC; NASCIF, 2009).

Segundo Hoose *et al.* (2017), na MP, destaca-se a necessidade de utilizar tabelas fichas, para que seja possível anotar de forma cuidadosa e rigorosa, os dados de cada máquina, para através da análise dos dados coletados, seja possível pré-determinar com que frequência será realizada a intervenção e a manutenção necessária. Cita-se ainda a importância do acompanhamento de cada dispositivo em manutenção, visto que, para realizar operações de manutenção preventiva, são necessários os componentes estarem em estoque; por isso, é importante acompanhar os intervalos das falhas e registra-las para, quando surgir a demanda, ser suprida.

Segundo Almeida (2015), na Figura 1, pode-se observar uma ficha de execução e controle relacionada à manutenção preventiva, sendo possível observar o cronograma de prevenção.

Figura 1 - Roteiro de execução da manutenção preventiva

Indústria e Comércio de Autopeças													
Ficha de Controle de Execução de Manutenção Preventiva													
Setor: Usinagem													
Referência normática: ISO9001/2008 – Item 6.3 - Infraestrutura ISO14001/2004 item 4.4.1 - Recursos, funções, responsabilidades e autoridades													
Nº da Operação		2013											
		JAN	FEV	MAR	ABR	MAIO	JUN	JUL	AGO	SET	OUT	NOV	DEZ
(01) TROCAR CORREIAS TRAPEZ	P	10						10					10
	E	08						09					10
(02) TROCAR POLIAS TRAPEZ	P	10						10					10
	E	08						09					10
(03) ALINHAM LONG.	P	10						10					10
	E	08						09					10
(04) REVISÃO DO SIST. PNEUM.	P	08	08	08	08	08	08	08	08	08	08	08	08
	E	08	07	08	08	08	08	09	08	09	08	08	09
P: Data prevista para execução da operação E: Data em que foi executada a operação de Manutenção													
Código da Máquina: 02/03/2011	Elaborado por: Técnico da Qualidade					Aprovado por: Gerente de Manutenção							
Código: EL – 6.3/2011													
Editora Érica - Manutenção Mecânica Industrial: Conceitos Básicos e Tecnologia Aplicada - Paulo Samuel de Almeida - 1ª Edição													

Fonte: Almeida (2015, p. 21).

Ainda, Viana (2002, *apud* HOOSE *et al.*, 2017, p. 43) ressalta que

[...] a manutenção preventiva melhora a condição e os métodos de trabalho, a partir do momento em que se repete a intervenção em um equipamento. Introdução à manutenção

industrial: conceitos e casos práticos, a visualização de seus pontos se torna mais nítida a cada ação preventiva, fazendo com que os métodos sejam atualizados constantemente. Atualmente, algumas organizações com muitos talentos individuais conseguem resultados inferiores a outras com menos talentos individuais e mais espírito de equipe.

Para as autoras, além dos diversos pontos positivos da manutenção preventiva, há algumas desvantagens, como os custos da mão de obra, bem como, na manutenção preventiva, máquina e o processo necessitam estar parados, acarretando perdas, além da necessidade de sempre haver itens em estoque, o que é, de certa forma, um ponto negativo, visto que o valor investido em itens de reposição poderá ter outro destino (GREGÓRIO; SILVEIRA, 2018).

2.2.3 Manutenção Preditiva

De acordo com Almeida (2016), a manutenção preditiva, é um método de administrar a própria manutenção dentro de uma empresa. Para tornar isso possível, é necessário analisar todos itens que compõem uma máquina ou uma instalação estabelecida. Para obter um resultado concreto, é necessário realizar uma análise nas condições mais realistas possíveis. Para que isso ocorra, é necessário acompanhar os diferentes eventos que serão gerados a partir dos defeitos, e consequentemente, arquitetar uma atividade de manutenção, para buscar corrigir as imperfeições e sanar os problemas decorrentes. Ainda, segundo o autor citado a aplicação da manutenção busca embasamento nas vistorias realizadas periodicamente, com o intuito de identificar anomalias como aumento de ruídos ou da temperatura ou o surgimento de vibrações decorrentes da utilização e do desgaste.

A manutenção preditiva, que também pode ser chamada de manutenção controlada, manutenção sob condição ou manutenção com base no estado do equipamento, tem como principal objetivo realizar a manutenção do item somente quando necessário, aproveitando ao máximo esse componente durante toda a sua vida útil e reduzindo a necessidade de outros tipos de manutenção, como corretiva e preventiva (GREGÓRIO; SILVEIRA, 2018, p. 23).

Conforme Hoose *et al.* (2017), a manutenção preditiva está disposta junto das práticas de manutenção preventiva. Ressalta-se, ainda, que a preditiva possui ênfase na objetividade, ou seja, procura, além da prevenção, focar em evitar a degradação do equipamento, buscando sempre as melhores alternativas econômicas, o que é possível, devido ao acompanhamento dos processos e às anotações de dados. Nesse sentido, para que seja possível realizar uma vistoria em máquinas dentro de uma indústria, é necessário criar uma ordem de serviço, ou seja, a vistoria caracteriza-se como uma manutenção preditiva quando não são encontradas falhas; em contrapartida, no momento em que se identifica uma imperfeição, a inspeção torna-se uma manutenção corretiva.

Para os autores, a manutenção preditiva tem como propósito de aplicação, a prevenção de problemas recorrentes, através do monitoramento de parâmetros diversos, a fim de permitir que o equipamento ou sistema funcionem de forma correta, para aumentar sua longevidade. É importante dizer que este método de manutenção visa realizar a coleta de informações dos equipamentos em funcionamento, sem que seja necessário interromper os processos. Cita-se ainda que, para adotar este modelo de manutenção numa indústria, os equipamentos devem permitir algumas condições favoráveis, como a instalação de sensores de captação de dados. Antes de implementar um método de manutenção preditiva, deve-se fazer um estudo de caso, tendo em vista alguns fatores, como por exemplo, saber quais equipamentos tem condições de receber os sensores, também é sabido que o custo é alto, bem como é necessário que se analisem os problemas apresentados pela máquina, e se podem ser monitorados (KARDEC; NASCIF, 2009).

2.2.4 *Manutenção Produtiva Total (TPM)*

Conforme Fogliato (2009), o conceito da manutenção produtiva total de origem japonesa, aprimorou os conceitos já existentes. O foco é evitar defeitos de qualidade provocados principalmente pela degradação e pelo mau uso dos equipamentos industriais. Além disso, a TPM pressupõe que os operadores das máquinas possuam maior conhecimento a respeito de cada equipamento, logo, acredita-se que eles possam agregar positivamente no momento em que surgirem demandas de reparos e alterações nos equipamentos. Consequentemente, haverá melhorias na qualidade e na quantidade de produção.

Esses elementos gerais, por sua vez, suportam a busca de perda zero, envolvendo ações mais específicas da manutenção, entre as quais se destacam: (i) atividades de manutenção autônoma conduzidas pela produção; (ii) planejamento das atividades de manutenção, apoiado em procedimentos padronizados próprios para cada equipamento, baseados em tempo de uso ou degradação observada; e (iii) prevenção de quebras já na fase de projeto dos equipamentos, desenvolvendo soluções que facilitem ou eliminem necessidade de manutenção (FOGLIATO, 2009, p.234).

Sabendo que, para o autor, TPM já está na quarta geração, considera-se que haja uma organização engajada da equipe, visando ao corte de perdas e, consequentemente, reduzir custos e aumentar a eficácia da produtividade, contudo, ainda existem limites a serem superados. Pode-se afirmar que essa linhagem possui um sistema de gestão que envolve diversos setores, que trabalham em conjunto, para acabar com as perdas nos diversos processos, independentemente de quais sejam (HOOSE *et al.*, 2017).

2.2.5 *Manutenção Centrada na Confiabilidade (MCC)*

Para as autoras, o principal propósito, é manter a performance dos equipamentos; porém, não é possível descartar as falhas, que impedem que os equipamentos funcionem de forma normal, ficando limitados a desenvolver seu papel. Este modelo de manutenção permite analisar os diversos métodos que podem ocasionar a falha num item, bem como fazer escolhas. Assim, evitam-se paradas por falhas ou falta de componentes (GREGÓRIO; SILVEIRA, 2018).

Segundo Viana (2008, *apud* GREGÓRIO; SILVEIRA, 2018, p. 161, grifo dos autores),

[...] a Manutenção Centrada na Confiabilidade (do inglês *Reliability Centred Maintenance* — RCM) foi desenvolvida entre as décadas de 1960 e 1970, mas apenas em 1978 ela iniciou de fato, com a publicação de um livro de mesmo nome pelo Departamento de Defesa dos Estados Unidos, no qual foram lançadas diretrizes para um gerenciamento eficiente de equipamentos por meio da análise de suas possíveis falhas.

Conforme Almeida (2015), para implementar o método de manutenção centrada na confiabilidade e obter bons resultados, faz-se necessário seguir sete etapas, as quais possibilitam que se desenvolva um método que gerencie e vise excluir ou antecipar falhas. Para isso, é necessário eliminar suas razões. Recomenda-se aplicar o MCC em situações em que há riscos muito altos.

- Eleição do método de levantamento de dados;
- Estudo de meios de falha e efeito;
- Escolha de encargos significantes;
- Eleição das tarefas aceitáveis;
- Análise da eficácia das tarefas;
- Escolha das atividades aceitáveis e pertinentes;

- Identificação da frequência das tarefas.

2.3 Administrando a manutenção

Segundo Bueno (2020), o processo de gestão abrange uma grande área, uma vez se necessita ter o controle desde das máquinas industriais até das ferramentas e dos itens de reposição. Para que seja possível desenvolver essas funções, existem alguns *softwares*, que auxiliam os profissionais e as indústrias, no sentido de terem maior controle sobre as ordens de serviço que chegam ao setor de manutenção.

O planejamento deve ser a única característica da manutenção que contempla todos os recursos (pessoal, serviços, equipamentos, ferramentas, materiais, procedimentos especiais, etc.) e atividades (operação, inspeção, manutenção, infraestrutura, recursos humanos, SMS etc.) envolvidos no processo denominado, parada de manutenção (BUENO, 2020, p.11).

Segundo Mouta (2011), uma boa administração da manutenção implica diversos aspectos positivos e, como consequência do bom desempenho do setor, o investimento financeiro destinado à manutenção por parte da empresa tende a ser maior, o que permite que a equipe defina novos objetivos práticos e os concretize.

Para Viana (2009, *apud* BOFF, 2022, p. 21), “o plano de manutenção que irá ser implementado pela indústria necessita ponderar alguns detalhes como podemos observar abaixo”:

- Informações disponibilizadas pelo produtor.

O responsável pelo projeto deve disponibilizar todas as informações que sejam consideradas de suma importância para que se realizem as inspeções e possíveis manutenções no equipamento, pois, somente assim, será possível evitar a degradação precoce do maquinário.

- Confiança para o trabalho e o meio ambiente.

Faz-se necessário analisar os requisitos autênticos e, deste modo, cabe observar o contato com o meio ambiente, para executar a manipulação das máquinas.

- Atributos dos apetrechos.

Ao adquirir um novo equipamento, é importante que sejam observadas falhas, como o intervalo médio entre uma pane e outra, além de ser necessário considerar as propriedades do conserto.

- Condição financeira.

Implica que gastos que se aplicam a diversos setores dentro de uma indústria, além de gastos com matéria-prima e intervenções na fabricação, são despesas atribuídas ao consumo da manutenção. Sabe-se que, para fazer uma manutenção, exige-se que a fábrica pare; logo, é de suma importância conhecer todas as despesas que estão em questão, para selecionar um plano de desempenho.

2.4 Planejando a manutenção

De acordo com Fabro (2003), o planejamento da manutenção talvez seja o maior responsável pela entrega de qualidade dentro de um plano de manutenção, visto que ele está interligado a diversos fatores que compõem a manutenção dentro de uma indústria. Para que isso ocorra da melhor forma possível, aplica-se a equipamentos que permitam gerenciar e possibilitem a indicação da programação. Ainda o planejamento é responsável pela seleção dos métodos de aplicação da equipe de manutenção nas máquinas, bem como define os métodos que melhor se aplicam a cada situação. A excelência na implementação de um plano de manutenção é

determinante para atingir o triunfo da aplicação. Além disso, somam-se outros fatores para complementar um bom planejamento, como pessoas qualificadas, listas completas de documentos, indicações da engenharia, entre outros fatores.

Ainda, para Fabro (2003), o plano de manutenção não deve ficar estagnado no tempo, mas deve ser monitorado periodicamente com o intuito de aprimorar as funções e as constâncias de realizar as revisões.

2.4.1 FMEA

A análise do modo e do efeito de falha ou *failure mode and effect analysis*, mais conhecida pela sigla FMEA, caracteriza-se por ajudar a reconhecer e a privilegiar riscos potenciais em máquinas ou em sistemas e processos. Cabe dizer ainda que a lógica empregada pela ferramenta consegue definir os riscos de forma hierárquica, ou seja, consegue dizer onde, devem ser focados e aplicados planos de manutenção, em especial, os preventivos (KARDEC; NASCIF, 2009).

Especialistas indicam três níveis de FMEA: projeto, processo e sistema, FMEA no projeto dedica-se a eliminar as causas de falha durante o projeto do equipamento, levando em consideração todos os aspectos, desde manutenibilidade até aspectos ligados à segurança. FMEA no processo focaliza como o equipamento é mantido e operado. FMEA no sistema se preocupa com as falhas potenciais e gargalos no processo global, como uma linha de produção (KARDEC; NASCIF, 2009, p.127).

Para Teles (2019), a análise da falha divide-se em modos, efeitos e causas de falhas. O modo de falha nada mais é do que como a falha se apresenta. A mesma pode ser identificada pela sensibilidade humana, ou seja, através da observação, seja ela auditiva, visual, seja através dos demais sentidos. O efeito de falha, diz respeito às consequências de uma falha num determinado processo. Já as causas devem ser analisadas mais a fundo, identificando os motivos que levaram determinado item a falhar. Segundo Carpinetti (2016), depois de analisar as classes de falhas, ordena-se uma sequência de ações a serem implementadas, para suprimir as falhas, partindo de alguns preceitos de seriedade da ocorrência da falha e da respectiva constatação. Na Figura 2, observa-se que se recomenda uma estratégia capaz de processar operações que aprimorem o sistema.

Figura 2 - Estratégia de priorização de atividades de melhoria



Fonte: Carpinetti (2016, p. 125).

2.4.2 Diagrama de Pareto

Para o autor, esta ferramenta é considerada de grande qualidade e muito importante, dentro das empresas, pois, através dela, é possível identificar problemas, de modo que, ao elaborar gráficos, esta ferramenta permite que os números sejam visualizados de maneira mais fácil. Este método consegue apontar falhas em diversos campos e setores dentro da indústria, como falhas nos sistemas de produção, além de, através de Pareto, ser possível ter maior controle no setor de qualidade, bem como permite que o controle da matéria-prima seja mais rigoroso, evitando desperdícios desnecessários (SANTOS *et al.*, 2020).

Segundo o autor, o Diagrama de Pareto é uma ferramenta criada com o propósito de destacar as maiores causas dos problemas, pois consegue demonstrá-los de forma comum, através de gráficos de barras. Assim, pode-se priorizar determinados problemas e tomar as devidas decisões. É importante citar que este método é aplicado através de planilhas em “Excel”, o que torna muito viável sua aplicação dentro das indústrias (SANTOS *et al.*, 2020).

Para Teles (2019), a etapa inicial, na qual se dá a origem e implementa-se o Diagrama de Pareto, é a mais relevante, pois nela se coletam informações. Para que a ferramenta funcione da melhor forma possível, estas informações necessitam representar a realidade da empresa, visto que esses dados são colocados em tabelas como podemos visualizar na Figura 3, logo abaixo. Com a tabela preenchida, é possível construir gráficos de barras para facilitar a visualização de eventuais problemas.

Figura 3 - Formulário de dados para o gráfico de Pareto

Motivo	Frequência	%	% acumulado

Fonte: Lobo (2010, p.44).

2.5 Vantagens da manutenção

Segundo Seleme (2015), de modo geral, todas as instituições que produzem itens independentemente de quais forem, necessitam fazer manutenções, para poder garantir produtos com qualidade.

Não há qualquer dúvida de que as causas do sucesso começam pela definição correta da Missão da Manutenção, seus Conceitos Básicos, seus novos Paradigmas e, evidentemente, da aplicação de tudo isto em alta velocidade. Dentro deste enfoque, a utilização destas ferramentas levará, certamente, a novos patamares de competitividade (KARDEC; NASCIF, 2009, p.11).

Para Seleme (2015), máquinas bem reguladas produzem mais e desperdiçam menos recursos, além de propiciarem maior longevidade aos equipamentos. Cabe ainda ressaltar que a manutenção é extremamente importante, quando se trata de segurança e qualidade, visto que ela além de manter os equipamentos em funcionamento, preocupa-se com o produto final e a segurança dos profissionais; portanto, um bom plano de manutenção valoriza a empresa em toda sua aparelhagem.

2.6 Setor de corte e dobra

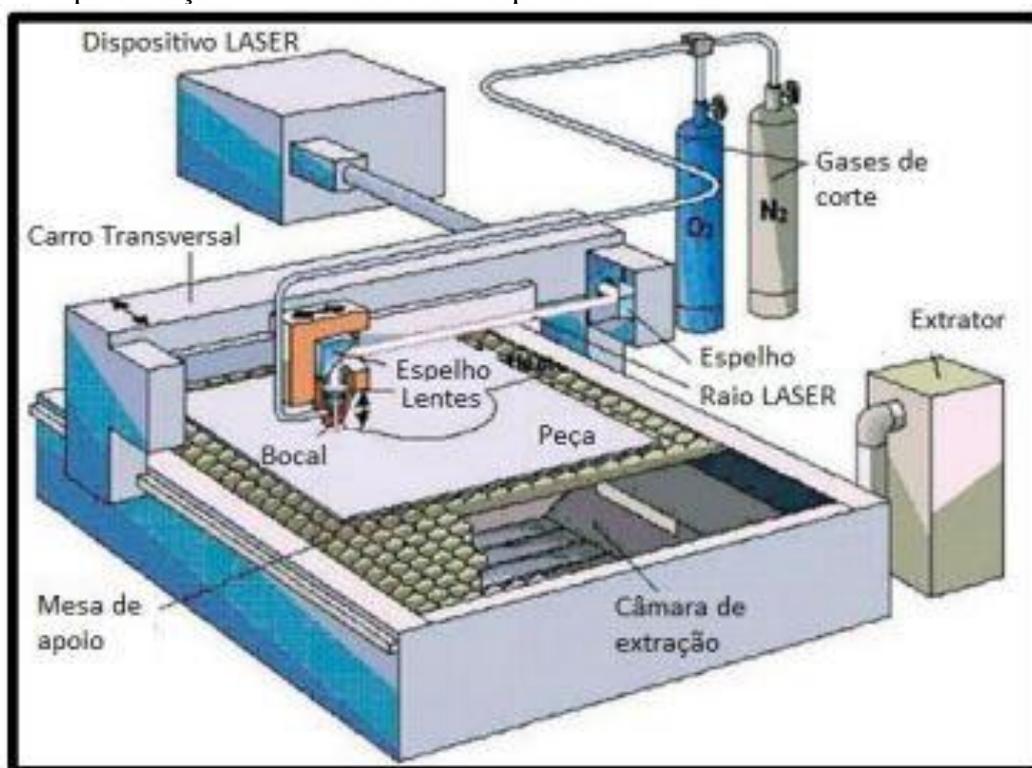
Para Oliveira (2013), diversos setores estão em fase crescimento, como, por exemplo, o setor civil, que atrai diversos investimentos. Conseqüentemente a atividade de corte e dobra, principalmente de materiais como aços, alumínio, vem ganhando destaque e importância, seja para terceirizar, seja para alimentar as fábricas em que estão inseridas. Vale ressaltar que esta atividade é realizada sempre dentro de prazos a serem cumpridos. Ainda, segundo o autor, não é apenas executar a atividade, mas também buscar menor desperdício de matéria-prima, buscar atender em menor tempo possível, para atingir a máxima produção, no mínimo tempo possível. Para isso, as empresas vêm se estruturando, no sentido de adquirirem novas e modernas máquinas que possibilitem atender as demandas.

Na indústria que utiliza o aço como matéria-prima existe uma quantidade considerável de empresas especializadas apenas na transformação dos metais, onde através de processos como corte, dobramento, usinagem e soldagem, essas empresas entregam aos clientes subcomponentes de produtos finais. Os clientes desse mercado são dos mais diversos setores, porém destacam-se os setores automotivo, rodoviário e de implementos agrícolas (QUADROS, 2020, p.8).

2.6.1 Máquinas de corte laser

Para Dias (2015), estes equipamentos, se destacam em relação a outros, pelo fato de contemplarem um grande leque de possibilidades de corte. O processo de corte laser possibilita cortar quase todo tipo de material, além de seu excelente desempenho, o que torna o equipamento e o processo mais atrativos, em comparação a outros processos, como o corte por jato d'água ou corte a plasma. Sabe-se, ainda, segundo o autor, que o processo de corte laser permite cortar uma diversidade de materiais como metais, madeiras, plásticos e muitos outros. Abaixo na Figura 4, a ilustração de como é composto um modelo de máquina de corte laser.

Figura 4 – Representação de um modelo de máquina de corte laser



Fonte: Dias (2015, p. 7).

2.6.2 Métodos de corte laser

Neste tópico, abordam-se apenas dois métodos de corte laser, por serem os métodos mais usuais e pelo fato de um destes métodos compor a máquina que é o objeto de estudo deste trabalho. Conforme os autores, as propriedades de funcionalidade sempre são diferentes nas diversas classes de lasers. Na sequência, são citados os tipos mais importantes (GERCK; LIMA, 1997).

2.6.2.1 Laser tipo CO₂

Conforme Dias (2015), estes modelos caracterizam-se pela mistura gasosa de dióxido de carbono, que é incitado através de correntes elétricas. É importante dizer que a onda elétrica possui “10600 nm”, o que caracteriza máquinas de baixa potência. Por conta disso, não se recomenda trabalhar com metais; são máquinas que entregam eficiência e qualidade aos produtos, se forem empregadas em polímeros, vidros, entre outros, com exceção de metais.

Seguindo a linha de pensamento dos autores anteriores, para Gerck e Lima (1997), além das características já citadas, os lasers tipo CO₂, de alta potência, acima de 1KW, destacam-se quando utilizados em indústrias, para processar materiais, incluindo metais como aços, em consequência da alta qualidade emitida pelo raio laser, que possibilita obter padrões de qualidade em diversas geometrias. Outros fatores que conceituam positivamente os lasers de tipo CO₂, é o fato de os insumos serem baratos, os próprios operadores poderem fazer manutenção, além do baixo consumo de energia elétrica, tornando-se uma alternativa muito lucrativa para empresas que necessitam de alta produção e baixo custo.

2.6.2.2 Laser tipo Fibra Óptica

Para Dias (2015), este modelo de laser, pertence ao “estado sólido”, sendo a fibra responsável pela condução do feixe de laser. A fibra é de “sílica dopada com íterbio com comprimento de onda de 1062 nm”. Esta fibra possui dimensões extremamente pequenas. É importante dizer que os equipamentos laser compostos pela fibra, tem pouca manutenção e apresentam um desempenho melhor, em comparação com máquinas de tecnologias diferentes. Além disso, destaca-se o ótimo desempenho no processo de corte de metais, como alumínio, aço inoxidáveis e outros.

O campo de aplicações dos lasers de fibra óptica é vasto, mas onde de fato podem ter grande vantagem é onde as suas propriedades fazem a diferença em relação a outros tipos de lasers. Um exemplo claro disso é o processamento de materiais, onde a excelente qualidade do feixe e a flexibilidade de operação podem ser requisitos essenciais (MELO *et al.*, 2012, p. 26).

Para os autores, os lasers de fibra caracterizam-se por serem extremamente versáteis quando se necessita trabalhar com diversos tipos de materiais, o que otimiza o processo, fazendo as empresas migrarem cada vez mais para lasers de fibra, de utilizarem máquinas convencionais como as de tipo CO₂, (MELO *et al.*, 2012).

3 METODOLOGIA

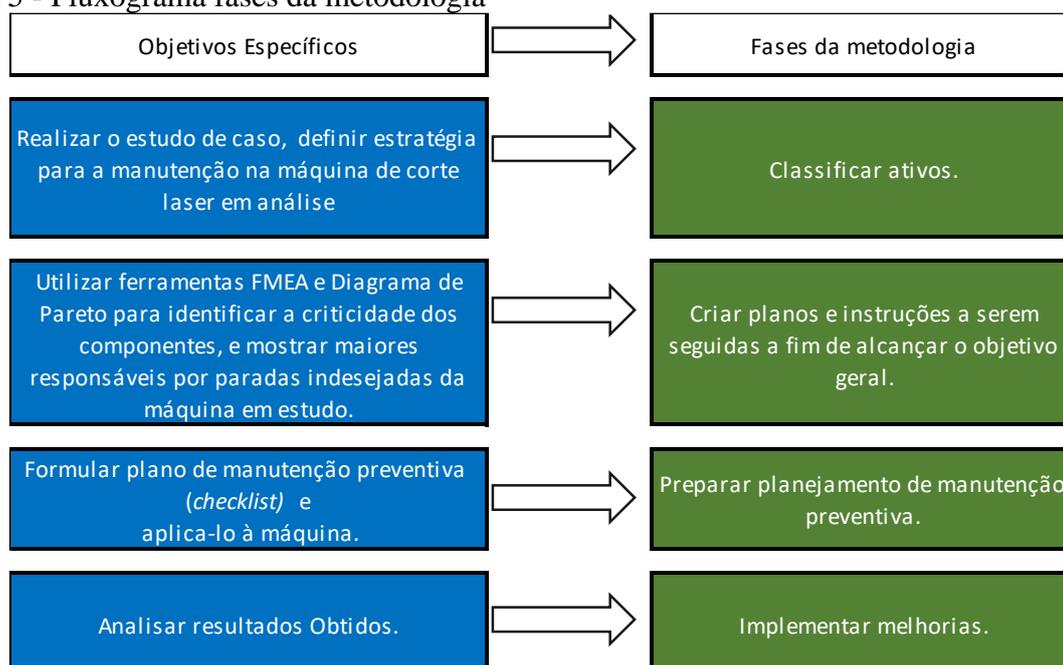
Nesta etapa, serão descritos os métodos empregados para alcançar as metas estipuladas pelo presente trabalho, para isso se faz necessário coletar informações e analisá-las.

3.1 Descrevendo o objeto em análise

Este trabalho foi desenvolvido em uma pequena empresa do ramo metal mecânico, localizada em Guaporé no estado do Rio Grande do Sul, sendo que a mesma ainda busca ganhar seu espaço, com seis anos de atuação, a empresa procura constantemente melhorias para poder consolidar-se no mercado.

O trabalho em questão será direcionado para o setor de corte e dobra, o qual pode ser considerado como um dos mais importantes da indústria, pois o mesmo alimenta diversos outros setores, sendo que o principal componente deste setor, uma máquina de corte laser, a qual será o foco deste trabalho, onde busca-se formar um plano de manutenção preventiva. Logo abaixo na Figura 5, é possível observar uma pequena síntese, onde descreve-se as fases da metodologia aplicada para alcançar o objetivo do trabalho em questão.

Figura 5 - Fluxograma fases da metodologia



Fonte: Do autor (2022).

Pode-se dizer que para realizar este estudo de caso, primeiramente realiza-se a revisão bibliográfica, onde adquiriu-se conhecimento sobre manutenção e suas aplicações específicas, também através de consultas em periódicos foi possível adquirir maior conhecimento sobre ferramentas que auxiliam na manutenção, neste caso em específico, as ferramentas, FMEA e Diagrama de Pareto, e além disso tudo, a revisão da literatura nos permitiu conceituar o setor e a máquina que possibilitarão realizar este estudo de caso.

A segunda fase, classifica-se como coleta de dados, onde busca-se adquirir todas as informações possíveis e pertinentes, para isso realiza-se consultas em fontes notíficas e em manuais de máquinas, através disto, torna-se possível o emprego das ferramentas FMEA e Diagrama de Pareto, e com elas é possível conceituar e identificar os componentes mais críticos, os quais necessitam de maior atenção da gestão da manutenção, através do gráfico de Pareto e possível mostrar e classificar quais pontos são os maiores responsáveis pelas paradas inesperadas.

Após obter os resultados, formula-se o plano de manutenção preventiva onde foca-se principalmente em implementar conceitos novos que permitam a melhoria do desempenho da máquina e do setor como um todo, onde com a aplicação deste plano de manutenção preventiva procura-se diminuir paradas desnecessárias, diminuir custos com peças de reposição, e outros insumos que possuem alto valor.

Por fim, como última fase deste trabalho, será necessário analisar se os resultados obtidos, estão conforme esperados, onde assim será possível concluir se a formulação deste plano de manutenção irá trazer frutos positivos para empresa.

4 RESULTADOS E DISCUSSÃO

Partindo-se da proposta inicial do trabalho, primeiramente buscou-se coletar informações e aplicar algumas ferramentas de engenharia, para assim através dos resultados descritos logo abaixo conseguir avaliar a possibilidade de formar um plano de manutenção preventiva.

4.1 Máquina de estudo.

O Presente trabalho se realizou em torno de uma máquina de corte laser, sendo que o mesmo é utilizado para suprir demandas internas de fabricação, e para terceirização de serviço de corte, por se tratar de uma região forte em indústria metalmeccânica voltada para fabricação de equipamentos, e prestação de serviço de manutenção para empresas dos ramos alimentícios, isso possibilita que surjam demandas urgentes, aumentando o período de horas trabalhadas, em virtude disso o equipamento necessita estar sempre em condições favoráveis, porém a empresa não adota sistema de manutenção preventiva, apenas corretiva, parou concerta, mas em virtude de altas demandas de corte, vem se apresentado válido à ideia de implementar um sistema em que haja espaço para manutenções preventivas. Sendo assim, o presente trabalho, tem o intuito de analisar se há possibilidade de implementação da manutenção preventiva na empresa em especial para máquina de corte laser, para que isso se concretize foram necessárias algumas visitas até a empresa, e para assim poder analisar o setor e o equipamento em questão, além disso, foi necessário realizar uma entrevista com operadores e os demais colaboradores que atuam para manter o funcionamento do equipamento. E desta forma, foram coletados alguns dados para análise, logo abaixo é possível observar através da Figura 6, a máquina de corte laser sendo instalada.

Figura 6 - Máquina de corte laser.



Fonte: Do autor (2020).

4.2 Pontos de falha

A definição destes pontos passou por algumas etapas, dentre elas pode-se dizer que pôr primeiro foi a definição de como se realizaria o trabalho, dito isso, estipulou-se um cronograma, e

por primeira etapa, buscou-se coletar informações pertinentes, é válido destacar que a empresa em questão adota o método de manutenção corretiva, e a mesma não havia dados registrados, o que dificultou, a ideia inicial, porém buscou-se então coletar informações através de conversas com operadores, e responsáveis pela fábrica e demais colaboradores, e ainda buscou-se alguma informação com revendedor da máquina visto que, por se tratar de uma máquina importada, não foi possível consultar o fabricante. Um ponto positivo para o trabalho foi poder observar o processo e fazer algumas anotações, e poder sanar dúvidas.

Após toda análise, foi possível fazer um levantamento de dados, assim definiu-se qual estratégia seria adotada, com isso, partiu-se da ideia de identificar todos os pontos que mais apresentaram falhas, ou seja, identificou-se os pontos mais críticos para o funcionamento da máquina, e com isso montou-se o Quadro 1, conforme pode-se observar abaixo com os itens que mais apresentaram falhas, no período de análise.

Quadro 1 – Pontos de falha.

Máquina de Corte Laser Fibra Óptica EURO FIBER 3000W	
Componentes	Pontos que podem falhar
	Bicos de corte
	Cabeçote
	Cerâmica
	Chiller
	Compressor e rede de ar comprimido
	Controle remoto
	Estabilizador
	Fibra óptica
	Filtros de ar
	Gerador.
	Lentes de proteção.
	Motores servo escravos.
	Sistema de auto lubrificação
	Sistema de exaustão
	Sistema de troca de mesa
	Sistema eletroeletrônico
Tubulação de gás oxigênio e nitrogênio	

Fonte: Do autor (2023).

4.2.1 Análise de modos de falhas e seus efeitos (FMEA).

É importante que se diga que a etapa anterior e a aplicação da ferramenta FMEA, caminharam juntas, já que a etapa anterior identificou os pontos através de entrevistas e observações realizadas no chão de fábrica, mas para que se conseguisse mensurar a criticidade de cada componente, foi necessário aplicar a ferramenta FMEA, a mesma possibilitou classificar a criticidade de cada componente como é possível observar no Apêndice A. Para tornar isso concreto, foi necessário um levantamento de dados minucioso, onde se analisou o modo de falha e seus impactos no processo, para garantir a qualidade da aplicação da ferramenta, atribuiu-se alguns índices, como: ocorrência (O), severidade (S) e de detecção (D), sendo que para cada índice é atribuído um valor entre zero e dez, o que possibilita caracterizar cada componente quanto seu risco de falha, para isso realiza-se a multiplicação entre os fatores, e como resultado desta multiplicação encontra-se o risco RPN. Logo abaixo podemos observar na Tabela 1, onde apresenta-se os pontos de falha, classificados pelo maior índice de risco, ressalta-se que no período de análise a máquina necessitava de uma manutenção nos motores servo escravos, assim explica-se o motivo pelos mesmos estarem apresentando maior risco, em conversa com o operador, o mesmo afirmou que em geral esses motores não costumam apresentar falhas, é importante citar que o serviço de manutenção neste caso é terceirizado, com a empresa revendedora do equipamento.

Tabela 1 – Classificação dos componentes, e sua taxa de falha.

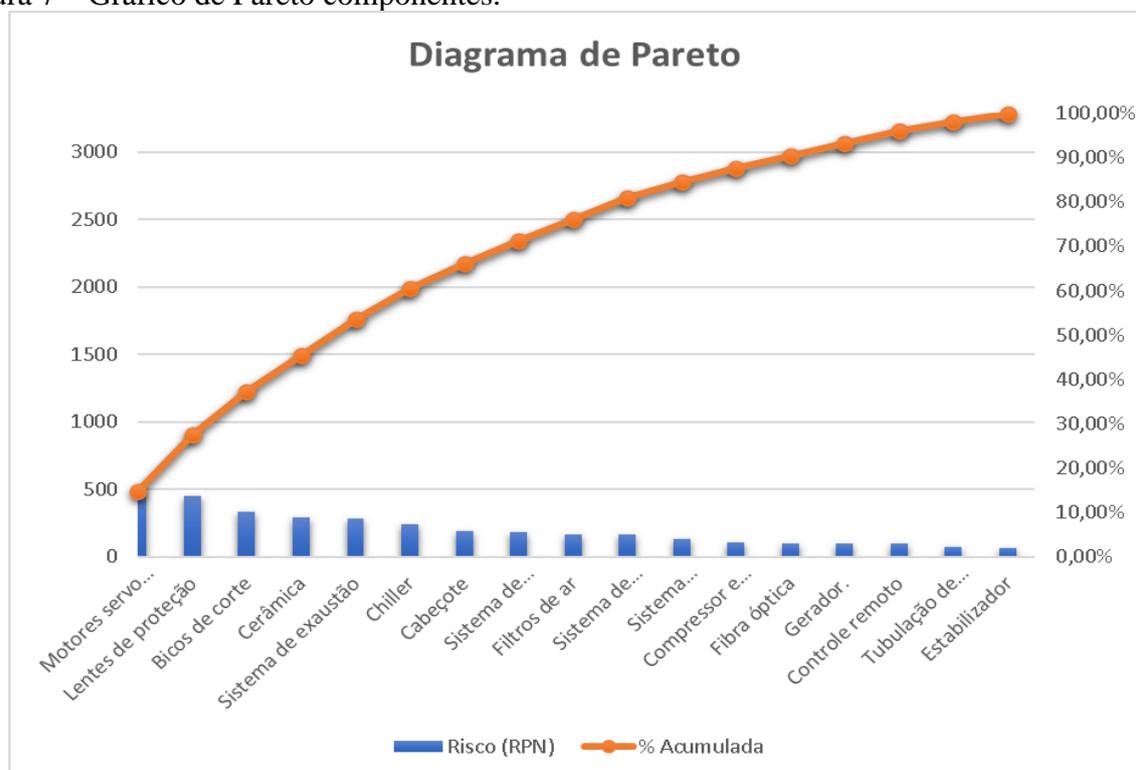
Máquina de Corte Laser; Fibra Óptica EURO FIBER 3000W		
Itens	RPN	%
Motores servo escravos.	512	14,713%
Lentes de proteção	448	12,874%
Bicos de corte	336	9,655%
Cerâmica	288	8,276%
Sistema de exaustão	280	8,046%
Chiller	243	6,983%
Cabeçote	192	5,517%
Sistema de auto lubrificação	180	5,172%
Filtros de ar	168	4,828%
Sistema de troca de mesa	168	4,828%
Sistema eletroeletrônico	128	3,678%
Compressor e rede de ar comprimido	105	3,017%
Fibra óptica	100	2,874%
Gerador.	100	2,874%
Controle remoto	96	2,759%
Tubulação de gás oxigênio e nitrogênio	72	2,069%
Estabilizador	64	1,839%
Total	3480	100,000%

Fonte: Do autor (2023).

4.2.2 Diagrama de Pareto componentes.

Com base na premissa de que o diagrama de Pareto, é uma ferramenta de qualidade, foi empregado para identificar as principais causas de problemas e apresentar dados de forma explicativa por meio de gráficos, optou-se por utilizar essa ferramenta com o objetivo de determinar e classificar os itens mais críticos. Dessa forma, torna-se mais fácil para os colaboradores tomarem decisões e direcionarem suas atividades para os pontos cruciais. Os valores da taxa de risco, previamente definidos pela ferramenta FMEA, foram utilizados para criar o gráfico da Figura 7.

Figura 7 – Gráfico de Pareto componentes.



Fonte: Do autor (2023).

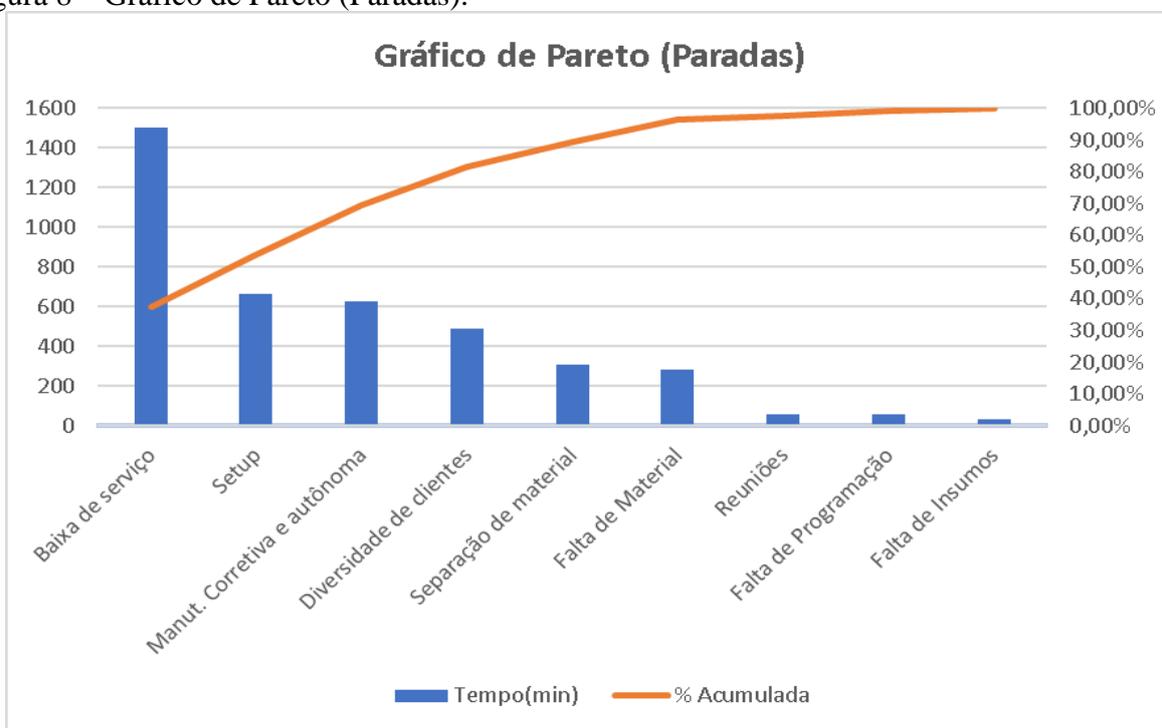
Com aplicação das duas ferramentas, FMEA e diagrama de Pareto, foi possível identificar quais componentes são mais críticos, ou seja, os que mais falham, e com isso, formou-se um plano preventivo de manutenção priorizando os itens mais críticos conforme demonstrado na Figura 7. Em consequência disso criou-se um checklist adequado conforme observa-se no Apêndice B, pois só assim acredita-se que será possível aumentar a vida útil de cada componente e diminuir as paradas indesejadas.

Com a aplicação das ferramentas de qualidade, é possível notar através da Tabela 1 quais componentes são mais críticos, dentre eles destaca-se os motores servo escravos, lentes de proteção, bicos de corte, cerâmicas e o sistema de exaustão, que apresentaram maior índice de risco, sendo que juntos eles representam mais que 53% da taxa de falhas. Apesar dos demais itens formarem 47% da taxa de falhas, são menos impactantes, visto que ela se dissolve em outros doze componentes.

4.2.3 Diagrama de Pareto paradas.

Para conseguir demonstrar quanto tempo é perdido com paradas, aplica-se novamente a ferramenta de qualidade, gráfico de Pareto, com o intuito de mostrar em quais funções são perdidas as maiores quantidades de horas, para obter um resultado verdadeiro é de suma importância, que os valores apontados pelos colaboradores estejam de acordo com a realidade, pois, contribui com a aplicação de planos de aprimoramento para gestão da empresa. Abaixo é apresentado o gráfico de Pareto através da Figura 8.

Figura 8 – Gráfico de Pareto (Paradas).



Fonte: Do autor (2023).

Conforme é mostrado na Figura 8, o maior responsável por paradas indesejadas são as baixas de serviço, visto que representa 37,31% do tempo em que a máquina está parada, além deste item destaca-se os tempos de setup, e de manutenção corretiva e autônoma, que somados caracterizam

outros 32,089% do tempo parado, assim demonstra-se que o equipamento necessita de um plano de manutenção para obter melhorias.

É importante citar que a empresa se localiza dentro da cidade, e por isso atende muitas pessoas físicas, fazendo com que a diversidade de clientes seja elevada, isso também faz com que a procura por serviços de menor expressão seja alta, o que gera uma significativa demanda de tempo, visto que muitas vezes é parado o processo para atendimento destes clientes. Além disso, essas paradas caracterizam um tempo de setup com números expressivos. Outro fator a ser levado em consideração é que em alguns casos o próprio operador para o processo para fazer o atendimento ao cliente, e muitas vezes sem retorno financeiro desejado.

4.3 Sugestão de programa de manutenção preventiva

Ao saber quais pontos são mais críticos e onde são provocadas as maiores paradas indesejadas, elaborou-se uma planilha de manutenção em formato de checklist, conforme podemos observar no Apêndice B.

Desta forma, elaborou-se uma planilha no formato de checklist no intuito de facilitar a visualização dos problemas, visto que a mesma será alimentada pelo operador e responsáveis pela realização de manutenções, seja ela realizada internamente ou terceirizada. Com a implementação desta ficha busca-se registrar falhas, a frequência em que se realiza manutenções substituições de componentes, a ficha busca se tornar um documento de registro contendo informações para controle do equipamento.

Este conteúdo contempla todos os componentes que podem falhar, sendo que para cada um deles montou-se uma frequência específica de aplicação de manutenção visando prevenir problemas e diminuir o tempo perdido com paradas e falhas, na planilha checklist está descrito ainda como deve-se proceder ao executar uma determinada manutenção visto que a mesma indica como a máquina deve estar, se ligada, desligada ou operando, nela indica-se quem deve realizar a manutenção. A ficha de manutenção considera um campo destinado para substituição de componentes, ou seja, cria-se um espaço para controle de insumos, onde os colaboradores que por ventura substituírem algum item, devem informar qual item, quantidade e data de substituição, para que com isso a gestão da empresa consiga controlar e visualizar de uma melhor forma a frequência de troca de itens além, é claro de conseguir controlar o custo.

Com os resultados obtidos através do Pareto e FMEA, a planilha demonstra como aplicar a manutenção a cada componente, sendo designado a frequência, ou seja, informando como os colaboradores devem proceder para cada item, sendo estipulado a realização de manutenções diárias, semanais, mensais e anuais, e quem deve realiza-la com intuito de proporcionar um melhor desempenho para máquina. Sendo que, quando a tarefa for realizada com sucesso o campo deve ser preenchido com “X”, mas quando surgirem situações anormais, o colaborador deve deixar o campo em branco, e informar o responsável pela manutenção, além de que, no checklist encontra-se um campo para anotações, onde deve-se informar a data do ocorrido e descrever a situação encontrada, tudo isso é possível ser observado na ficha checklist Apêndice B. Acredita-se, que a implementação do plano preventivo, os tempos de paradas diminuam já que, a maioria das manutenções serão agendadas, como por exemplo num período de baixa de serviço.

4.4 Sugestão de programa de manutenção corretiva MC

Apesar da eficácia da implementação do plano de preventiva, não está descartada a utilização da MC, visto que, ainda é necessário amadurecer a proposta da preventiva, é importante lembrar que a empresa não possui registros das manutenções realizadas anteriormente, essa falta de informação dificulta a implementação do plano preventivo. Por isso, a manutenção corretiva ainda é necessária para garantir que a máquina não fique parada. Além é claro de que muitas situações

podem ocorrer, principalmente nas manutenções programadas com intervalos de tempo maiores o que aumenta o risco de que seja necessária uma manutenção corretiva.

Com isso, na ficha checklist encontrada no Apêndice B, permite que todas as informações sejam inseridas, como por exemplo se a manutenção realizada, é de modo preventivo ou corretivo, além de permitir informar quem realizou e se restaram itens com pendências, por fim é possível afirmar que os dois métodos de manutenção devem caminhar juntos para que se garanta a eficiência do equipamento e do processo como um todo.

5 CONCLUSÕES

Tendo em vista a revisão da literatura e os dados obtidos através de ferramentas de engenharia utilizadas neste trabalho, pode-se concluir que a empresa necessita de um plano de manutenção preventiva, não apenas para diminuir perdas com insumos e paradas, mas também para que se registre informações e aumente o controle interno no setor de corte e dobra.

Portanto, como primeira etapa realizou-se o estudo de caso junto com a empresa, através de conversas com diretor e colaboradores que atuam no setor de corte e dobra, pois desta maneira foi possível coletar todas as informações pertinentes. Sendo assim, foi possível através destes dados, decidir qual seria a melhor estratégia para ser aplicada, e desta forma optou-se por um plano de manutenção preventivo (checklist), onde para que isso se concretiza-se necessitou-se do uso de algumas ferramentas de qualidade.

Sendo assim, identificou-se os possíveis pontos de falha, e com o auxílio da ferramenta FMEA, determinou-se quais são os itens que mais falham, e sua criticidade, o que permite saber quais componentes necessitam de maior atenção.

Como consequência da aplicação da análise de modos de falhas e seus efeitos, aplicou-se a ferramenta diagrama de Pareto, para conseguir demonstrar a criticidade de cada componente analisado. Além disso, aplicou-se Pareto para demonstrar o tempo perdido com paradas desnecessárias, com isso, foi possível elaborar o plano de manutenção preventiva que conseguisse melhorar o desempenho da máquina de corte laser, e consequentemente o desempenho da empresa como um todo, visto que este equipamento é considerado um gargalo.

Em suma, ao analisar os resultados obtidos com as ferramentas de qualidade, chegou-se à seguinte conclusão, que o método de manutenção mais indicado para o problema em questão, e dentro das condições da empresa é a manutenção preventiva através de um checklist, já que assim, torna-se fácil o processo de acompanhamento de cada componente, permitindo monitorar o mesmo, conseguindo assim prever uma possível falha, e permitindo ser marcada em datas de menor demanda de trabalho a manutenção corretiva. Por sua vez, a ficha de manutenção permite ainda que seja controlado o consumo de insumos de reposição, permitindo assim um maior controle de custos.

Pode-se concluir que os objetivos propostos no trabalho foram alcançados, os resultados possibilitaram que a empresa se enxerga de maneira mais clara os pontos críticos e como pontua-los. Levando em consideração que a empresa sempre presa pela melhoria, os resultados alcançados pelo presente artigo, propuseram o aprimoramento de seus processos, e assim elevando sua confiabilidade e capacidade de satisfazer a demanda do mercado.

Para trabalhos futuros recomenda-se realizar um estudo de caso para viabilizar a aplicação da manutenção produtiva total (TPM), para empresa em questão.

6 REFERÊNCIAS

ALMEIDA, M. T. **Manutenção Preditiva: Confiabilidade e Qualidade**. Itajubá: MTAEV, 2018. Disponível em: <http://www.mtaev.com.br/download/mnt1.pdf>. Acesso em: 30 ago. 2022.

ALMEIDA, P. S. D. **Manutenção mecânica industrial: conceitos básicos e tecnologia aplicada.** São Paulo: Saraiva, 2015. *E-book*. Disponível em: <https://integrada.minhabiblioteca.com.br/#/books/9788536519791/>. Acesso em: 04 nov. 2022.

ALMEIDA, P. S. D. **Manutenção mecânica industrial: princípios técnicos e operações.** São Paulo: Saraiva, 2016. *E-book*. Disponível em: <https://integrada.minhabiblioteca.com.br/#/books/9788536519807/>. Acesso em: 20 out. 2022.

BOFF, J. **Proposta de implantação da manutenção preventiva na indústria alimentícia.** Passo Fundo: Universidade de Passo Fundo 2022.

BUENO, E. R. F. **Gestão da manutenção de máquinas.** São Paulo: Contentus, 2020. Disponível em: <https://plataforma.bvirtual.com.br/Leitor/Publicacao/185186/pdf/19>. Acesso em: 25 out. 2022.

CARPINETTI, L. C. R. **Gestão da qualidade: Conceitos e Técnicas.** 3. ed. São Paulo: Atlas, 2016.

CASTELANI, M. **Projeto de um Exoesqueleto em Membros Inferiores na indústria.** Passo Fundo: Universidade de Passo Fundo 2022.

DIAS, M. B. **Proposta de desenvolvimento de uma máquina de corte laser para facilitar a prototipagem.** 2015. 69f. Projeto de Graduação (Engenharia Mecânica) - Universidade de Brasília, Brasília, 2015. Disponível em: https://bdm.unb.br/bitstream/10483/13610/1/2015_MatheusBorgesDias.pdf. Acesso em: 18 nov. 2022.

FABRO, E. **Modelo para planejamento de manutenção baseado em indicadores de criticidade de processo.** 2003. 99f. TCC (Especialização em Engenharia de Produção) - Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis, 2003. Disponível em: <https://repositorio.ufsc.br/bitstream/handle/123456789/84910/198455.pdf?sequence=1&isAllowed=y>. Acesso em 02 nov. 2022.

FOGLIATO, F. **Confiabilidade e Manutenção Industrial.** São Paulo: Grupo GEN, 2009. *E-book*. Disponível em: <https://integrada.minhabiblioteca.com.br/#/books/9788595154933/>. Acesso em: 06 out. 2022.

GERCK, E.; LIMA, J. L. O corte a laser: da teoria à máquina. *In: International Seminar "Láseres: usos y aplicaciones industriales, 97, 1997. Anais...* Cidade do México: Instituto Nacional de Investigaciones Nucleares, 1997. Disponível em: https://www.researchgate.net/profile/Ed-Gerck/publication/287108885_O_corte_a_laser_da_teor_a_maquina_tutorial/links/6157fd7ce7bb415a5d4c5b86/O-corte-a-laser-da-teoria-a-maquina-tutorial.pdf. Acesso em 17 nov. 2022.

GREGÓRIO, G. F. P.; SILVEIRA, A. M. **Manutenção industrial.** São Paulo: Grupo A, 2018. *E-book*. Disponível em: <https://integrada.minhabiblioteca.com.br/#/books/9788595026971/>. Acesso em: 10 nov. 2022.

GRENZEL, R. **Aplicação da ferramenta FMEA como suporte para a manutenção preventiva em sistemas fotovoltaicos.** Passo Fundo: Universidade de Passo Fundo 2020.

HOOSE, A. *et al.* **Introdução a manutenção industrial: conceitos e casos práticos.** Passo Fundo: Universidade de Passo Fundo, 2017.

KARDEC, A.; NASCIF, J. **Manutenção: função estratégica**. 3. ed. Rio de Janeiro: Qualitymark, 2009.

LOBO, R. N. **Gestão da Qualidade**. 1. ed. São Paulo: Érica, 2010.

MELO, M. *et al.* Lasers de fibra óptica de alta potência: conceito, limitações e aplicações.

Artigo Geral, v. 34, n.1, p. 1-7, nov. 2012. Disponível em:

<https://www.spf.pt/magazines/GFIS/106/article/836/pdf#:~:text=A%20elevada%20efici%C3%Aancia%2C%20a%20excelente,de%20estado%20s%C3%B3lido%20ou%20g%C3%A1s>. Acesso em: 20 nov. 2022.

MOUTA, C. S. P. **Gestão da manutenção**. 2011. 159f. Dissertação (Mestrado em Engenharia) - Universidade da Beira Interior, Covilhã, 2011. Disponível em:

<https://ubibliorum.ubi.pt/bitstream/10400.6/3810/1/Tese%20Final%20-%20Carla%20Mouta.pdf>. Acesso em: 22 out. 2022.

NEPOMUCENO, L. X. **Técnicas de Manutenção Preditiva**. São Paulo: Edgard Blucher, 1989.

OLIVEIRA, G. H. **Mapeamento do fluxo de valor: um estudo de caso de uma empresa de corte e dobra de aço**. 2013. 51f. TCC (Curso de Engenharia de Produção) - Universidade Estadual de Maringá, Maringá, 2013. Disponível em:

http://www.dep.uem.br/gdct/index.php/dep_tcc/article/view/1887. Acesso em: 26 out. 2022.

PIERUSCHKA, E. **Principles of Reliability**. Estados Unidos: Prentice-Hall, 1963.

QUADROS, G. N. **Análise dos fatores influenciadores na não conformidade dimensional do processo de dobramento**. 2020. 60f. TCC (Curso de Engenharia Mecânica) - Universidade de Caxias do Sul, Bento Gonçalves, 2020. Disponível em:

<https://repositorio.ucs.br/xmlui/bitstream/handle/11338/6471/TCC%20Giovani%20Nichetti%20de%20Quadros.pdf?sequence=1&isAllowed=y>. Acesso em: 14 nov. 2022.

SANTOS, A. P. *et al.* **Utilização da ferramenta diagrama de Pareto para auxiliar na identificação dos principais problemas nas empresas**. 2020. 12f. Artigo (Curso de Administração) - Uni Salesiano, Araçatuba, 2020. Disponível em:

<https://unisalesiano.com.br/aracatuba/wp-content/uploads/2020/12/Artigo-Utilizacao-da-ferramenta-Diagrama-de-Pareto-para-auxiliar-na-identificacao-dos-principais-problemas-nas-empresas-Pronto.pdf>. Acesso em: 06 nov. 2022.

SELEME, R. **Manutenção industrial: mantendo a fábrica em funcionamento**. Curitiba: InterSaberes, 2015. Disponível em:

<https://plataforma.bvirtual.com.br/Leitor/Publicacao/37148/epub/0>. Acesso em: 28 out. 2022.

SOEIRO, M. V. A. **Gestão da manutenção**. Londrina: Educacional SA, 2017.

TELES, J. **Planejamento e controle da manutenção descomplicado: uma metodologia passo a passo para implementação do PCM**. Brasília: Engeteles, 2019.

APÊNDICES

APÊNDICE A – FMEA Máquina de corte laser.

FMEA Máquina de Corte Laser								
Setor: Corte e dobra.				Data: 25/04/2023				
Componente	Função	Modo de falha	Consequência da falha	O	S	D	RPN	Sugestão.
Bicos de corte	Direcionar feixe de laser e gases	Desalinhamento do feixe de laser e gás.	Perda de qualidade de corte.	8	7	6	336	Operador deve conferir toda vez que iniciar à máquina, para diminuir a ocorrência.
Cabeçote	Consegue desempenhar diversas funções como fazer leitura cartesiana de chapas, disparar raio laser calibração.	Não movimenta-se.	Máquina não opera	3	8	8	192	Sempre verificar o nível de óleo, para manter o barramento lubrificado.
Cerâmica	Isolar o calor do bico e proteger a cabeça do laser.	Vazamento de gás, não é possível acoplar bico de corte.	Perda de qualidade de corte.	6	8	6	288	Operador deve conferir toda vez que iniciar à máquina, para diminuir a ocorrência.
Chiller	Manter a água em temperatura adequada	Não manter água na temperatura ideal	Máquina não opera	3	9	9	243	Observar sensor de temperatura diariamente durante a operação.
Compressor e rede de ar comprimido	Permite o funcionamento do sistema de exaustão e refrigeração de bico	Ambiente impróprio para corte.	Impurezas na cabine de corte, aquecimento de bico troca de mesas manual..	3	5	7	105	A manutenção preventiva, deve ajudar a diminuir a ocorrência de falhas.
Controle remoto	Permite operar a máquina	Dificuldade de operação	Perda de eficiência no processo	2	6	8	96	Operador deve tomar cuidado ao manusear.
Estabilizador	Estabiliza possíveis quedas de energia.	Oscilação de energia	Queima de componentes.	1	8	8	64	A manutenção preventiva, deve ajudar a diminuir a ocorrência de falhas.
Fibra óptica	Transporta o raio laser.	Sem feixe de raio laser.	Máquina não opera	1	10	10	100	Nunca operar máquina sem gás, ou sem a lentes de proteção.
Filtros de ar	Impedem a entrada de impurezas, no sistema eletroeletrônico.	Filtros entupidos.	Não permite passagem de ar, comprometendo sistemas.	4	7	6	168	A manutenção preventiva, deve ajudar a diminuir a ocorrência.
Gerador.	Gera feixe laser	Não gerar feixe laser.	Máquina não opera	1	10	10	100	A manutenção preventiva, deve ajudar a diminuir a ocorrência.
Lentes de proteção	Proteção da fibra.	Não proteger fibra	Queima da fibra.	8	8	7	448	A manutenção preventiva, deve ajudar a diminuir a ocorrência.
Motores servo escravos.	Movimentar cabeçote nas direções x,y e z.	Não é possível movimentar cabeçote da máquina.	Máquina não opera	8	8	8	512	A manutenção preventiva, deve ajudar a diminuir a ocorrência.
Sistema eletroeletrônico	Responsável por todos os sensores interfere em diversos pontos, desde nível de óleo, calibração, referenciamento.	Impossível referenciar máquina, entre outros fatores	Máquina não opera	2	8	8	128	A manutenção preventiva, deve ajudar a diminuir a ocorrência.
Sistema de exaustão	Eliminar impurezas do interior da cabine de corte	Impurezas na cabine de corte.	Aumenta risco de queima de lentes, desconforto para o operador.	5	8	7	280	A manutenção preventiva, deve ajudar a diminuir a ocorrência.
Sistema de auto lubrificação	Lubrificar barramentos.	Menor passagem de óleo no barramento.	Aumenta o desgaste do barramento.	5	6	6	180	A manutenção preventiva, deve ajudar a diminuir a ocorrência.
Sistema de troca de mesa	Alimentar a cabine de corte	Torna-se necessário, fazer manualmente troca de mesas.	Reduz a eficiência do processo.	4	7	6	168	A manutenção preventiva, deve ajudar a diminuir a ocorrência.
Tubulação de gás oxigênio e nitrogênio	Responsável por alimentar o sistema de corte da máquina.	Falta de gás no sistema de corte.	Perda de pressão de corte, cabeçote sem refrigeração, risco alto de queima de lentes e fibra, não é possível operar a máquina.	1	9	8	72	A manutenção preventiva, deve ajudar a diminuir a ocorrência.

Fonte: Do autor (2023)

APÊNDICE B – Planilha de manutenção preventiva – Checklist

Plano de manutenção preventiva - Checklist.														Substituição de itens		
Responsável	Operador	Operador	Operador	Operador	Operador	Operador	Manutenção	Manutenção	Manutenção Ex	Operador	Operador	Operador	Manutenção	Informar quantidade, e item substituído.		
Função	Realizar calibração.	Conferir alinhamento de bico.	Conferir cerâmica .	Conferir limpeza de bandejas de sucata.	Conferir limpeza de lentes.	Conferir nível de óleo.	Conferir rede de ar comprimido.	Conferir rede de gás oxigênio e nitrogênio.	Conferir sensores e cabos, (fibra quando necessário).	Conferir sistema de exaustão.	Conferir temperatura de água do	Realizar limpeza de filtros de ar.	Realizar limpeza das mesas.	Item	Quant.	Data
Máquina	ligada	ligada	ligada	desligada	ligada	ligada	ligada	ligada	desligada	operando	operando	desligada	desligada			
Frequência	Diário	Diário	Diário	Semanal	Diário	Semanal	Mensal	Mensal	Anual	Mensal	Diário	Semanal	Mensal			
01/05/2023																
02/05/2023																
03/05/2023																
04/05/2023																
05/05/2023																
06/05/2023																
07/05/2023																
08/05/2023																
09/05/2023																
10/05/2023																
11/05/2023																
12/05/2023																
13/05/2023																
14/05/2023																
15/05/2023																
16/05/2023																
17/05/2023																
18/05/2023																
19/05/2023																
20/05/2023																
21/05/2023																
22/05/2023																
23/05/2023																
24/05/2023																
25/05/2023																
26/05/2023																
27/05/2023																
28/05/2023																
29/05/2023																
30/05/2023																
31/05/2023																
Observações: Manutenções mensais e anuais serão informadas as datas de realizações.																
Anotações:																

Fonte: do autor (2023)