

UNIVERSIDADE FEDERAL DE SANTA CATARINA
CENTRO TECNOLÓGICO DE JOINVILLE
CURSO DE ENGENHARIA AUTOMOTIVA

MURILO STALL FRANÇA

ANÁLISE DAS OPORTUNIDADES DE MELHORIA NO PROCESSO DE CORTE
POR PLASMA EM UMA INDÚSTRIA DE IMPLEMENTOS RODOVIÁRIOS

Joinville

2023

MURILO STALL FRANÇA

ANÁLISE DAS OPORTUNIDADES DE MELHORIA NO PROCESSO DE CORTE
POR PLASMA EM UMA INDÚSTRIA DE IMPLEMENTOS RODOVIÁRIOS

Trabalho apresentado como requisito para obtenção do título de bacharel no Curso de Graduação em Engenharia Automotiva do Centro Tecnológico de Joinville da Universidade Federal de Santa Catarina.

Orientador: Dr. Ricardo Aurélio Quinhões Pinto

Joinville

2023

MURILO STALL FRANÇA

ANÁLISE DAS OPORTUNIDADES DE MELHORIA NO PROCESSO DE CORTE
POR PLASMA EM UMA INDÚSTRIA DE IMPLEMENTOS RODOVIÁRIOS

Este Trabalho de Conclusão de Curso foi julgado adequado para obtenção do título de bacharel em Engenharia Automotiva, na Universidade Federal de Santa Catarina, Centro Tecnológico de Joinville.

Joinville (SC), 30 de junho de 2023.

Banca Examinadora:

Dr. Ricardo Aurélio Quinhões Pinto
Orientador
Presidente

Dr. Carlos Mauricio Sacchelli
Membro
Universidade Federal de Santa Catarina

Dr. Luis Fernando Peres Calil
Membro
Universidade Federal de Santa Catarina

A meus pais, Celso e Maria, e
minha namorada Danielle

AGRADECIMENTOS

Primeiramente, agradeço a Deus por estar presente em minha vida e me conceder força, sabedoria e perseverança ao longo de toda a minha trajetória acadêmica e no desenvolvimento deste trabalho. Com Sua proteção e orientação, tudo foi possível, sou grato por todas as oportunidades e por ser a base sólida em que construo minha vida.

Quero expressar minha profunda gratidão aos meus pais Celso Roberto França e Maria Stall França, à minha namorada Danielle Bobato Menon, pelo apoio incondicional e encorajamento ao longo de minha trajetória acadêmica. Sou grato pelo constante incentivo, compreensão, paciência e dedicação em me ajudar a alcançar meus objetivos. O apoio, carinho e incentivo que recebi de vocês foram fundamentais para que eu pudesse alcançar esta conquista.

Aos amigos e pessoas que fizeram parte da minha vida e me auxiliaram ao longo do caminho, em especial ao Gustavo Sandro Corrêa, quero expressar minha profunda gratidão. Com toda ajuda e o suporte, foi possível superar os obstáculos e construir este trabalho.

Agradeço à UFSC e ao Professor Dr. Ricardo Aurélio Quinhões Pinto, cuja orientação, suporte e incentivo foram essenciais para o meu desenvolvimento acadêmico e pessoal. Sou grato pelo conhecimento adquirido e pelas oportunidades que me foram proporcionadas.

Agradecimento especial à Fundação Logosófica e aos ensinamentos do Maestro Carlos Bernardo González Pecotche, pela orientação na busca pela superação e evolução consciente. Com os conhecimentos e ferramentas adquiridas na Logosofia, posso crescer como ser humano, compreender o valor da vida e desenvolver minha consciência, buscando a excelência em todas as áreas da minha vida.

Por fim, agradeço à empresa Joinville Implementos Rodoviários, pela oportunidade de crescimento profissional e por ampliar meus conhecimentos com o desenvolvimento deste trabalho. Sou grato por ter tido a oportunidade de aplicar o que aprendi na prática e por todo o suporte e recursos que me foram disponibilizados.

Una ao esforço a inteligência; você trabalhará menos e fará mais.
(CARLOS BERNARDO GONZÁLEZ PECOTCHE, 1963).

RESUMO

O crescimento da indústria do implemento rodoviário exige que os fabricantes estejam atentos as demandas do mercado e que o sistema produtivo seja aprimorado de forma constante. É fundamental para o sucesso do negócio, a adoção de práticas da gestão enxuta, criando oportunidades de melhoria, por meio da eliminação dos desperdícios. O presente trabalho tem como objetivo analisar as oportunidades de melhoria no processo de corte por plasma em uma indústria de implementos rodoviários. O desenvolvimento do estudo é realizado utilizando conceitos da manufatura enxuta, para priorizar o aumento da produtividade e a redução dos custos da operação. O enfoque do trabalho é o balanceamento dos recursos do processo, com base em indicadores de eficiência, tais como tempo de corte, geração de sucata e utilização de consumíveis. Ao longo do trabalho são realizadas simulações de aproveitamento de chapa, com o objetivo de comparar os indicadores de eficiência, quando o plano de corte é feito visando o preenchimento total, com fabricação de peças para estoque e quando o corte é realizado somente com as demandas da produção. As simulações validam os resultados, demonstrando a efetividade das melhorias propostas. Ainda para que os objetivos sejam alcançados é necessário o desenvolvimento de um novo fluxo de informação para o processo, com a implementação de uma gestão do plano de corte. Com os resultados do estudo é possível fornecer aos gestores da empresa informações importantes para as tomadas de decisões com relação ao processo de corte por plasma. A adequada gestão do plano de corte resulta em uma melhora de 35% nos tempos de processo e uma redução de aproximadamente 44% no custo com a utilização dos consumíveis.

Palavras-chave: Corte por plasma. Implemento Rodoviário. Manufatura enxuta.

ABSTRACT

The growth of the road implement industry requires manufacturers to be attentive to market demands and constantly improve the production system. The adoption of lean management practices is essential for business success, creating opportunities for improvement through waste elimination. This study aims to analyze improvement opportunities in the plasma cutting process in a road implement industry. The study is conducted using lean manufacturing concepts to prioritize productivity increase and operation cost reduction. The focus of the study is on balancing process resources based on efficiency indicators such as cutting time, scrap generation, and consumables utilization. Throughout the study, simulations of plate utilization are conducted to compare efficiency indicators when the cutting plan is made with full plate utilization, producing parts for inventory, versus cutting only based on production demands. The simulations validate the results, demonstrating the effectiveness of the proposed improvements. In order to achieve the objectives, the development of a new information flow for the process is necessary, including the implementation of cutting plan management. With the results of the study, important information can be provided to the company's managers for decision-making regarding the plasma cutting process. Proper cutting plan management results in a 35% improvement in process times and approximately a 44% reduction in consumables utilization costs.

Keywords: Plasma cutting. Road Implement. Lean manufacturing

LISTA DE FIGURAS

Figura 1 – Emplacamentos de reboques e semirreboques do mercado interno	15
Figura 2 – Casa modelo do sistema Toyota de Produção.....	21
Figura 3 – Calço do trabalho padronizado para melhoria contínua	22
Figura 4 – O triângulo das três questões da TOC	29
Figura 5 – Programação empurrada vs programação puxada	31
Figura 6 – Sistema de produção puxada com supermercado	33
Figura 7 – Sistema de produção puxada sequencial com FIFO.....	34
Figura 8 – Semirreboque do tipo graneleiro	37
Figura 9 – Visão geral do fluxo de informação das atividades do PCP	40
Figura 10 – Ponto de desacoplamento entre as estratégias de produção	43
Figura 11 – Processo de transformação dos estados físicos	45
Figura 12 – Gráfico comparativo dos processos por corte térmico	46
Figura 13 – Principais componentes do sistema de corte por plasma	47
Figura 14 – Componentes da tocha plasma.....	48
Figura 15 – Representação do processo de corte por plasma	50
Figura 16 – Processo de geração do arco piloto	51
Figura 17 – Processo de formação do arco principal	51
Figura 18 – Distribuição das peças feitas por software de aproveitamento	54
Figura 19 – Representação do <i>kerf</i> no processo de corte.....	55
Figura 20 – Fluxograma do desenvolvimento da pesquisa	59
Figura 21 – Balanceamento dos recursos do processo	65
Figura 22 – Joinville Implementos Rodoviários	67
Figura 23 – Layout atual da empresa.....	68
Figura 24 – Fluxo de produção do semirreboque.....	69
Figura 25 – Montagem da base do semirreboque.....	70
Figura 26 – Layout do setor de corte/dobra	72
Figura 27 – Máquina de corte por plasma Silber Cutter 8000	74
Figura 28 – Perda por superprodução.....	76
Figura 29 – Operação da máquina de plasma	77
Figura 30 – Processamento desnecessário	78
Figura 31 – Desgaste nos consumíveis	84

Figura 32 – Simulação chapa #6,35mm com adicional de peças.....	90
Figura 33 – Peças adicionais nas lacunas do plano de corte.....	91
Figura 34 - Simulação chapa #6,35mm sem adicional de peças	92
Figura 35 – Resultados obtidos em relação aos tempos de corte.....	94
Figura 36 – Resultados obtidos em relação a utilização dos consumíveis.....	95
Figura 37 – Resultados obtidos em relação a geração de sucata.....	96
Figura 38 – Resultados obtidos com o balanceamento dos recursos	97
Figura 39 – Atual fluxo de informação do processo de corte	101
Figura 40 – Fluxo de informação com gestão do plano de corte.....	102
Figura 41 – Controle dos estoques das peças cortadas nos plasma	103
Figura 42 – Ordem de compra dos consumíveis novembro/2022	110
Figura 43 – Simulação chapa #8,00mm com adicional de peças.....	111
Figura 44 – Simulação chapa #8,00mm sem adicional de peças.....	111
Figura 45 – Simulação chapa #4,75mm com adicional de peças.....	112
Figura 46 – Simulação chapa #4,75mm sem adicional de peças.....	112
Figura 47 – Simulação chapa #4,25mm com adicional de peças.....	113
Figura 48 – Simulação chapa #4,25mm sem adicional de peças.....	113
Figura 49 – Simulação chapa #3,00mm com adicional de peças.....	114
Figura 50 – Simulação chapa #3,00mm sem adicional de peças.....	114
Figura 51 – Separação dos kits de peças cortadas.....	115
Figura 52 – Volume de consumíveis para descarte	115

LISTA DE QUADROS

Quadro 1 – Quadro dos objetivos da coleta de dados	64
Quadro 2 – Volumes produzidos no segundo semestre de 2022.....	75
Quadro 3 – Controle dos tempos de produção de novembro/2022.....	80
Quadro 4 – Controle da geração de sucata do processo novembro/2022	82
Quadro 5 – Controle dos consumíveis utilizados em novembro/2022.....	85
Quadro 6 – Relação de valores dos consumíveis do plasma.....	86

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 – Parâmetros do corte para sistema mecanizados.....	53
Tabela 2 – Chapas utilizadas para simulação	89

LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

ABS – Antilock Braking System
ANFIR – Associação Nacional dos Fabricantes de Implementos Rodoviários
ATO – Assembly To Order
AV – Agregam Valor
NAV – Não Agregam Valor
CAD – Computer Aided Design
CAM – Computer Aided Manufacturing
CNC – Controle Numérico Computadorizado
CNT – Confederação Nacional do Transporte
CONTRAN – Conselho Nacional de Trânsito
ETO – Engineering To Order
EPI – Equipamento de Proteção Individual
FIFO – First In First Out
HF – High Frequency
JIT – Just In Time
MTO – Make To Order
MTS – Make To Stock
ME – Manufatura Enxuta
MRP – Material Requirement Planning
OCV – Open Circuit Voltage
OEM – Original Equipment Manufacturer
OV – Ordem de Venda
OP – Ordem de Produção
PBT – Peso Bruto Total
PBTC – Peso Bruto Total Combinado
PCP – Planejamento e Controle da Produção
PV – Pedido de Venda
STP – Sistema Toyota de Produção
TOC – Theory Of Constraints
TRC – Transporte Rodoviário de Carga
ZTA – Zona Termicamente Afetada

SUMÁRIO

1. INTRODUÇÃO	15
1.1. OBJETIVOS	17
1.1.1. Objetivo Geral	17
1.1.2. Objetivos Específicos	17
2. FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA	18
2.1. LEAN – A EVOLUÇÃO DO PROCESSO PRODUTIVO	18
2.1.1. O Sistema Toyota de Produção	21
2.1.2. Os desperdícios do STP	25
2.1.3. Teoria das restrições	27
2.1.4. Sistemas de Produção Empurrada e Puxada	30
2.2. A PRODUÇÃO DO IMPLEMENTO RODOVIÁRIO	36
2.2.1. Planejamento e Controle da Produção (PCP)	39
2.2.2. Estratégias de Manufatura	41
2.3. PROCESSO DE CORTE POR PLASMA	44
2.3.1. Principais componentes e consumíveis	47
2.3.2. A formação do arco plasma	49
2.3.3. Parâmetros operacionais do processo	52
2.3.4. Software de otimização	53
3. METODOLOGIA	56
3.1. CLASSIFICAÇÃO DA PESQUISA	56
3.2. METODOLOGIA <i>KAIZEN</i> COM APLICAÇÃO DE PDCA	57
3.2.1. Planejamento	59
3.2.2. Coleta de dados	62
3.2.3. Análise dos dados	64
3.2.4. Ações necessárias	65
3.2.5. Avaliação dos resultados	66
3.2.6. Monitoramento	66
4. RESULTADOS	67
4.1. CARACTERÍSTICAS DA ORGANIZAÇÃO	67
4.1.1. Análise do sistema produtivo no setor de corte/dobra	72
4.2. ANÁLISE DA SITUAÇÃO ATUAL	74

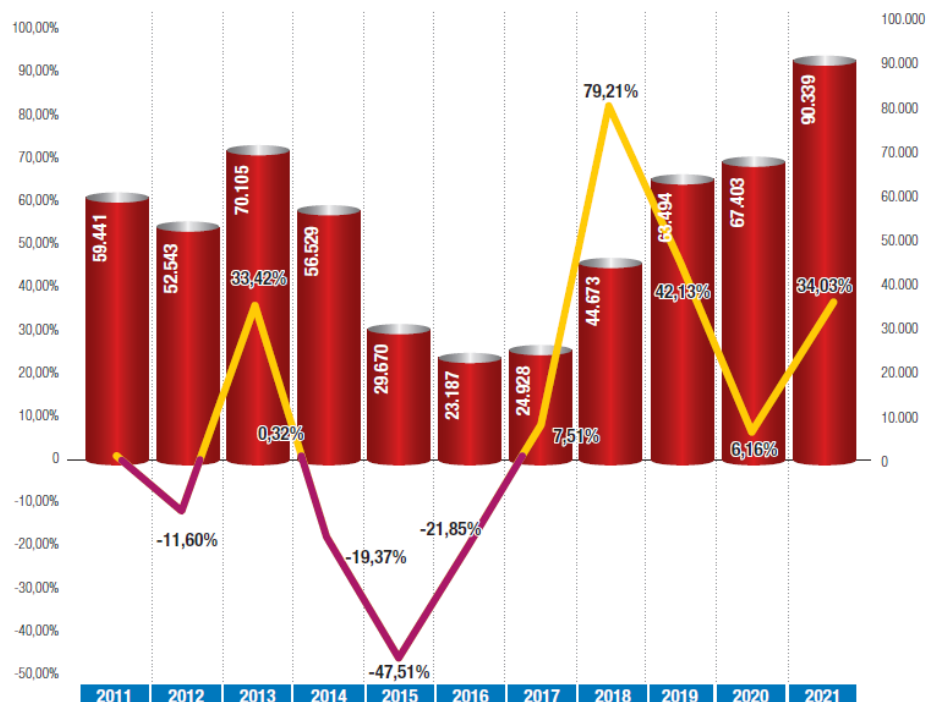
4.2.1 As principais perdas do processo	75
4.2.2 Análise dos tempos e aspectos limitantes do processo	79
4.2.2 Análise da geração de sucata	81
4.2.3 Análise da utilização dos consumíveis	83
4.3 REDUÇÃO DE CUSTOS DO PROCESSO	86
4.3.1 Simulação do plano de corte.....	87
4.3.2 Equilibrando o controle dos recursos.....	93
4.3.3 Ganho obtido em relação ao custo do implemento	98
4.4 GESTÃO DO PLANO DE CORTE	100
5. CONCLUSÕES.....	104
REFERÊNCIAS.....	106
APÊNDICE A – ORDEM DE COMPRA	110
APÊNDICE B – SIMULAÇÕES	111
APÊNDICE C – IMAGENS DO PROCESSO.....	115

1. INTRODUÇÃO

O transporte rodoviário de carga cresce significativamente no Brasil a cada ano, pode-se dizer que é uma das principais operações que movimentam grande parte da economia brasileira. O transporte da matéria prima para os setores industriais, o transporte de bens de consumo, de grãos e alimentos, garante o escoamento da produção favorecendo o desenvolvimento do país (CNT, 2022). Ainda conforme levantamento realizado pela CNT (2022) o transporte rodoviário de cargas apresenta 64,7% de participação na matriz de transportes do país.

O desenvolvimento do setor de transportes rodoviários de carga está relacionado com o número de implementos rodoviários emplacados. Segundo dados da Anfir (2022), foram emplacados 90,3 mil implementos no ano de 2021, ante 67,4 mil no ano de 2020, crescimento de aproximadamente 34%, como visto na Figura 1. No gráfico, a linha que altera ao longo dos anos, representa o percentual de implementos emplacados entre os períodos, valores negativos demonstram quedas no número de vendas, no ano de 2015 a redução, decorrente da crise político-econômica que teve início em 2014, conhecida como a grande recessão brasileira.

Figura 1 – Emplacamentos de reboques e semirreboques do mercado interno



Fonte: Anfir (2022, p. 84)

Os implementos rodoviários são estruturas metálicas complementares ao caminhão-tractor, o projeto é realizado para atender às necessidades específicas de diferentes tipos de carga. A competitividade no setor e a instabilidade do cenário econômico atual, têm obrigado as implementadoras a buscar soluções para redução dos custos de fabricação e o aumento da produtividade. Para atender as demandas do mercado, duas estratégias são observadas: a produção em massa de produtos padronizados e o fornecimento para uma parcela do mercado que exige produtos personalizados, conforme necessidade do cliente.

Segundo Breitenbach (2013), as empresas devem optar pela implantação de métodos de melhoria contínua, para garantir o fluxo de produção com redução do *lead time* entre os processos, eliminar os desperdícios, modernizar instalações e maquinários, para fornecer aos clientes produtos de qualidade, com prazo de entrega reduzido e preços competitivos. Neste contexto que no Japão pós-guerra 1960, devido à escassez de suprimentos, surge a cultura *Lean Manufacturing* conhecida também como Manufatura Enxuta, método de sucesso que teve origem no Sistema Toyota de Produção (STP), que objetiva a eliminação de todas as formas de desperdício no sistema produtivo (OHNO, 1997).

Uma análise importante a ser realizada visando o aumento da produtividade, é o estudo da *theory of constraints* (TOC), segundo Goldratt (2015) a Teoria das Restrições favorece o entendimento da incapacidade do fluxo produtivo. Os processos em uma empresa formam uma sequência de eventos que são dependentes entre si, quando ocorre a redução ou interrupção do sequencial de produção, é necessário identificar as restrições que impedem a adequação do sistema.

O implemento rodoviário é constituído principalmente pela montagem de peças em aço-carbono, matéria-prima que é fornecida em chapas de diversas espessuras e passam por processos de corte e dobra, sendo encaminhadas para realização das etapas de soldagem. As peças com geometria simples, que necessitam apenas de corte com ângulos retos, são feitas na máquina de guilhotina, porém grande parte das peças projetadas, apresentam geometria complexa, desenhos com furações, entre outros detalhes que precisam ser processadas por máquinas de Controle Numérico Computadorizado (CNC), dentre os processos, o corte por plasma, corte a laser, por jato d'água, entre outros.

O corte por plasma ocorre por um processo de separação térmica. O material é removido por meio da termofusão. Kashiwagi (2016) explica que um gás inerte é

soprado a alta temperatura para fora do bocal, esse gás de forma ionizada favorece um caminho para a formação de um arco elétrico entre a peça a ser contada e a tocha. O plasma também conhecido como quarto estado da matéria, é quente suficiente para fundir e assoprar o material para que o corte aconteça de forma desejada.

O presente trabalho desenvolvido na empresa Joinville Implementos Rodoviários, oportuniza o estudo e a aplicação de conceitos da manufatura enxuta no processo de corte por plasma, a fim de eliminar os desperdícios do processo, otimizando o uso dos recursos disponíveis. Empresas fundamentadas em conceitos *lean* priorizam a criação de valor ao produto e procuram resolver os problemas de maneira sistemática, repensando muitas vezes o modo de gerenciar os processos, com isso a importância de definir uma gestão do plano de corte e a organização das informações do fluxo de produção. Ao final do trabalho os dados são apresentados e analisados, visando a redução dos custos do processo e o aumento da produtividade, aspectos essenciais para garantir a competitividade da empresa no mercado.

1.1. OBJETIVOS

A fim de direcionar os esforços da pesquisa, colocam-se os objetivos, em nível geral e específicos.

1.1.1. Objetivo Geral

Analisar as oportunidades de melhoria no processo de corte por plasma em uma indústria de implementos rodoviários com aplicação de conceitos da Manufatura Enxuta visando a redução de custos e o aumento da produtividade.

1.1.2. Objetivos Específicos

- Estudar conceitos da Manufatura Enxuta;
- Identificar as fontes de desperdícios do processo;
- Analisar os recursos disponíveis e propor melhoria na eficiência produtiva;
- Propor uma gestão do plano de corte para o sequencial de produção;
- Apresentar os ganhos obtidos com as melhorias propostas;

2. FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA

Este capítulo é destinado à apresentação das bases teóricas que são necessárias para o entendimento do tema e fundamentais para formação das argumentações que fazem parte do desenvolvimento do trabalho. Neste são apresentados conceitos e metodologias da Manufatura Enxuta e características da produção do implemento rodoviário, com enfoque no processo de corte por plasma, que é objeto de estudo deste trabalho.

2.1. LEAN – A EVOLUÇÃO DO PROCESSO PRODUTIVO

Os grandes feitos da humanidade acontecem mediante ao enfrentamento de momentos de crises, estas que ocorrem com o surgimento de doenças, catástrofes naturais e momentos de guerras, impactando de forma negativa no sistema político-econômico dos países. O Sistema Toyota de Produção (STP), surge no Japão no momento que o país lutava pela reconstrução econômica e social, depois de quase uma década de conflitos armados e ganha maior notoriedade quando o país é fortemente afetado pela crise do petróleo em 1973. (OHNO, 1997).

O desenvolvimento industrial garante a sustentabilidade econômica dos países. As práticas que favorecem ganhos de produtividade, melhorando a administração nas indústrias, surge no início do século XX com a teoria da Administração Científica, modelo desenvolvido pelo engenheiro norte-americano Frederick Taylor (PEINADO; GRAEML, 2007). Segundo Chiavenato (2004), o principal objetivo desta escola era a eliminação dos desperdícios operacionais, melhorando a eficiência das tarefas realizadas pelos operários, para extrair o melhor rendimento produtivo da mão de obra disponível. O Taylorismo foi fundamentado em pilares que relacionam, o estudo dos tempos e movimentos, divisão e distribuição dos trabalhos, definição dos cargos e tarefas, padronização dos processos e também a valorização da mão de obra com incentivos salariais e prêmios por metas.

Henry Ford promoveu grandes contribuições para a escola da Administração Científica no século XX, inovando com o conceito de produção em massa. Chiavenato (2004) comenta que Ford permitiu um novo modelo de organização do trabalho: produzir um número elevado de produtos acabados, com garantia de qualidade e

redução do preço ao consumidor. No sistema de Ford a mão-de-obra especializada e a utilização de máquinas para produção de produtos padronizados foi fundamental para atingir elevado volume de produção. Uma característica importante da produção em massa é a intercambialidade das peças utilizadas na linha de montagem, fator que possibilitou redução dos tempos de operação, aumentando a velocidade na realização de ajustes e acabamentos.

O desenvolvimento de teorias para aumento de produtividade não ficou limitado somente a melhorias aplicadas aos processos produtivos no chão de fábrica. Segundo Chiavenato (2004), enquanto Taylor, Ford e outros engenheiros trabalhavam no desenvolvimento da teoria da Administração Científica, na Europa, especificamente na França surgia a Teoria Clássica da Administração, fundamentada por Henry Fayol, escola com ênfase aplicada sobre a estrutura organizacional, buscando maior eficiência no modelo de hierarquização e definição dos cargos. Dois principais conceitos que Fayol defendia era a definição da unidade de comando, na qual cada empregado recebia ordens de apenas um superior e a centralização, onde o topo da hierarquia concentrava as tomadas de decisões sendo a maior autoridade.

Com o desenvolvimento das novas teorias que definiram a administração das organizações, um novo conceito é enfatizado na década de 1930, surge a Abordagem Humanística. Ainda segundo Chiavenato (2004), essa abordagem proporcionou uma análise não somente sobre os processos, tarefas e estrutura organizacional, mas com conceitos que permitiram entender a natureza do homem, a preocupação com as pessoas e os grupos sociais, nesta abordagem é destacado dentro das organizações o Desenvolvimento da Gestão de Pessoas.

No momento em que o Japão atravessava por complicações econômicas, muito se exigiu das organizações, para que o reestabelecimento econômico fosse possível. Para Taichii Ohno que foi um dos criadores do conceito enxuto, o Japão necessitava alcançar a produtividade dos EUA em apenas 3 anos para recolocar o país no panorama competitivo mundial (OHNO, 1997). Neste cenário que a Manufatura Enxuta (ME), ou do inglês "*Lean Manufacturing*" surge como principal modelo de abordagem que busca organizar e melhor gerenciar os relacionamentos da empresa com seus clientes, fornecedores e processos produtivos, desde o desenvolvimento de produtos até a otimização de operações industriais, com principal foco na eliminação dos desperdícios, possibilitando o aumento da produtividade com menos recursos e redução dos tempos (WOMACK *et al.*, 2004).

O pensamento *Lean* permitiu que empresas obtivessem resultados muito superiores aos obtidos pelas montadoras norte-americanas. Este fato só foi possível devido a utilização de ferramentas e técnicas que trabalhavam de forma integrada. A flexibilidade e o modo de adaptação da produção foram os resultados obtidos que garantiram o sucesso de aplicação da Manufatura Enxuta em termos de redução de custos e aumento produtividade (OHNO, 1997).

As ferramentas da Manufatura Enxuta foram desenvolvidas para resolver problemas organizacionais específicos, Martichenko (2008) comenta que a obtenção de sucesso na aplicação do conceito *lean* é adquirido quando a organização entende claramente quais são os problemas que precisam ser solucionados. A razão principal ao buscar a melhoria dos processos é tornar a organização mais forte, servindo melhor o cliente, favorecendo o aumento do lucro e a redução dos custos.

O pensamento enxuto favorece um ambiente de trabalho mais harmonioso e satisfatório, fazendo com que a motivação individual das pessoas seja ampliada ao visualizar a transformação dos desperdícios em valor, para que isso aconteça, alguns princípios devem ser priorizados. Segundo Womack e Jones (1998), existem cinco princípios enxutos que devem ser aplicados:

- Princípio do Valor: criar valor eliminando as fontes de desperdícios;
- Princípio do Fluxo de Valor: identificar o fluxo de valor no processo;
- Princípio do Fluxo: estabelecer um fluxo contínuo de peças unitárias;
- Princípio do Sistema Puxado: a etapa posterior deve puxar as demandas;
- Princípio da Perfeição: criar rotinas para o aperfeiçoamento contínuo;

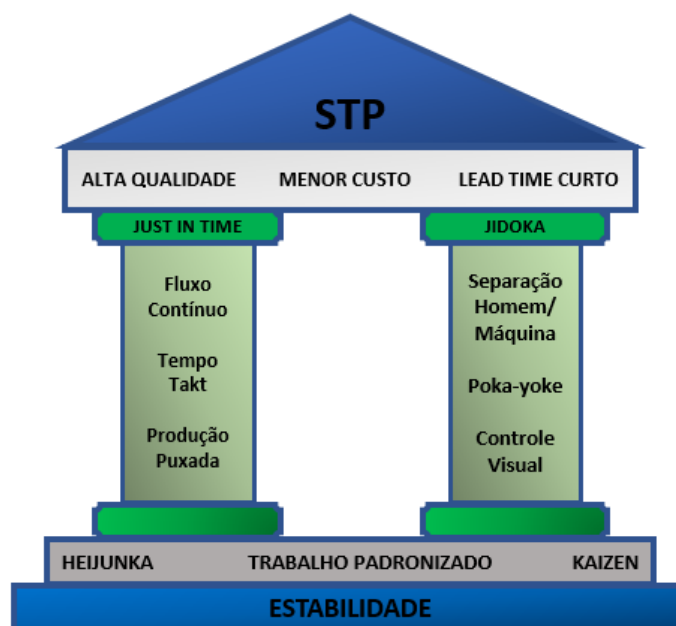
De acordo com Koenigsaecker (2011), o uso das metodologias presentes no pensamento *lean*, são efetivas como modelo de gestão, por alguns motivos principais: melhorar a eficiência e reduzir o desperdício, baseando-se na ideia de que todas as atividades da organização devem agregar valor ao cliente, as que não agregam valor são consideradas desperdício e devem ser eliminadas; o *lean* incentiva a melhoria contínua, empresas que implementam o *lean* estão sempre procurando maneiras de aprimorar seus processos e garantir a permanência dos ganhos já obtidos; o método promove o trabalho em equipe, ao envolver os funcionários no processo de melhoria contínua, as empresas podem construir uma cultura de propriedade e

responsabilidade, elevando a satisfação no ambiente de trabalho; o método favorece o aumento da flexibilidade, a manufatura enxuta enfatiza a flexibilidade e a adaptabilidade, o que permite que as empresas respondam rapidamente às mudanças nas condições do mercado e nas demandas dos clientes; por fim, empresas que buscam aplicar métodos *lean* são focadas no cliente e procuram entender suas necessidades, para melhorar a qualidade dos produtos ou serviços, reduzindo custos e tempos de entrega.

2.1.1. O Sistema Toyota de Produção

Com o Sistema Toyota de Produção os japoneses desenvolveram novos conceitos de melhoria nos sistemas produtivos. Segundo Taiichi Ohno, precursor da Manufatura Enxuta, a eliminação dos desperdícios é um dos pré-requisitos mais importantes para obter sucesso na organização e possui fundamento em dois pilares básicos: o *Just Time* (JIT) e a Automação (*Jidoka*). Conceitos formados por um conjunto de técnicas e ferramentas que foram desenvolvidas para garantir a qualidade dos produtos, diminuir o custo e reduzir o *lead time*, este que representa o tempo que o produto leva para chegar até o consumidor final (OHNO, 1997). Na figura 2, a estrutura que representa a casa do STP.

Figura 2 – Casa modelo do sistema Toyota de Produção

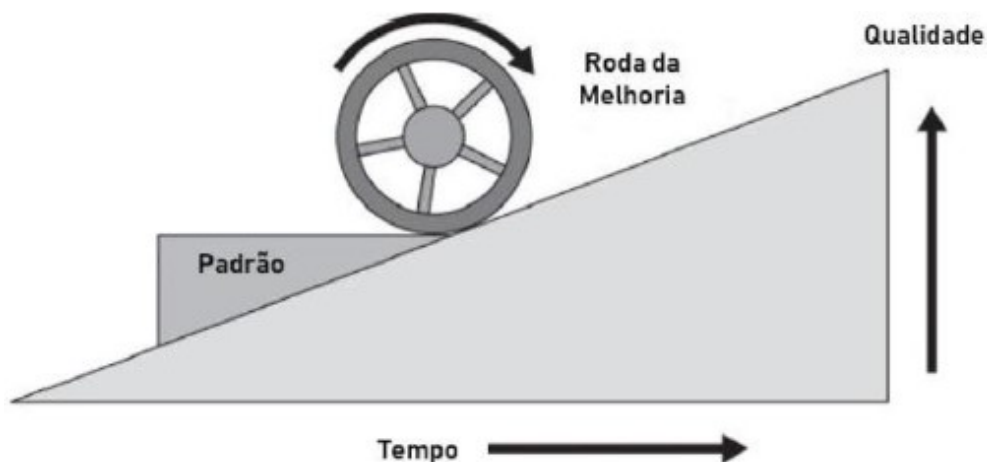


Fonte: Adaptado de Marchwinski (2007)

Para garantir a estabilidade do modelo STP, todos os conceitos devem estar conectados. Na base da construção, o termo Heijunka representa a importância da produção nivelada, que permite equalizar as quantidades dos volumes produzidos e as variedades de produtos disponíveis, eliminando variações de pedidos ao longo do processo, equilibrando a produção (LIKER; MEIER, 2007).

Fator importante para a estabilidade da casa STP é o Trabalho Padronizado, a empresa passa a ter maior controle da produção. Conhecendo a capacidade produtiva é possível prever quais ações são necessárias para atingir os objetivos esperados. Segundo Liker e Meier (2007), é de muita importância a documentação das tarefas e atividades da organização. Com os registros é possível identificar e criar as rotinas para implementação da melhoria contínua, fator que favorece a normalização dos postos de trabalho, eliminando por exemplo, o desperdício de movimento dos operadores. Na Figura 3, uma representação do calço para padronização, este que impede o declínio das melhorias alcançadas e dos ganhos em qualidade.

Figura 3 – Calço do trabalho padronizado para melhoria contínua



Fonte: Adaptado de Coimbra (2009)

O conceito de melhoria contínua é representado pela palavra *Kaizen*, um aprimoramento contínuo de todas as práticas que envolvem a organização, visa não somente a empresa, mas também os colaboradores. A aplicação das ferramentas e metodologias *Kaizen* garantem a estabilidade do STP (MACHADO, 2008). A palavra *Kaizen*, que também representa o significado de “mudança para melhor”, é uma metodologia que se concentra em pequenas melhorias, em vez de grandes mudanças. De acordo com Ohno (1997), o *Kaizen* é uma abordagem de gestão que

visa melhorar constantemente os processos de trabalho, aumentar a eficiência da produção e motivar os colaboradores. Os esforços são direcionados a encontrar soluções para problemas diários e melhorar continuamente a eficiência dos processos, envolvendo membros das equipes, com o objetivo de identificar os problemas e buscar soluções. A metodologia também prioriza a padronização dos processos e continuidade no acompanhamento de melhorias já implementadas.

O primeiro pilar do STP é o *Just in Time*, definido pela condição de entregar as demandas no “tempo certo”, no momento mais oportuno. O conceito JIT sugere que a produção de bens e serviços seja executada de forma otimizada para que não ocorra a formação de estoques com entregas antecipadas ou falta de sincronização entre os processos por tempo de espera de peças, numa condição ideal de fluxo de produção utilizando JIT é possível obter estoque zero (GHINATO, 1995).

Os conceitos e definições sobre o JIT possuem uma ampla variedade nas abordagens disponíveis na literatura, muitas vezes dificultando seu entendimento. Ainda segundo Ghinato (1955), é necessário entender que o JIT faz parte da metodologia da Manufatura Enxuta, não sendo o próprio STP.

O ritmo de produção definido pelo termo “*takt*” é uma das principais abordagens que devem ser feitas para obtenção ganhos com o JIT. Segundo Liker e Meier (2007), o ritmo de produção também é compreendido como a taxa em que o cliente retira um produto da “prateleira” e este é utilizado como base para realização de uma programação em um sistema puxado de produção. O tempo *takt* é calculado conforme a Equação 1:

$$\text{Tempo takt} = \frac{(\text{tempo disponível})}{(\text{demanda do cliente})} = \frac{(\text{horas})}{(\text{peças})} \quad (1)$$

De acordo com Martichenko (2008), para calcular o tempo takt, na equação deve ser considerado o tempo de trabalho efetivo, esse é o tempo total disponível para produção em um determinado período de tempo, geralmente expresso em minutos ou horas, por turno de produção. Os tempos de paradas programadas, reuniões, intervalo para refeições, entre outros como limpeza das máquinas, não devem ser inseridos na equação. A demanda do cliente é a quantidade de produtos que o próximo setor exige em um determinado período de tempo.

O segundo pilar presente na estrutura do modelo STP é o conceito de autonomia, em japonês descrito pelo termo “*Jidoka*”, caracteriza a “separação” do elemento homem/máquina. Esta definição surgiu quando Sakichi Toyoda, fundador da Toyota Industries Co. Ltd, inicialmente indústria têxtil da família Toyoda, observou que ao desenvolver e adaptar um mecanismo que interrompia o funcionamento da máquina no momento que ocorresse uma falha, poderia destinar uma única pessoa para supervisionar várias máquinas ao mesmo tempo, separando deste modo o controle direto da mão de obra do homem sobre a máquina (OHNO, 1997).

A autonomia pode ser entendida como a aplicação de automação sobre os sistemas, com um toque humano (OHNO, 1997). Contudo este pilar do STP possibilitou entender a importância da autonomia sobre a produção. Taiichi Ohno, engenheiro da Toyota, comprovou na prática este conceito, quando definiu um único funcionário para operar várias máquinas ao mesmo tempo, observou redução nos desperdícios e perdas por lotes, possibilitando desta forma redução do *lead time* e aumento da qualidade (GHINATO, 1995).

As ocorrências de falhas ao longo da produção, como tempos de paradas não programadas, por defeitos na máquina ou peças defeituosas, é um dos aspectos que a autonomia procura solucionar, com autonomia o operador pode gerar uma ação imediata para correção da anomalia, quando o problema é evidenciado, ocorre um esforço em conjunto para identificar a causa raiz e eliminá-la (GHINATO, 1995).

Para garantir a integridade do fluxo produtivo em relação as falhas que podem ocorrer por descuido humano, a autonomia utiliza de um “sistema à prova de falhas”, conhecido pelo termo *Poka-yoke*. Segundo Shingo (1996), existem duas maneiras de aplicação do *Poka-yoke* para prevenção de erros, pelo Método de Controle, que realiza uma parada total na máquina ou na linha de produção para correção da falha, e o Método de Advertência, que sinaliza o operador a partir de um sinal sonoro ou luminoso, para alertá-lo da ocorrência de algum problema.

A identificação das causas e soluções dos problemas na linha de produção é essencial para obtenção de índices de qualidade superior, que busca atingir o modelo STP. Com a implementação *Jidoka* ocorre uma flexibilização da mão-de-obra nas células de trabalho, o sistema fica mais enxuto, com redução do número de operários, funcionários mais capacitados e com autonomia para tomada de decisões, é possível aumentar a eficiência da produção (GHINATO, 1995).

2.1.2. Os desperdícios do STP

A Manufatura Enxuta apresenta conceitos de grande importância para o sucesso das organizações, quando a equipe gestora do negócio desenvolve total compreensão do significado das perdas, realiza um trabalho de identificação das fontes geradoras dos desperdícios e busca eliminá-las. Os índices superiores de produtividade e qualidade tornam-se realidade (OHNO, 1997).

A obtenção do lucro é o principal objetivo das organizações que buscam um posicionamento no mercado, a Manufatura Enxuta possibilitou uma nova visão dos modos de desperdícios que limitam a lucratividade. Segundo Womack *et al.* (2004), o primeiro passo para eliminar o desperdício é entender como as atividades são divididas dentro dos processos, com isso, é possível identificar três situações: as que Agregam Valor (AV) ao produto, que Não Agregam Valor (NAV) e as que não agregam valor ao produto, porém são necessárias devido a necessidades da operação, como a realização de testes e auditorias. Ações que não agregam valor para o consumidor final são consideradas desperdícios, estes que devem ser identificados e eliminados.

Os japoneses desenvolveram técnicas específicas para tratar os problemas relacionados com os desperdícios, o conceito dos 3M's está diretamente relacionado com o STP. Segundo Liker e Meier (2007), o termo *Muda* relaciona os desperdícios de maneira geral, representados pelos sete modos de perdas que existem no sistema produtivo, o termo *Muri* avalia a sobrecarga de pessoas e máquinas, podendo resultar em problemas de segurança, falhas mecânicas e peças com defeito. Ainda segundo Liker e Meier (2007), o terceiro termo, *Mura*, apresenta o conceito de desnivelamento, resultado de um ritmo de produção desarmonioso, causado por interrupções na linha de produção ou flutuações nos volumes produzidos.

O aprendizado adquirido com os métodos desenvolvidos no STP, possibilitou mapear os desperdícios do sistema produtivo e classificá-las em sete perdas que são descritas a seguir (SHINGO, 1996):

- **Superprodução:** considerada o pior dos desperdícios, a superprodução consiste em produzir mais que a demanda do cliente, seja este externo ou interno, produzindo mais que o necessário ocorre a formação de estoques excessivos, gerando todos os demais desperdícios por consequência;

- **Espera:** desperdício ocasionado pela ociosidade do sistema produtivo, seja este decorrente de pessoas, máquinas e materiais. As perdas por espera resultam em fluxos de produção descontínuos, com *lead times* prolongados. Podem ocorrer esperas no processo de fabricação, espera por lote ou espera do operador;
- **Transporte excessivo:** o transporte de matéria prima, produtos em processamento ou produtos acabados, não agrega valor para o cliente final. Com melhorias no layout de trabalho, espaços conectados e com fluidez é possível reduzir as perdas por transporte;
- **Processamento desnecessário:** perda decorrente do uso desnecessário de recursos com atividades que não agregam valor ao transformar um produto ou serviço. O controle da produção com enfoque principal nas expectativas do cliente é fundamental para eliminar este desperdício;
- **Estoque:** desperdício ocasionado pelo excesso na estocagem de matéria prima, produtos em processamento ou produtos acabados. Os elevados níveis de estoque podem ocultar problemas da produção, como exemplo, produtos defeituosos e operadores não treinados. A falta de sincronia entre os processos e na definição dos prazos de entrega, são os principais fatores que favorecem a ocorrência desta perda;
- **Movimentação:** quando o ambiente de trabalho e as operações são desorganizadas, perdas por movimentos desnecessários são recorrentes. A movimentação de materiais e pessoas, não agrega valor para o cliente, com isso, projetar um sistema produtivo eficiente, minimizando os movimentos durante as operações, reduz as perdas, aumentando a produtividade.
- **Defeitos:** o retrabalho decorrente de peças defeituosas, gera perdas para o sistema produtivo, custo com reprocessamento, refugos, perda do prazo de entrega com interrupção do fluxo produtivo. Quando um produto com defeito chega ao cliente final, as consequências são ainda maiores, além do custo com garantia, a imagem da empresa pode ser prejudicada.

A compreensão dos sete desperdícios estabelecidos por Taiichi Ohno, revolucionaram e permitiram o sucesso do STP. Um oitavo desperdício ainda é definido por Liker e Meier (2007), a perda do intelectual das pessoas envolvidas nos

processos, não utilização da criatividade e inteligência dos funcionários. Como os processos dependem de pessoas, podem ocorrer desperdícios relacionados com a perda de ideias, habilidades, soluções de problemas e perda da oportunidade de aprendizagem por não dar importância a capacidade intelectual dos funcionários.

2.1.3. Teoria das restrições

Para ampliar benefícios favorecidos com a utilização de técnicas da manufatura enxuta nos processos produtivos, teorias desenvolvidas por autores contemporâneos a Taiichi Ohno contribuem para o sucesso das organizações. A Teoria das Restrições (*Theory of Constraints – TOC*), elaborada pelo físico israelense Eliyahu Goldratt na década de 80, e amplamente divulgada no livro “A Meta”, estabelece uma nova filosofia para o pensamento gerencial, identificando as restrições como limitações que bloqueiam o fluxo produtivo e impedem que a empresa obtenha a maximização dos lucros (PERGORARO, 2017).

A Teoria das Restrições apresenta conceitos lógicos, define que toda organização com fins lucrativos, deve possuir obrigatoriamente uma restrição, o que é explicado pelo simples fato de a produção possuir um limite produtivo. Não existindo um limite ou algo que bloqueie o desempenho do sistema, esse processo tenderia ao infinito, ou seja, uma empresa que não apresentasse restrição, sua lucratividade também tenderia ao infinito (GOLDRATT, 2015)

A implementação da TOC garante melhorias no modo organizacional do negócio, segundo Pacheco (2014), dados analisados de processos produtivos que utilizaram a metodologia, demonstraram que a TOC é uma efetiva teoria gerencial que favorece o aumento do ganho, com redução nos níveis de inventário e de despesas operacionais, melhorando os índices relativos ao desempenho de como as tarefas são executadas. Ainda segundo Pacheco (2014), a implementação da metodologia não impacta diretamente a performance financeira e de mercado da empresa, os resultados são observados inicialmente na performance organizacional, sua aplicação é sentida primeiramente no nível operacional, indicando quais ações são necessárias com enfoque nas limitações do processo.

O foco principal da TOC é a remoção ou gestão das restrições para melhorar o desempenho operacional do processo, enquanto os conceitos *lean* apresentam resultados na identificação e eliminação dos desperdícios, visando melhorar o fluxo

de valor. Tanto a TOC quanto o *lean* enfatizam a necessidade de melhorar o sistema produtivo de modo geral ao invés de partes individuais, neste contexto se enquadra a imagem dos elos de uma corrente, ou seja, uma corrente é tão forte e resistente, quanto seu elo mais fraco (PACHECO, 2014).

Conforme Goldratt (2015), a meta da empresa é ganhar dinheiro hoje e no futuro, para este objetivo, a TOC apresenta cinco etapas que delimitam as ações a serem tomadas na sua implementação:

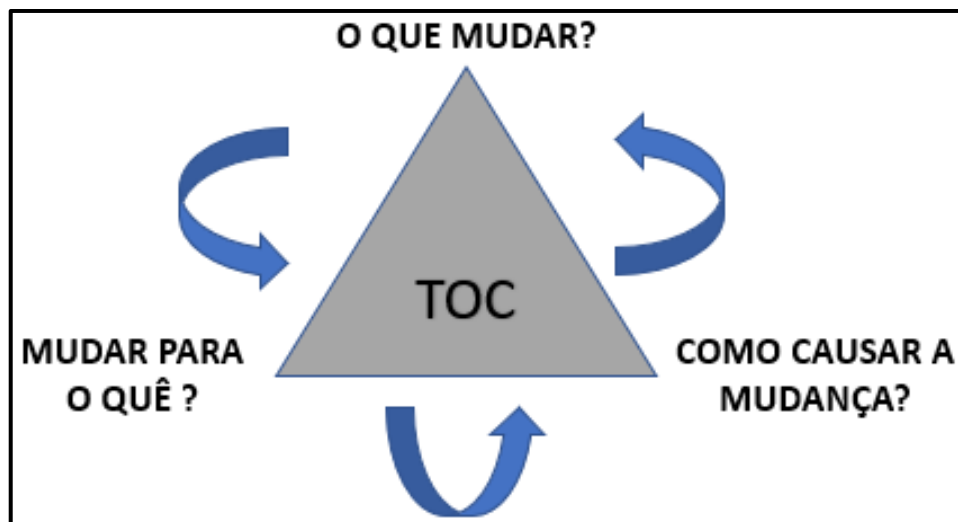
- a) **Identificar as restrições do sistema:** identificar as possíveis restrições que impedem a empresa de atingir a meta, podendo ser decorrentes de agentes internos, quando relaciona a estrutura de produção ou agentes externos quando envolve questões de mercado;
- b) **Decidir como explorar as restrições do sistema:** quando a limitação é de fonte interna, definir um plano de ação para explorar e otimizar o uso da restrição. Se decorrente de agentes externos, o ganho é restrito as limitações do mercado;
- c) **Subordinar os demais recursos a decisão anterior:** todas as atividades dos demais recursos, devem ser subordinadas à restrição definida na etapa anterior;
- d) **Elevar a capacidade da restrição:** concentrar os esforços com o objetivo de aumentar a capacidade produtiva do gargalo, maximizando as entregas;
- e) **Reavaliar o sistema para identificar nova restrição:** quando ocorre o aumento da capacidade na restrição, o gargalo passa para o recurso com menor desempenho operacional. A TOC demanda análises e ações permanentes, funcionando de modo cíclico, é importante evitar que a inércia se instale no sistema;

Os problemas encontrados nos processos produtivos nem sempre estão bem definidos para os gestores das organizações, ou ainda, podem estar em evidência, mas apresentam várias soluções alternativas. O processo de pensamento da TOC é um método para identificar, analisar e propor as soluções para os problemas. A aplicação do método favorece e facilita as liberações, melhora a focalização e desenvolve a crítica intuitiva, as ferramentas da TOC procuram facilitar a verbalização do bom senso entre os colaboradores nos processos (GOLDRATT, 2015).

Para Cox e Spencer (2002), o processo de pensamento da TOC é constituído por ferramentas que trabalham interligadas entre si, fundamentadas na relação entre causa e efeito. O raciocínio lógico SE/ENTÃO, quando utilizado diante dos questionamentos, permite evidenciar os problemas e definir as ações para os problemas e obstáculos que inviabilizam o alcance da meta.

Definida por uma metodologia científica, a TOC procura responder a três perguntas principais, na Figura 4 uma representação do triângulo das questões da TOC (ALVAREZ, 1995):

Figura 4 – O triângulo das três questões da TOC



Fonte: Adaptado de Alvarez (1995)

- O que mudar? Com este questionamento deve-se identificar o problema central que impede o objetivo de atingir a meta estabelecida;
- Mudar para o que? A resposta desta questão deve direcionar para a construção da possível solução para o problema central;
- Como causar a mudança? Definir um plano de implementação das ações necessárias para solução do problema;

O ciclo formado pelo processo de pensamento da TOC, é um importante método para evidenciar as restrições, propor possíveis soluções e planejar as ações para solução das restrições, a metodologia procura responder o por que as coisas acontecem e não como elas acontecem (ALVAREZ, 1995).

2.1.4. Sistemas de Produção Empurrada e Puxada

O método do sistema produtivo adotado pelas organizações define o fluxo da produção, na medida em que cada processo é informado das necessidades do processo seguinte, é possível identificar e mapear os movimentos de materiais entre os setores. No sistema de produção empurrada, a programação tenta “adivinhar” a necessidade do processo seguinte, esta prática dificulta a produção consistente e contínua, visto que as programações mudam e raramente a produção segue exatamente de acordo com a programação (ROTHER; SHOOK, 2003).

No início da era industrial, quando o principal objetivo era a produção em massa e a qualidade do produto não tinha importância significativa, o sistema de produção empurrada atendia as necessidades, em função das elevadas demandas e a inexistência de um mercado competidor. O volume de produção era uma das únicas preocupações da indústria naquele momento (WOMACK *et al.*, 2004).

A produção empurrada é derivada das demandas estabelecidas pelo sistema chamado MRP (Material Requirement Planning), ou seja, um plano de requerimento de materiais, na qual as ordens de fabricação são definidas em lotes padrão, onde não existe relação com as demandas do processo seguinte. Nesta situação os fornecedores podem entregar aos processos seguintes, peças que não são necessárias no momento, empurrando as peças para o estoque (PEINADO; GRAEML, 2007).

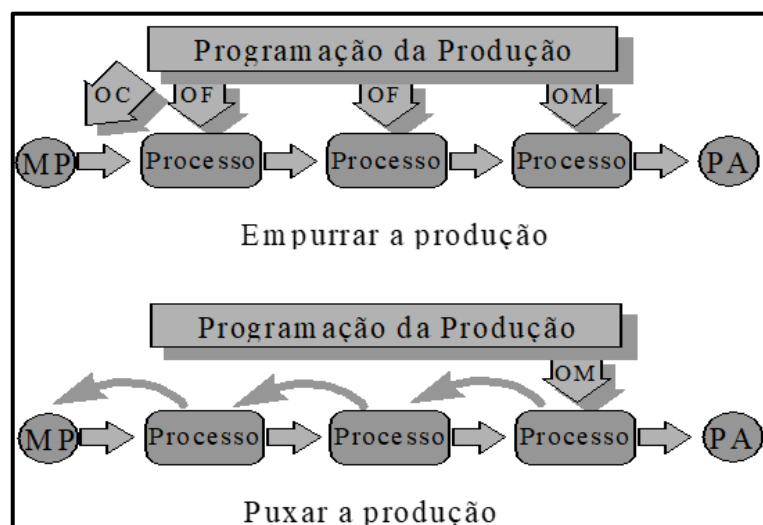
A definição do sistema produtivo nas organizações é de grande importância para garantir bons índices de produtividade. O sistema de produção puxada é o princípio do *lean*. Nele, vai-se definir e estabelecer regras para que as etapas dos processos estejam vinculadas com as reais necessidades dos clientes, sejam estes externos ou internos, este conceito possibilita que a etapa fornecedora produza apenas o necessário para etapa posterior (ROTHER; SHOOK, 2003).

A produção puxada fornece uma metodologia de controle produtivo que favorece a eliminação do desperdício de excesso de produção, em contraponto a produção empurrada, que não estabelece um acordo entre os processos fornecedores e os clientes, nas tarefas e serem realizadas, onde cada operação define seu ritmo e prioridades (LIKER; MEIER, 2007). Ainda segundo Liker e Meier (2007), a produção puxada apresenta três elementos básicos que distinguem da produção empurrada:

- a) **Definido.** Fornecedor e cliente definem um acordo especificando os limites relacionados ao volume de produção, *mix* de produtos e sequencial produtivo;
- b) **Dedicado.** Características que são compartilhadas entre as partes, devem ser dedicados a elas, incluindo recursos, *layout*, armazenamento e o tempo de referência (*takt-time*).
- c) **Controlado.** O acordo entre as partes é mantido por métodos simples de controle, que são visualmente aparentes, podendo ser controlados por *Kanban* e fisicamente restritivos devido a diferença entre os *layouts* das operações;

Algumas características importantes devem ser observadas, ao analisar e definir o sistema de produção. A Figura 5, apresentada por Tubino (1997), destaca as principais diferenças entre empurrar a produção e puxar a produção. No sistema de produção empurrada, a entrada de matéria-prima (MP) ocorre pela ordem de compra (OC), antes mesmo da demanda ser conhecida, visto que a produção é baseada na previsão de demanda. Isso pode levar a um aumento nos níveis de estoque de matéria-prima. Além disso, a saída de produto acabado (PA), também pode ser afetada por problemas como excesso de estoque e obsolescência. Ao empurrar a produção, as ordens de fabricação (OF) e ordens de montagem (OM), são disparadas pelo PCP para cada processo, de modo individual. Por outro lado, no sistema de produção puxada, a entrada de matéria-prima e a saída de produto acabado são sincronizadas com a demanda real dos clientes internos.

Figura 5 – Programação empurrada vs programação puxada



Fonte: Adaptado de Tubino (1997)

A redução dos desperdícios originados pelo excesso de estoque, é um dos principais aspectos que o sistema de produção puxado busca eliminar, no fluxo de produção o processo seguinte é sempre responsável pelas quantidades produzidas na etapa anterior. O resultado é a minimização dos inventários, maior controle sobre os estoques e melhora na utilização do espaço físico, características que possibilitam maior qualidade no fornecimento entre os setores (MARTICHENKO, 2008).

No fluxo de produção de um sistema puxado, é necessário a utilização de ferramentas para gestão visual entre os processos, para tal, é comum o uso do *Kanban*. O fluxo da informação deve ocorrer de forma efetiva, autorizando a movimentação e a produção das quantidades pré-definidas de materiais entre dois pontos no processo produtivo (MOREIRA, 2014).

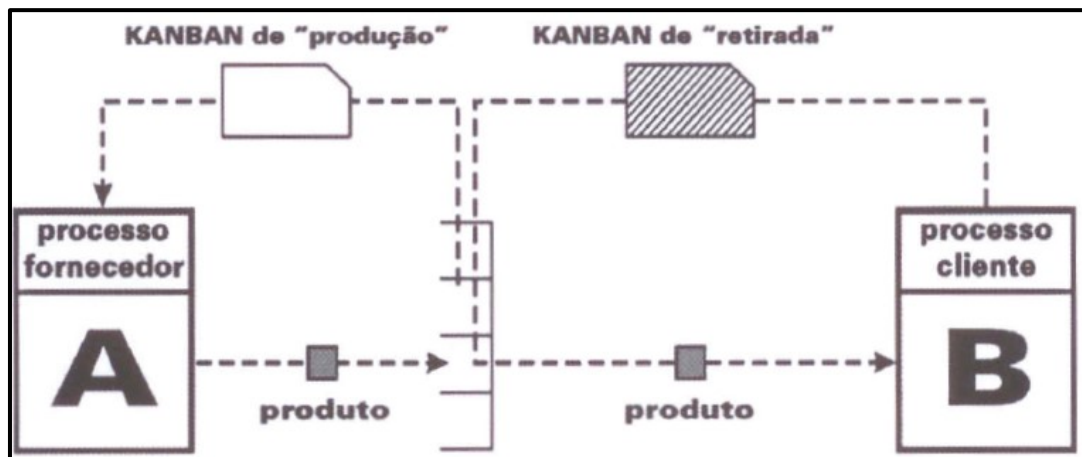
A palavra *Kanban*, de origem japonesa, visa representar um meio de comunicação, expressada com a utilização de painéis, símbolos ou cartões. Na década de 60 os engenheiros da Toyota desenvolveram o Sistema *Kanban*, incorporando-o ao STP. O *Kanban* surge após os japoneses analisarem o controle de estoque dos supermercados americanos, o objetivo é reduzir o tempo de espera em que o cliente aguarda para receber sua mercadoria. O sistema *Kanban* proporciona maior controle dos estoques, possibilitando um fluxo contínuo de matéria entre setores da produção, favorecendo o aumento da produtividade. Considerado um sistema de controle visual simplificado, o *Kanban* deve transmitir as informações da produção nos ambientes de trabalho, orientando o que deve ser feito, a quantidade necessária e quando deve ser produzido (MOURA, 2003).

Existem três formas de sistema de produção puxada. Marchwinski (2007), descreve os seguintes tipos:

- 1) Sistema puxado com supermercado:** caracterizado pela forma mais simples de operação e o mais utilizado, também conhecido como sistema de reposição ou sistema tipo A. Neste modelo o cliente coleta o material disponibilizado por uma “loja”, ou “mercado”, que armazena e entrega as quantidades produzidas. O processo produz apenas o necessário para repor as quantidades utilizadas, o controle pode ser feito utilizando um estoque mínimo, necessitando manter uma certa quantidade dos itens que produz, o que pode gerar uma desvantagem caso exista uma grande variedade de peças. Na Figura 6 uma representação do sistema com supermercado, o produto flui do processo “A”

que é o fornecedor, para o processo “B” cliente, entre os dois processos está disposto o estoque das peças fabricadas pelo processo “A”, que são armazenadas e codificadas. Quando o processo “B” necessita dos produtos, um *Kanban* de “retirada” é utilizado para requisição das peças, contendo as informações necessárias, como por exemplo, modelos, quantidades e locais de armazenamento. O controle do estoque ao detectar a redução das peças fabricadas, dispara um *Kanban* de “produção” para o processo “A”, orientando a fabricação das quantidades necessárias, especificando modelos e local de armazenamento.

Figura 6 – Sistema de produção puxada com supermercado

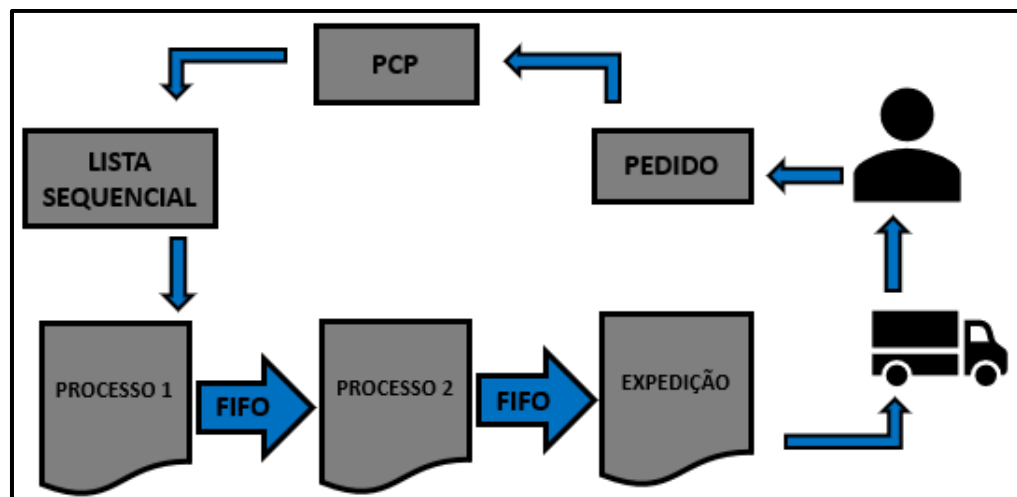


Fonte: Rother e Shook (2003, p. 46)

- 2) **Sistema puxado sequencial:** quando o processo apresenta uma grande variedade de peças, o sistema puxado sequencial ou sistema do tipo B pode ser empregado. Neste modelo a produção é feita sob encomenda, favorecendo a redução dos estoques, com isso o PCP (Planejamento e Controle da Produção) tem função primordial para definir o *mix* e as quantidades necessárias a serem produzidas. Uma lista sequencial, originada de um sistema FIFO (first in first out), que significa, primeiro a entrar, primeiro a sair, é apresentado como metodologia para orientar o fluxo de produção, fazendo com que os processos produzam em sequência os itens que chegam até ele, originados no processo anterior. O sistema puxado sequencial exige que o *lead time* seja curto e previsível, criando maior pressão sobre o controle da operação. Na Figura 7 é possível visualizar o ciclo do sistema de produção

sequencial com uso do método FIFO. No fluxo de produção, após as definições do cliente, por meio do pedido, o PCP programa uma lista que vai ordenar o sequencial de produção. Entre os processos, o fluxo dos materiais deve respeitar as ordens estabelecidas, as quantidades que são disponibilizadas em lotes ou peças unitárias, devem seguir a regra do “primeiro que entra é o primeiro a sair”. Desta forma a produção reduz a fabricação de peças para o estoque, na qual cada processo vai puxar por meio do sequencial de produção, as demandas definidas pelo PCP.

Figura 7 – Sistema de produção puxada sequencial com FIFO



Fonte: Adaptado de Marchwinski (2007)

- 3) **Sistema puxado misto:** modelo que emprega conjuntamente um sistema com supermercado e sequencial, no sistema puxado misto ou tipo C, as prioridades são definidas conforme a frequência dos pedidos, segmentando a produção em peças por volume. Em um sistema misto o conceito de supermercado e sequencial são aplicados seletivamente, permitindo os benefícios de ambos, mesmo em ambientes com demanda complexa e variada. Os dois sistemas podem ocorrer ao mesmo tempo, de forma horizontal no fluxo de valor, ou podem ser utilizados separadamente para o controle específico de determinada peça, em trechos distintos da produção.

Cada modelo de sistema de produção puxada apresenta características próprias, e ambos exigem estabilidade do sistema produtivo, planejamento do *layout*,

controle sobre inventário, como também lideranças e colaboradores capacitados (ROTHER; SHOOK, 2003).

Ao analisar os sistemas de produção, é importante destacar a importância do *layout* de produção e a sua relação com o objetivo que se busca alcançar. De acordo com Breitenbach (2013), para se obter um espaço físico eficiente, é necessário adequar o *layout* ao sistema de produção, para que seja possível realizar movimentações rápidas de materiais e fácil acessibilidade as estações de trabalho, com agilidade e segurança.

Para Peinado e Graeml (2007), o arranjo físico ou o *layout* de produção pode ser entendido como a disposição física dos equipamentos, máquinas, instalações, áreas de trabalho e outros recursos da empresa, a fim de atender às necessidades de produção. Existem dois tipos de arranjo físico comuns em fábricas: o arranjo físico por processo e o arranjo físico por produto. As principais características de cada tipo de arranjo físico são:

- 1) **Arranjo físico por processo:** Neste sistema as operações são organizadas por tipo de processo ou função, agrupando equipamentos, ferramentas e mão de obra de acordo com a tarefa realizada. É adequado para a produção de itens com grande variedade de modelos, tamanhos ou processos, o que permite o uso mais eficiente dos equipamentos, possibilitando que eles sejam compartilhados para diferentes tarefas. Por este motivo operações são mais flexíveis e podem ser alteradas rapidamente para atender a mudanças na demanda ou para introduzir novos produtos (PEINADO; GRAEML, 2007);
- 2) **Arranjo físico por produto:** Neste sistema as operações são organizadas em função de produtos específicos, com equipamentos, ferramentas e mão de obra necessários para produzir um determinado produto. É adequado para a produção de itens com pouca variedade e alta demanda. O que permite uma produção mais eficiente em grande escala. Neste caso as operações são menos flexíveis, e mudanças na produção podem ser mais difíceis e demoradas. De acordo com Tubino (2009), é importante destacar que o arranjo físico por produto funciona efetivamente quando existe uma produção nivelada ou balanceada, na qual a quantidade de cada produto produzido é constante, havendo um equilíbrio entre a capacidade de produção e as demandas do fluxo

produtivo. Quando a demanda varia significativamente entre os produtos, este arranjo pode resultar em tempos de ociosidade e ineficiências, causando uma descontinuidade no processo produtivo e conseqüentemente gargalos com acúmulos de peças, uma vez que algumas máquinas podem ficar ociosas enquanto outras estão sobrecarregadas.

De modo geral, o arranjo físico por processo é mais flexível e adequado para produção com grande variedade, enquanto o arranjo físico por produto é mais eficiente e adequado para a produção em grande escala de itens com pouca variedade. Cada tipo de arranjo físico possui vantagens e desvantagens, e a escolha depende das necessidades de produção de cada empresa. Portanto em sistemas de produção empurrada, quanto produção puxada, podem ser utilizados diferentes tipos de arranjo físico, dependendo das necessidades, tipos de produtos e objetivos da empresa (PEINADO; GRAEML, 2007).

2.2. A PRODUÇÃO DO IMPLEMENTO RODOVIÁRIO

A crescente demanda pelo transporte de carga no Brasil em meados dos anos 1950, favoreceu o crescimento das primeiras fabricantes de implementos rodoviários no país. Com o desenvolvimento da engenharia nacional, sendo incorporada gradualmente no processo de construção do implemento, foi possível expandir o setor, diante das condições severas de infraestrutura encontradas nas estradas nacionais (GOLDENSTEIN *et al.*, 2006).

A produção do implemento rodoviário apresenta características próprias da indústria de bens de capital, o setor produz de modo geral dois segmentos de produtos. Cesário (2012), comenta que os implementos podem ser divididos em carrocerias sobrechassi e rebocados. As carrocerias sobrechassi possuem menor capacidade de carga, conhecidos como caminhão simples, são utilizados principalmente para pequenos deslocamentos, nesta configuração a caixa de carga, ou “baú”, é instalada sobre o caminhão-trator, formando uma única estrutura. Cesário (2012) complementa que o implemento rebocado são estruturas que trafegam acopladas a um caminhão-trator, por serem maiores, possuem maior capacidade de carga, sendo utilizados em grandes percursos. Na Figura 8, modelo de semirreboque do tipo graneleiro.

Figura 8 – Semirreboque do tipo graneleiro



Fonte: Adaptado de Joinville (2022)

O segmento de implementos rodoviários desenvolve componentes complementares ao caminhão, é responsável especificamente pela parte do veículo onde será realizado o transporte da carga. Goldenstein et al. (2006) comenta que a configuração do equipamento depende da natureza da carga que vai ser transportada e das características exigidas para atender à demanda do transporte, entre elas, a flexibilidade, distância e a interação com outros modais.

O deslocamento de veículos de carga nas rodovias nacionais é definido por normas que estabelecem limites de peso e dimensões para cada modelo de veículo, quando os equipamentos rodoviários transitam com excesso de peso ou ultrapassam os limites dimensionais, podem ocasionar diversos problemas, entre eles o deterioramento das rodovias e graves acidentes, como exemplo, colisões entre veículos e obras de infraestrutura, devido ao excesso de altura dos produtos. Desrespeitar as normas estabelecidas pelo CONTRAN (Conselho Nacional de Trânsito) constitui infração de trânsito e o infrator estará sujeito as penalidades e às medidas administrativas indicadas pela lei (CONTRAN, 2007).

Para que as implementadoras possam homologar os produtos fabricados e disponibilizar as combinações dos veículos de transporte de cargas, a fabricação deve estar de acordo com algumas resoluções, como exemplo as principais, nº 210/2006 e nº 211/2006 do CONTRAN, que definem os limites de comprimento e largura, peso bruto total (PBT) e peso bruto total combinado (PBTC) para cada combinação,

considerando o peso do caminhão-trator + semirreboque + carga útil transportada (CONTRAN, 2007).

A competitividade e a busca por melhores índices de qualidade dos produtos, exige das implementadoras soluções tecnológicas que que otimizem processos e produtos. Goldenstein *et al.* (2006), comenta que as fabricantes procuram reduzir o peso das estruturas para maximizar a capacidade de carga do conjunto, um dos principais objetivos em termos de inovação. Com investimento nas áreas de pesquisas, fornecedores do setor, como siderúrgicas, estão desenvolvendo novos tipos de aços, favorecendo a redução de cerca de 10% no peso do implemento, aspecto de grande importância para evolução do setor (GOLDENSTEIN *et al.*, 2006).

Ainda de acordo com Goldenstein *et al.* (2006), a indústria do implemento rodoviário requer alguns aspectos que possam garantir a estabilidade do negócio, como o uso de máquinas e equipamentos específicos, o desenvolvimento de tecnologias para melhorar a qualidade e eficiência do produto final. Foco em qualidade e segurança, visto que os implementos são utilizados para o transporte de diversas cargas, a segurança é uma preocupação crítica. As empresas do setor são geralmente obrigadas a seguir regulamentações rígidas para garantir a qualidade e a segurança dos produtos. A Indústria do implemento apresenta uma cadeia produtiva complexa, que inclui fornecedores de matérias-primas, fornecedores de componentes, montadoras e revendedores. Gerenciar essa cadeia produtiva é essencial para garantir a estabilidade do processo produtivo. De modo geral, o setor é altamente competitivo e exige investimentos significativos em maquinário e tecnologia.

Segundo Marcelino (2017), para maioria das empresas do setor, a produção do implemento rodoviário tem início com as definições do cliente, descritas na Ordem de Venda (OV), ou Pedido de Venda (PV), preenchidos pelo departamento comercial. Neste documento são registradas todas as características do produto, por exemplo, definições geométricas, tipos e marcas dos componentes de fornecedores externos, especificações de pinturas, entre outros aspectos que são necessários para fabricação do produto.

Ainda de acordo com Marcelino (2017), para que o equipamento seja inserido no sequencial de produção, o fluxo inicial da informação deve garantir que a OV seja vinculada a uma Ordem de Produção (OP). Esse processo é gerado e encaminhado pelo setor de PCP, contendo todas as informações e definições do projeto, que são fornecidas pela engenharia, para fabricação interna das peças que compõem o

produto final. Na OV ainda estão presentes questões financeiras, como faturamento e prazos de entrega, aspectos que influenciam diretamente no sequencial de produção que é administrado pelo PCP.

2.2.1. Planejamento e Controle da Produção (PCP)

As atividades de produção existentes nas organizações devem ser corretamente administradas, a fim de garantir o principal objetivo que é a obtenção do lucro. São processadas informações, materiais e até mesmo os próprios consumidores, um modelo de transformação dos recursos de entrada, em produtos e serviços (PEINADO; GRAEML, 2007). Ainda segundo Peinado e Graeml (2007), em um sistema produtivo, logo após as definições das quantidades, dos modelos de produtos a serem fabricados e com a formulação do plano mestre de produção (fase de planejamento), o PCP deve acompanhar as etapas de produção (fase de controle), para utilizar de forma eficiente os recursos de transformação, como máquinas e mão de obra, sobre os recursos a serem transformados, como matérias primas e componentes.

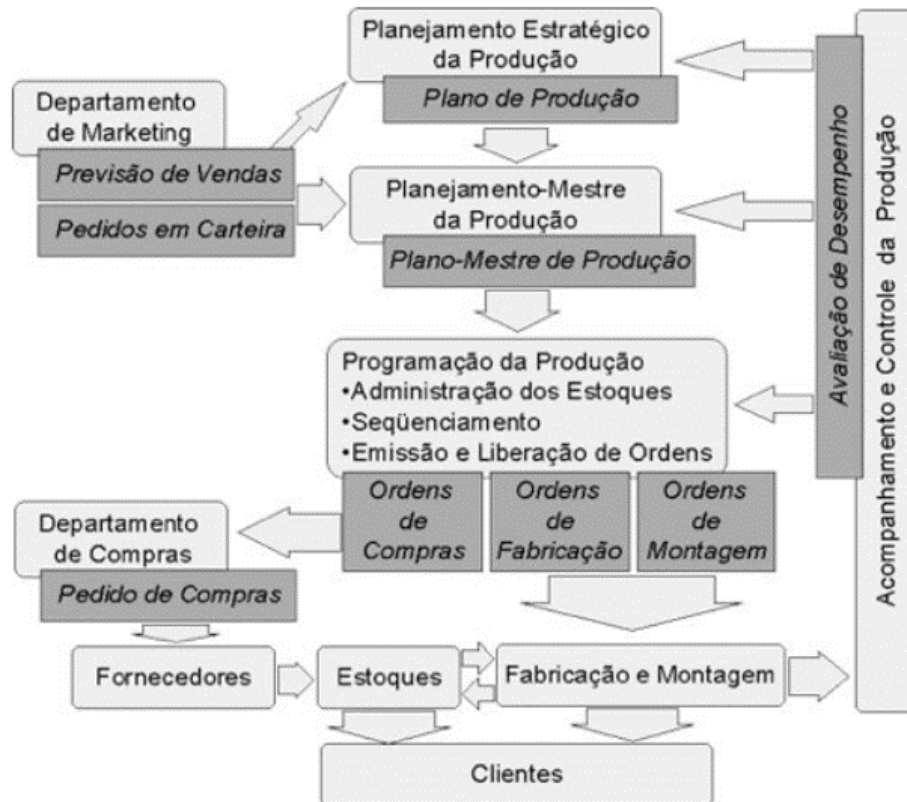
Para Moreira (2014), os principais objetivos do PCP são: planejar as operações que envolvem máquinas e pessoas, com a finalidade de obter níveis desejados de produtividade, gerenciar os recursos disponíveis, com melhor aproveitamento possível, reduzindo os estoques e os custos operacionais, aspectos que contribuem diretamente na qualidade dos produtos e operações, melhorando desde o atendimento até entrega final para o cliente.

Diariamente o PCP deve ter a preocupação de disponibilizar materiais e informações necessárias para que os setores produtivos da empresa operem de forma sincronizada, balanceando as operações, fazendo com que o fluxo de material entre os setores não sofra interrupções. O processo produtivo é formado por clientes e fornecedores internos, e o PCP tem a função de garantir que as negociações entre ambos operem corretamente, definindo sequência, tempos e quantidades necessárias (SLACK, 1997).

De acordo com Slack (1997), o setor de PCP gerencia basicamente três fases, inicia com a fase de planejamento; fase de execução da programação; ao mesmo tempo que gerencia a fase de controle sobre os processos e estoques. Para Tubino (2009), as atividades organizadas pelo PCP podem ser definidas de acordo com a

hierarquia do planejamento da organização, destacando a importância de cinco principais aspectos. Na sequência é apresentada na Figura 9, a visão geral do fluxo de informação das atividades do PCP, explicando os principais aspectos.

Figura 9 – Visão geral do fluxo de informação das atividades do PCP



Fonte: Adaptado de Tubino (2009)

- a) **Plano estratégico da produção:** realizar o planejamento a longo prazo, em função das expectativas de vendas; dos recursos financeiros disponíveis e da capacidade produtiva. Neste plano normalmente são consideradas as famílias de produto, visando a adequação dos recursos disponíveis para atender as demandas previstas, buscando o melhor desempenho estratégico;
- b) **Plano de produção:** definir quais serão as variedades de produtos fabricados e uma projeção das quantidades necessárias dentro de determinado período; controlar os níveis de estoque e administrar os recursos essenciais, como máquinas, matéria prima e mão de obra, que devem estar disponíveis para executar as funções da produção nos prazos estabelecidos;
- c) **Plano mestre de produção:** detalhar o plano mestre de produção, realizando uma análise individual de cada produto. Com as listas técnicas e os roteiros de

fabricação, o PCP analisa as possíveis restrições do sistema produtivo e apresenta medidas que reduzam os índices de perdas, favorecendo o aumento da produtividade.

- d) Programação da produção:** definir o momento de compra e fabricação dos itens que fazem parte do produto final, estabelecidos no plano mestre de produção. Nessa fase as ordens de compra são enviadas aos fornecedores e o PCP encaminha as ordens de produção juntamente com as ordens de montagem, definindo o fluxo produtivo.
- e) Acompanhamento e controle da produção:** acompanhar e controlar o andamento da produção. O PCP verifica a execução dos processos conforme planejado, medindo as variações, com objetivo de indicar medidas corretivas para que o desempenho produtivo seja satisfatório.

O PCP trabalha em conjunto com vários setores simultaneamente, com isso as informações devem ser transmitidas de forma clara e objetiva. Devido ao elevado volume de dados, muitas empresas utilizam *softwares* de gestão, conhecidos como ERP (*Enterprise Resource Planning*), que auxiliam no gerenciamento e planejamento dos recursos da empresa, integrando e automatizando as informações dos diversos setores com o PCP, entre eles, o setor de compras, engenharia, vendas, almoxarifado e fiscal. O objetivo é promover acesso rápido e dinâmico as pessoas envolvidas nos processos, aumentando a sinergia entre as áreas (TUBINO, 2009).

Para Tubino (2009), as principais atividades desenvolvidas pelo PCP, podem apresentar diferentes graus de complexidade, de acordo com o tipo de sistema produtivo no qual está inserido, portando a importância de entender as principais características do sistema produtivo da organização e o relacionamento destas com a função do PCP.

2.2.2. Estratégias de Manufatura

Todo sistema produtivo possui estratégias de produção caracterizadas de acordo com o modelo de negócio da empresa. Segundo Pires (1995), a classificação do tipo de manufatura é definida observando como o sistema produtivo responde as demandas do cliente e o grau de influência do mesmo na definição das características

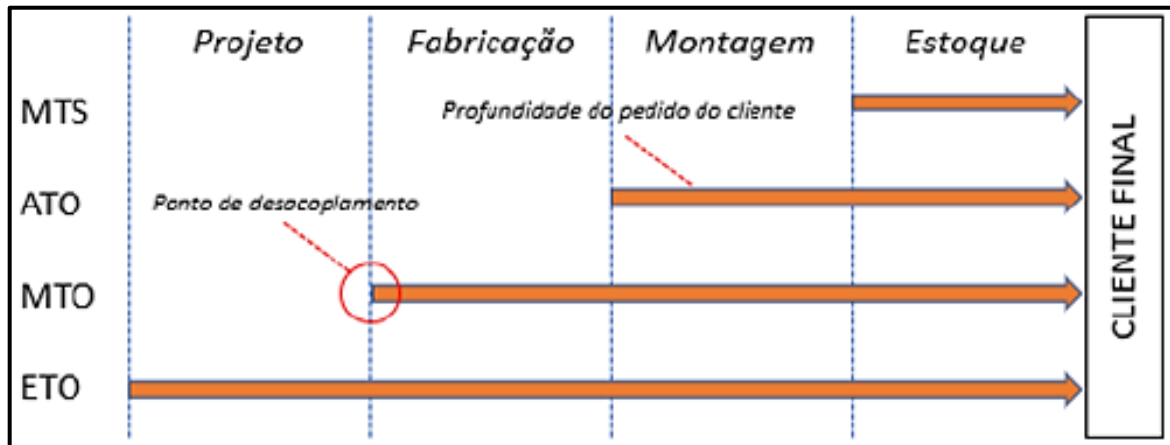
do produto. De acordo com Errasti e Poler (2008), as estratégias de produção são aplicadas em função da variedade de produtos do portfólio das empresas, entre elas:

- **Make-To-Stock (MTS) ou Produção para Estoque** – Produção ocorre mediante previsão da demanda, é enviada para o estoque e fica aguardando a chegada dos pedidos para ser concretizada a venda ao cliente final, neste caso o *lead time* é altamente reduzido, sendo recomendado para situações onde a demanda é previsível;
- **Assembly-To-Order (ATO) ou Montagem sob Encomenda** – Os componentes ou peças do produto final são produzidos e aguardam a liberação dos pedidos para realização da montagem final, nessa estratégia é produzido e enviado para o estoque apenas os itens com maior demanda, o *lead time* de entrega é reduzido, diante da oportunidade de realizar a montagem de uma diversidade de produtos finais;
- **Make-To-Order (MTO) ou Produção sob Encomenda** – A produção inicia com a chegada do pedido pelo cliente, nesta estratégia é possível trabalhar com estoque reduzido de produtos acabados, indicado para demandas com baixa frequência, que possuem elevado custo de estocagem ou itens que são perecíveis, o prazo de entrega pode se tornar indesejável, diante do aumento do *lead time*, principalmente para produtos onde a velocidade de entrega é primordial;
- **Enginner-To-Order (ETO) ou Engenharia sob Encomenda** – O cliente define as especificações do produto, que é então projetado, aumentando a complexidade de produção, as atividades de engenharia precisam ser adicionadas ao *lead time* de entrega do produto, neste caso o PCP encontra maior dificuldade em prever o gerenciamento da matéria prima, como quantidades e prazos com fornecedores;

Errasti e Poler (2008) destacam a importância da distinção entre as estratégias de manufatura, utilizando o conceito do ponto de desacoplamento, na qual o pedido do cliente impacta diretamente na estratégia de produção, apresentando certo nível de profundidade no sistema de manufatura, que altera de forma significativa o *lead time* de entrega do produto. A Figura 10 demonstra a diferença entre as estratégias de produção, em relação as necessidades do cliente,

considerando as quatro principais fases do ciclo de vida de um produto na organização: projeto, fabricação, montagem e estoque de produtos acabados.

Figura 10 – Ponto de desacoplamento entre as estratégias de produção



Fonte: Galhardo (2019, p. 27)

A indústria do implemento rodoviário apresenta na maioria das empresas uma estratégia de produção tipo ETO, um nicho de mercado destinado a manufatura de produtos sob encomenda, onde o projeto e as características do implemento são desenvolvidos especialmente de acordo com as necessidades do cliente. Muitas empresas do ramo destinam grande parte dos investimentos, em desenvolvimento de novos processos e alterações no produto, com o objetivo de tornar o implemento mais semelhante possível ao modelo de produção seriado. Apesar disso a padronização do produto não favorece o mercado de clientes que transportam cargas especiais e produtos não paletizados (BREITENBACH, 2013).

Breitenbach (2013) comenta que as customizações feitas no implemento, estão relacionadas com o tipo carga que será transportada ou a utilidade do equipamento, que além do transporte de carga, pode ser utilizado como oficina, salas de treinamento, transporte de animais e até mesmo palco para eventos. Na produção com estratégia ETO, o pedido do cliente originado no setor de vendas é encaminhado a engenharia, que desenvolve e realiza o detalhamento do projeto, que será enviado a produção, dando início ao processo de fabricação.

Na estratégia de produção ETO o contato inicial com cliente vai definir as características básicas do projeto, todas as especificações solicitadas são avaliadas pela engenharia, que só libera a produção após o recebimento formal do pedido de

venda. Neste modelo de negócio a relação com o cliente geralmente é intensa, o produto pode sofrer alterações, mesmo em fase de produção (PIRES, 1995).

2.3. PROCESSO DE CORTE POR PLASMA

As operações de transformação e agregação de valor dos bens produzidos na indústria, são elementos de grande importância para o sistema produtivo do ramo metalúrgico. A competitividade no segmento de manufatura exige que os meios de produção sejam mais flexíveis, de fácil adaptação, que produzam mais, com menor custo, prazos reduzidos e elevados níveis de qualidade. Entre os principais processos de fabricação, como corte, usinagem, fundição, laminação, extrusão, trefilação e soldagem, o processo de corte é responsável por parcela significativa nas operações industriais, visto que todas as demais operações dependem inicialmente de sua execução (GOMES, 2010).

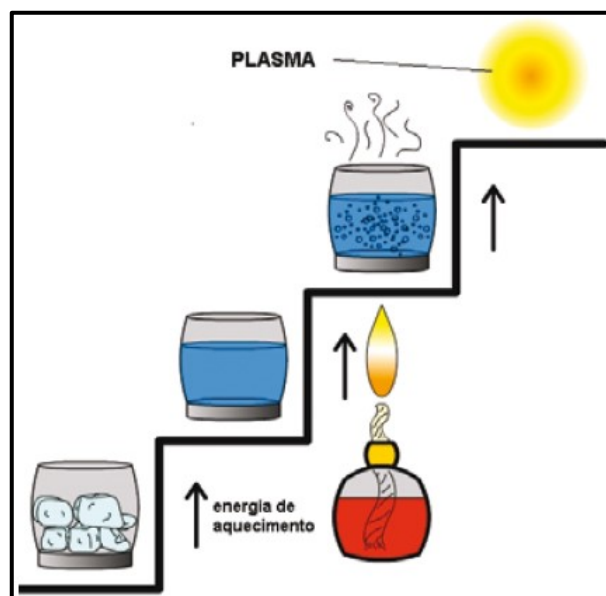
O processo de laminação existente nas aciarias, fornece para indústria de transformação produtos com geometrias padronizadas, disponibilizados principalmente em chapas, que são modificadas para obtenção da geometria final de um item estrutural específico. O corte térmico é uma das principais opções utilizadas para executar a separação do material, entre os processos estão inclusos, o oxicorte, o corte a laser e o corte por plasma (CÍCERO *et al*, 2016).

A metodologia aplicada para fundir o metal é a principal característica que diferencia os processos. No oxicorte o processo de separação é feito com a utilização de uma tocha que aquece o metal até sua temperatura de ignição, seu ponto de fulgor. Um fluxo de oxigênio é direcionado no metal aquecido, causando uma reação de oxidação, formando a escória, que flui para fora da largura de corte. No processo de corte a laser, um feixe de laser de alta potência é direcionado no material a ser cortado. A quantidade de energia é suficiente para fundir o metal, que vaporiza ou é assoprado por um gás para fora da região de corte. Por último, o processo de corte por plasma, que funde o material, utilizando o plasma como caminho para formação de um arco elétrico entre a tocha e a peça a ser cortada (CÍCERO *et al*, 2016).

Para Lima (2009), toda matéria na natureza possui quatro estados físicos: sólido, líquido, gasoso e plasma. Ele utiliza a água como exemplo, quanto mais energia, em forma de calor, é adicionada ao sistema, acontecem as transformações dos estados físicos. No primeiro estado, o gelo em forma sólida, ao ser aquecido,

atinge o estado líquido, que vaporiza com adição de calor e o vapor com elevados níveis de temperatura favorece o processo de ionização, que causa a criação de elétrons livres e íons positivos entre os átomos do gás, formando o quarto estado da matéria, o plasma, que é eletricamente condutivo, com excelente capacidade de transmissão de corrente elétrica. Na natureza, a tempestade de raios é o exemplo mais visível da formação desse fenômeno físico. A Figura 11, ilustra o processo de transformação dos estados físicos.

Figura 11 – Processo de transformação dos estados físicos



Fonte: Lima (2009, p. 20)

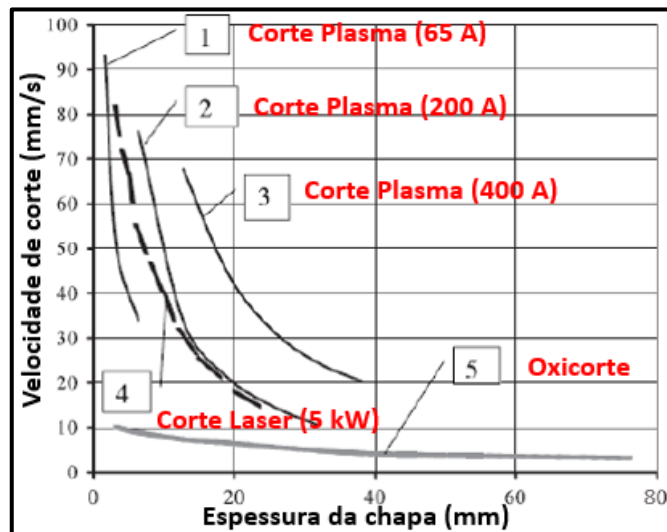
A aplicação do processo de corte por plasma apresenta vantagens técnicas e econômicas em uma variedade de tipos de metais e espessuras, principalmente quando as operações utilizam medidas entre 6 mm e 40 mm. O processo de oxicorte é o mais recomendado para peças com espessura acima de 40 mm, por questões de investimento inicial e custos operacionais mais baixos. O corte a laser apresenta vantagem operacional e econômica para peças com espessura abaixo de 6 mm, o processo é caracterizado por executar um corte de alta qualidade com ângulos retos e ótima precisão (LIMA, 2009).

Kashiwagi (2016), destaca em seu estudo que o corte por plasma foi desenvolvido e patenteado pelo Dr. Robert Gage em 1957, a serviço da Union Carbide, inicialmente utilizado para realizar o corte de aço inoxidável e alumínio. O corte por plasma é um excelente processo, diante da sua vasta aplicação em

diferentes metais que apresentam alta dureza e elevado ponto de fusão. Apresentando uma mistura otimizada de qualidade, produtividade, flexibilidade e custo operacional, em função da faixa de espessura a ser cortada e o investimento no equipamento, quando comparado com outros processos. Um processo com alto índice crescimento na indústria, em virtude também da velocidade e precisão do corte.

Para obter melhores resultados em produtividade, é importante realizar um comparativo entre os processos por corte térmico. Na Figura 12, apresentado no estudo de Kashiwagi (2016), é possível observar a relação entre a velocidade de corte e a espessura da chapa a ser cortada. O processo de oxicorte opera em uma ampla faixa de espessura, contudo apresenta baixa amplitude na velocidade de corte, a energia utilizada no sistema é decorrente de reações exotérmicas de oxidação, da combustão do metal, que é dependente da vazão e pressão dos gases utilizados no sistema. No processo de corte por laser, a faixa de espessura é mais limitada e apresenta um intervalo mais largo para as velocidades de corte, a unidade de medida em kW (kilowatt), representa a quantidade de energia elétrica capaz de realizar trabalho, ou seja, a potência, uma elevada concentração de energia elétrica disposta no feixe de laser. No processo de corte por plasma a relação da velocidade e espessura do material vai depender diretamente da corrente elétrica aplicada no sistema, a unidade de medida A (ampere), representa o fluxo de energia no arco elétrico, o que permite o corte do material pela termofusão.

Figura 12 – Gráfico comparativo dos processos por corte térmico



Fonte: Adaptado de Kashiwagi (2016)

2.3.1. Principais componentes e consumíveis

De acordo com Caló (2013), para a formação do arco plasma, são necessários e indispensáveis alguns componentes, que transmitem e controlam o fluxo de energia. O principal componente é a fonte de energia, a maioria dos modelos é configurada para operar em corrente contínua e tensão de circuito aberto na faixa de 240V a 400V. Toda energia liberada pela fonte é conduzida até material a ser cortado, por meio do arco elétrico, que ao entrar em contato com o gás ionizado, encontra passagem para a transmissão da energia, deste modo formando o plasma, este possui elevada quantidade de calor, possibilitando o corte por termofusão, todo o fenômeno ocorre na tocha. Na Figura 13, um sistema básico de corte por plasma, composto por 5 componentes principais (LIMA, 2009):

- 1) Fonte de energia;
- 2) Console de Ignição – Alta Frequência;
- 3) Console de controle de gás;
- 4) Tocha plasma;
- 5) Conjunto de Válvulas;

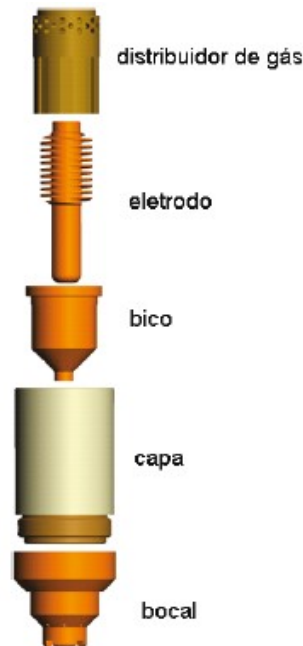
Figura 13 – Principais componentes do sistema de corte por plasma



Fonte: Lima (2009, p. 22)

Lima (2009) destaca a importância da tocha, que tem como principal função a fixação e o suporte para os consumíveis do processo, a tocha também é composta por um sistema de refrigeração (gás ou água) que garante a vida útil dos consumíveis. Na Figura 14, a disposição dos componentes da tocha plasma:

Figura 14 – Componentes da tocha plasma



Fonte: Lima (2009, p. 21)

- a) **Distribuidor de gás:** Fabricado em material isolante, resiste a altas temperaturas e tem a principal função de dar sentido rotacional ao gás, formando um redemoinho dentro da tocha;
- b) **Eletrodo:** Responsável por conduzir a corrente elétrica gerada na fonte até sua extremidade, na qual um inserto de háfnio emite os elétrons para geração do plasma;
- c) **Bico:** Função de restringir e comprimir o plasma na direção da peça a ser cortada;
- d) **Capa:** Função de alinhar os consumíveis, isolando eletricamente o bocal dos demais componentes;
- e) **Bocal:** Responsável por guiar o fluxo de ar ou gás de proteção que é coaxial ao plasma, o bocal é refrigerado e isolado, podendo ser apoiado na peça;

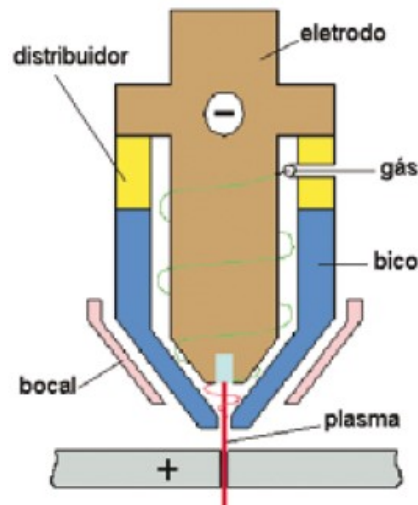
Um dos maiores problemas no processo de corte por plasma é a curta vida útil dos consumíveis, gerando elevados custos na operação, tanto na compra dos itens, como no tempo de paralisação da máquina para troca de peças e localização dos defeitos. Para realizar um controle sobre o processo, algumas empresas registram a vida útil, com base nos números de disparos, tempo de arco ativo ou chapas processadas. Geralmente o operador é o primeiro a identificar a necessidade da troca das peças. Examinar visualmente as peças e determinar qual delas falhou, é o primeiro passo para solução dos problemas de vida útil dos consumíveis, é importante analisar a causa raiz da falha (HYPERTHERM, 2022).

De acordo com os dados da Hypertherm (2022), o eletrodo e o bico são os principais itens que apresentam defeito por desgaste, ocasionando falha ao perfurar ou perda repentina do arco no meio do corte. No eletrodo o háfnio é corroído pelo calor e fluxo do gás de plasma que foi a alta velocidade, o desgaste é acentuado principalmente nos disparados executados para abertura do arco. O bico concentra o jato do plasma, por esse motivo deve estar perfeitamente redondo e concêntrico, qualquer avaria no orifício causa deformação na forma do arco, ocasionando cortes com defeitos e baixa qualidade. Normalmente a vida útil de um conjunto de consumíveis é estimada em 1 a 2 horas de tempo de arco ativo e de algumas centenas de disparos, sistemas mais avançados podem alcançar mil partidas antes que a troca seja necessária.

2.3.2. A formação do arco plasma

O arco plasma formado entre o eletrodo e a peça, é comprimido por um pequeno orifício no bico, consumível que é fabricado de cobre, projetado para aguentar elevadas temperaturas. A constrição do plasma faz com que ocorra um aumento de pressão, elevando a temperatura e a velocidade do jato de plasma. A temperatura típica pode estar na faixa de 25000°C, podendo atingir picos de 50000°C. A velocidade do jato apresenta valores próximos a velocidade do som, de aproximadamente 343 m/s, aspecto de grande importância para que ocorra a total penetração do jato e a remoção completa do material fundido no processo de corte. (KASHIWAGI, 2016). Na Figura 15 é apresentado um esquema do corte por plasma e a disposição dos consumíveis.

Figura 15 – Representação do processo de corte por plasma

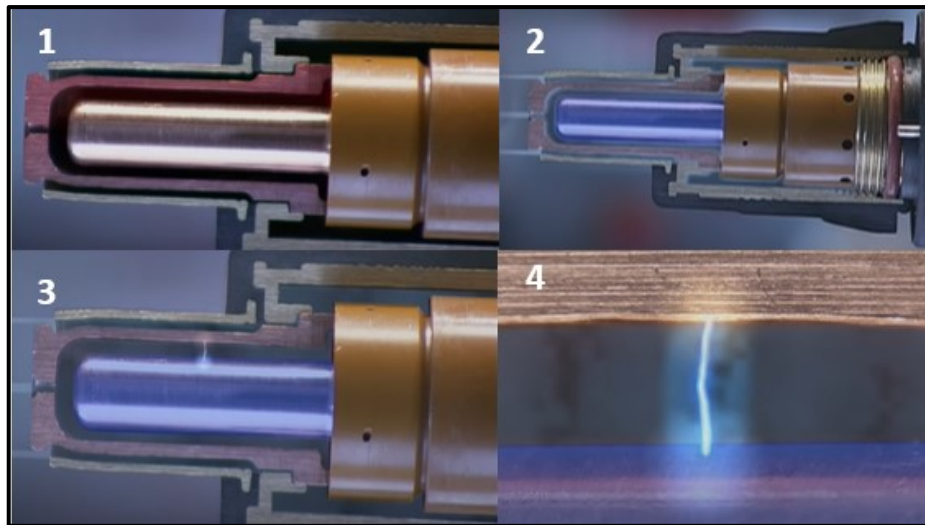


Fonte: Lima (2009, p. 18)

Segundo Joaquim e Ramalho (2013), o arco plasma, pode ser entendido e subdividido pelo modo como ocorre a transferência da corrente elétrica. Quando formado entre o eletrodo e o bico, é chamado de arco não transferido, no processo de corte por plasma possui a função principal de gerar o arco piloto, dando início a formação do plasma. Esta mesma configuração também pode ser utilizada em processos de soldagem de materiais que não são bons condutores de energia elétrica. Quando a corrente elétrica flui do eletrodo (ânodo) na tocha, em direção a peça de trabalho (cátodo), é considerado arco transferido. A corrente elétrica quando entra em contato direto com a peça, favorece maior eficiência nas operações de corte, portando devido a isso, o arco transferido é usualmente o modo mais utilizado em processos de separação por termofusão.

A sequência de operação inicial do plasma acontece com a geração do arco piloto, que pode ser observado na Figura 16. Um sinal de partida é enviado a fonte, simultaneamente são transmitidos a tocha uma tensão de arco aberto OCV (Open Circuit Voltage) e o fornecimento do fluxo de gás. Quando a vazão do gás é estabilizada, o console de ignição HF (High Frequency) é ativado, uma elevada tensão elétrica (de 5 a 10kV) e de baixa corrente é desenvolvida entre o eletrodo e o bico, ionizando o gás que que passa pelo arco elétrico, favorecendo um caminho de baixa resistência, formando deste modo o arco piloto (LIMA, 2009).

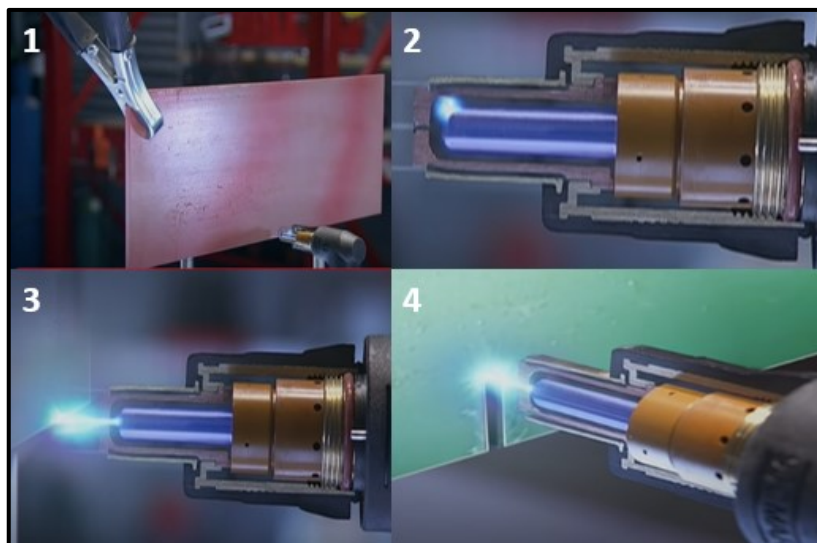
Figura 16 – Processo de geração do arco piloto



Fonte: Adaptado de Discovery Channel (2022)

Lima (2009) explica que após a formação do arco piloto, a fonte de potência do plasma é acionada, formando um novo caminho para corrente, entre a peça a ser cortada, que é conectada ao polo positivo da fonte (cátodo), fechando o circuito no eletrodo que está conectada com o polo negativo (ânodo). Quando o arco piloto entra em contato com a peça, ocorre a transferência do arco, criando o arco principal, depois deste estabelecido, o arco piloto é extinto. Na Figura 17, é possível observar como ocorre o processo de transição entre o arco piloto e o arco principal, descrito anteriormente.

Figura 17 – Processo de formação do arco principal



Fonte: Adaptado de Discovery Channel (2022)

2.3.3. Parâmetros operacionais do processo

De acordo com as definições de Marques *et al.* (2011), o processo de corte por plasma apresenta similaridade nos parâmetros operacionais, quando comparado com o processo de soldagem por plasma, o que difere além dos aspectos estruturais das máquinas utilizadas, são os ajustes realizados nas variáveis do processo. O tipo de tocha e qualidade das peças também podem influenciar no acabamento superficial da peça cortada. As características do material utilizado e espessura a cortar, são as principais funções que vão definir as variáveis operacionais, a seguir são apresentados os parâmetros de maior importância para a operação de corte:

- Velocidade de corte;
- Pressão do gás;
- Corrente de corte;
- Altura da tocha;

A velocidade de corte é a variável que relaciona diretamente a potência do feixe com a espessura do material a ser cortado, velocidades elevadas em materiais com maior espessura ocasionam defeitos no corte, gerando muitas rebarbas e a incapacidade de atingir a profundidade de corte. Velocidades baixas podem ocasionar aumento da ZTA (Zona Termicamente Afetada), além de reduzir a capacidade produtiva. Geralmente as unidades de medidas utilizadas para definir a velocidade de corte são feitas em milímetros por segundo (mm/s), centímetros por minuto (cm/min) ou metros por minuto (m/min) (CALÓ, 2013).

De acordo com Pimenta (2013), as variáveis como pressão do gás, altura da tocha e a velocidade de corte, são parâmetros que podem ser ajustados diretamente nas máquinas de corte por plasma, porém a melhor definição destas configurações deve ser feita considerando as orientações do fabricante do equipamento. Parâmetros configurados de modo correto garantem a qualidade do corte, principalmente na questão de acabamento e melhoria nos índices de produtividade, reduzindo os tempos de processo. Na Tabela 1, uma relação dos parâmetros de corrente e velocidade de corte, em função da espessura do material, recomendados para sistemas de plasma mecanizados, para o aço SAE 1020.

Tabela 1 – Parâmetros do corte para sistema mecanizados

Material	Espessura (mm)	Corrente (A)	Velocidade de corte (mm/min)
AÇO CARBONO SAE 1020	0,5	25	10540
	1,5	40	5600
	3,0	60	5400
	6,0	80	2700
	12,0	100	1500
	19,0	100	660
	25,0	100	460

Fonte: Adaptado de Pimenta (2013)

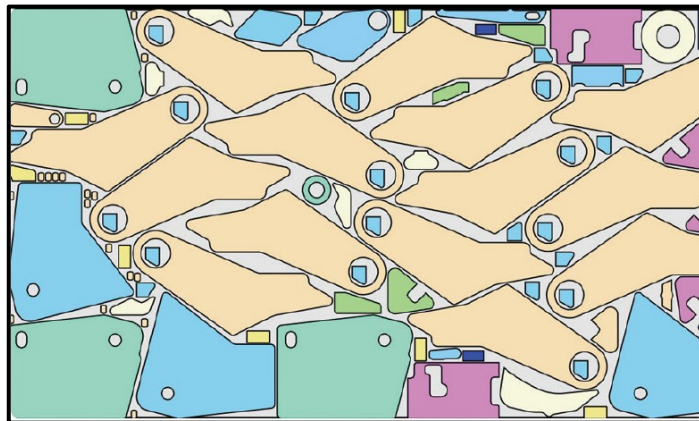
Laube e Lourenço (2022) concluíram em seus estudos que a velocidade de corte é um parâmetro que influencia não somente a ZTA, mas também o acabamento superficial e formação de rebarba. Velocidades mais altas geram menos rebarbas e superfícies mais irregulares, quando a tocha se move com maior velocidade, o arco plasma apresenta maior instabilidade. Para o parâmetro da corrente, a maior influência está na ZTA, maiores correntes apresentam quantidades significativas de calor que alteram as características do material. Dependendo da espessura a corrente aplicada pode não efetuar o corte, tendo de ser compensada com a diminuição da velocidade de corte.

2.3.4. Software de otimização

Nas operações que utilizam máquinas CNC, desenvolver o plano de corte é essencial para o melhor aproveitamento da matéria prima, ordenação e organização das peças a serem cortadas, visando reduzir os desperdícios do processo e aumentar a produtividade. Os primeiros softwares de aproveitamento foram desenvolvidos em meados de 1979, utilizando matemática aplicada e algoritmos precisos. Estudos iniciais foram desenvolvidos para o corte na indústria de tecidos e na sequência avançou rapidamente para o setor de chaparia. Atualmente além da grande capacidade de otimizar os planos de corte em vários processos, os softwares são capazes de controlar a programação e execução de robôs na soldadura por arco e corte 3D (ALMACAM, 2022).

Silva (2018) destaca em seu estudo que a principal função dos softwares de aproveitamento é auxiliar a manufatura com utilização de cálculo computadorizado. O funcionamento é realizado basicamente pelo posicionamento e agrupamento de peças variadas em uma chapa, um tipo de plotagem, feita com a utilização de uma análise computacional, adequando o melhor aproveitamento para o corte requerido. Os softwares utilizam modelos CAD (Computer Aided Design) e CAM (Computer Aided Manufacturing), desenho assistido por computador e manufatura auxiliada por computador respectivamente, que calculam e distribuem as peças selecionadas, orientando a quantidade de chapas necessárias. Os softwares também geram o comando numérico para execução nas máquinas CNC. Na Figura 18, uma representação do aproveitamento realizado com diversas peças.

Figura 18 – Distribuição das peças feitas por software de aproveitamento



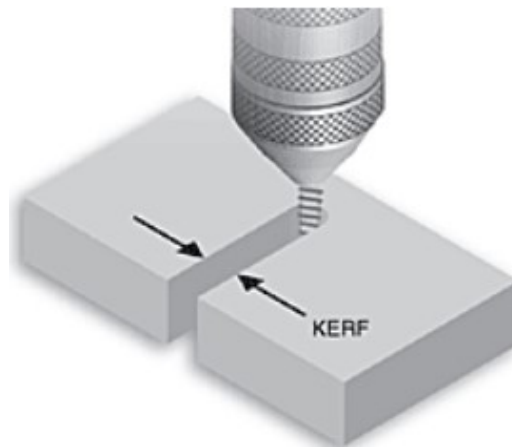
Fonte: Adaptado de Almacam (2022)

De acordo com Kondrasovas (2022), utilizar um software otimizador de plano de corte é o primeiro passo para reduzir os tempos de fabricação, custos com materiais e mão de obra. Para obter resultados satisfatórios é preciso ajustar o software para que ele represente a realidade da produção, pois muitas vezes planos de cortes gerados pelo software não são possíveis de serem executados pelo programador de corte ou operador da máquina.

Ainda segundo Kondrasovas (2022), para otimizar o processo de corte em chapa é necessário a adoção de alguns métodos e práticas que devem ser executadas de modo correto, para não ocasionar falhas na operação de corte. A seguir estão descritas algumas recomendações que devem ser aplicadas ao utilizar softwares de otimização para gerar o plano de corte e o código numérico para executar na máquina:

- a) **Ajustar a espessura do corte:** Ao realizar uma operação de corte, como no plasma, é inevitável a perda de material devido a ação do jato de plasma que separa o material, o *kerf* como é definido, representa a largura do material que é removido. Este parâmetro varia de acordo com a espessura da chapa e as configurações das variáveis utilizadas no processo. O *kerf* parametrizado de forma incorreta, inviabiliza o plano de corte, causando erros dimensionais nas peças cortadas. Na Figura 19, o *kerf* em um processo de corte.

Figura 19 – Representação do *kerf* no processo de corte



Fonte: Adaptado de Kondrasovas (2022)

- b) **Ajustar corretamente a espessura e as dimensões da chapa:** Ficar atento ao inserir os valores de espessura, largura e comprimento das chapas no software, como o software utiliza esses dados para realizar os cálculos dos parâmetros de corte e aproveitamento, erros deste tipo podem causar o descarte parcial ou total da chapa e peças cortadas.
- c) **Definir corretamente a unidade de medida utilizada:** Devido a variação na utilização das unidades de medidas em diversos setores industriais e até mesmo entre países, o programador ao utilizar o software deve estar atento a correta configuração das unidades de medidas, um erro muito comum é utilizar as dimensões da chapa em milímetros e lançar o tamanho das peças em centímetros.
- d) **Definir uma gestão do plano de corte agrupando pedidos:** Para criar planos com elevado grau de aproveitamento, é recomendado agrupar pedidos de clientes distintos, para aumentar a quantidade de peças, favorecendo encaixes e combinações que apresentem melhores resultados.

3. METODOLOGIA

O método é o conjunto das atividades sistemáticas e racionais, a fim de alcançar os resultados desejados, com maior segurança e economia, aplicando conhecimentos válidos e verdadeiros (MARCONI; LAKATOS, 2003). Neste trabalho, utilizando conceitos da manufatura enxuta, procura-se encontrar soluções e oportunidades de melhoria no processo de corte por plasma, visando a redução de custos e o aumento da produtividade.

Neste capítulo uma metodologia científica é adotada, a fim de orientar o pesquisador ao longo do estudo, os resultados podem ser adquiridos mesmo ocorrendo alguma mudança no percurso do estudo. Serão apresentados a classificação da pesquisa, as etapas de desenvolvimento e o modo como foi realizado a coleta dos dados.

3.1. CLASSIFICAÇÃO DA PESQUISA

Existem diversas formas de classificar as pesquisas, as mais frequentes e conhecidas são as que organizam a pesquisa sob aspecto de sua natureza (básica ou aplicada), de acordo com a forma de abordagem do problema (quantitativa ou qualitativa), com relação aos objetivos (exploratória, descritiva ou explicativa) e com base nos procedimentos técnicos (bibliográfica, documental, experimental, levantamento, estudo de caso, pesquisa *ex-post-facto*, pesquisa-ação e pesquisa participante) (SILVA; MENEZES, 2005).

A natureza deste trabalho pode ser classificada como pesquisa aplicada, os conhecimentos são adquiridos e aplicados na prática para solucionar os problemas existentes. Conhecendo conceitos da manufatura enxuta e a compreensão técnica das características do processo de corte por plasma, é possível identificar melhorias e aplicá-las na prática. Para buscar a solução do problema, a abordagem pode ser classificada como quantitativa e qualitativa, os dados coletados e os resultados são analisados com ferramentas matemáticas, buscando também identificar e solucionar os desperdícios do processo, com base na observação.

A classificação da pesquisa com relação aos objetivos deste trabalho, pode ser considerada como descritiva. Com a coleta de dados, evidenciar-se-á os principais

aspectos causadores dos desperdícios e os limitantes que impedem o aumento da produtividade, descrevendo as principais características e as relações entre as variáveis do processo que impactam diretamente nos resultados.

3.2 METODOLOGIA *KAIZEN* COM APLICAÇÃO DE PDCA

A metodologia *Kaizen* é amplamente aplicada nas organizações, desde processos industriais, até setores de serviços, com o objetivo de promover a melhoria contínua. O *Kaizen* busca identificar e eliminar desperdícios, otimizar fluxos de trabalho, aprimorar a qualidade das entregas, aumentar a produtividade e envolver os colaboradores em um processo de excelência. A abordagem enfatiza a participação de todos que fazem parte do sistema na qual a metodologia é aplicada, colaborando na geração de ideias, a resolução de problemas e a implementação de mudanças de forma incremental.

Como metodologia de pesquisa acadêmica, o *Kaizen* proporciona uma abordagem sistemática e contínua para investigar problemas e buscar soluções. Ao utilizar o *Kaizen* nesse contexto, o pesquisador pode identificar áreas de estudo que necessitam de melhorias e estabelecer metas claras. Desta forma, neste estudo o princípio *Kaizen*, que está presente nos fundamentos da manufatura enxuta, é utilizado como ferramenta norteadora na busca pelas soluções de melhoria da eficiência do processo. A metodologia proposta pelo *Kaizen* é desenvolvida seguindo alguns passos:

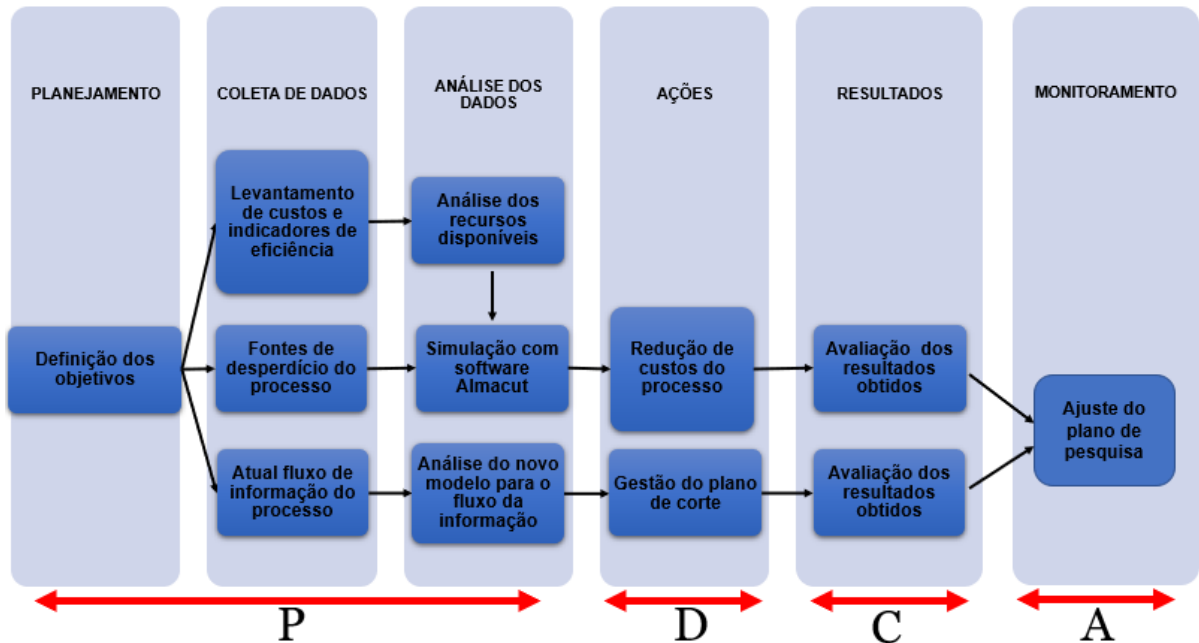
- 1) **Identificação do problema:** Identificar a área ou processo que necessita de melhoria, com base na eliminação dos desperdícios, neste caso, o processo de corte por plasma. Com fundamentos da teoria das restrições, plasma é avaliado como um gargalo para o sistema produtivo. Todos os colaboradores do processo são envolvidos, auxiliando na identificação de possíveis soluções e dos principais aspectos que necessitam de melhoria.
- 2) **Análise do processo atual:** Analisar o atual processo de corte por plasma, levantando os principais dados, para identificar as oportunidades de melhoria. As informações coletadas são analisadas, como o tempo e o uso de materiais. Os dados devem ser coerentes com os objetivos que se buscam alcançar.

- 3) **Identificação de soluções:** Buscar as soluções para os problemas identificados, que estão relacionados diretamente com os desperdícios do processo, junto a falta de gestão do plano de corte. Os problemas e soluções são apresentados no decorrer deste trabalho.
- 4) **Implementação:** Identificadas as soluções, são propostas as implementações das melhorias.
- 5) **Monitorar os resultados:** Após as ações serem implementadas, é importante monitorar os resultados e verificar se as melhorias estão sendo executadas. Padronizar os processos melhorados e mantê-los continuamente.

A metodologia deste trabalho utiliza o ciclo PDCA como complemento para direcionar a pesquisa. Sua aplicação envolve um ciclo de quatro etapas: Planejar (Plan), Executar (Do), Verificar (Check) e Agir (Act). Na etapa de planejar, o pesquisador identifica o problema de pesquisa, estabelece objetivos claros e desenvolve um plano de ação. A etapa de executar envolve a implementação do plano, coletando dados e conduzindo a pesquisa de acordo com o protocolo estabelecido. Em seguida, na etapa de verificar, o pesquisador analisa os resultados, compara-os com os objetivos estabelecidos e avalia a validade dos dados coletados. Por fim, na etapa de agir, as medidas são tomadas com base nos resultados e nos aprendizados obtidos, seja ajustando o plano de pesquisa, fazendo correções ou refinando a abordagem. A implementação da metodologia *Kaizen* com a aplicação do PDCA proporciona uma abordagem completa para a melhoria contínua em diversos contextos, fornecendo um método estruturado e iterativo para desenvolver a pesquisa, permitindo que o pesquisador identifique problemas, teste soluções e alcance resultados satisfatórios.

Portanto, ao identificar as fontes de desperdício, realizar o levantamento dos custos da operação e mapear o atual fluxo de informação do processo, os dados coletados são analisados, para definir ações que resultem nas melhorias, tanto em produtividade, quanto em redução de custos. No estudo, alguns colaboradores que fazem parte do processo são envolvidos na pesquisa, o responsável pela operação da máquina do plasma e o programador do corte, que utiliza o software de aproveitamento para gerar os programas executados na máquina, com base nos projetos da engenharia. Na Figura 20, o fluxograma que orienta a pesquisa na direção dos objetivos.

Figura 20 – Fluxograma do desenvolvimento da pesquisa



Fonte: Autor (2023)

3.2.1 Planejamento

O planejamento da pesquisa é definido com base nos objetivos a serem alcançados, que é obter uma redução nos custos do processo e aumentar a produtividade na operação de corte por plasma. Os problemas que incapacitam o processo de atingir os resultados esperados, são os alvos deste estudo, sendo a pesquisa orientada pelos mesmos. O trabalho é justificado, ao identificar na prática os problemas que necessitam de análise e estudo direcionado.

Nesta etapa do estudo o planejamento busca contextualizar a situação atual, considerando o histórico dos problemas que ocorrem no processo, que estão diretamente relacionados com os desperdícios da operação. Para obter as informações necessárias, visitas ao ambiente de trabalho (*gemba*) são fundamentais e ocorrem com frequência, os colaboradores envolvidos no processo fornecem informações e dados do processo que são tabulados e servem de orientação para análise das melhorias. São coletadas algumas amostras físicas dos consumíveis utilizados e servem de demonstração visual, para identificar os efeitos de desgaste causados pelo processo.

O trabalho é planejado visando a implementação de duas ações necessárias para obtenção de melhorias no processo:

- 1) Redução de custos do processo:** Pretende-se com esta implementação, definir a melhor tomada de decisão com relação a eficiência produtiva, visando obter o menor custo operacional possível, sem prejudicar a produtividade. Fundamentada em conceitos da manufatura enxuta, a pesquisa busca identificar as fontes de desperdício; realizar o levantamento de custos da operação, como o tempo hora homem/máquina, o custo com matéria-prima e o valor dos consumíveis do plasma; e cruzar estes dados com os indicadores de eficiência do processo, para medir as perdas, fornecendo ao gestor, o cenário mais favorável diante da administração dos recursos. Visando a validação dos resultados, o software de otimização Almacut, fornecido pela Almacam, também é utilizado, para realizar simulações da operação de corte, fornecendo indicadores do tempo de processamento; aproveitamento da chapa; e número de disparos da tocha do plasma. Estes dados são comparados com os indicadores coletados no *gemba*, para validar a possível melhoria no controle dos recursos do processo.

- 2) Gestão do plano de corte:** Melhoria na atual gestão do fluxo das informações e execução das simulações de aproveitamento de chapa. No modelo recente de trabalho, o operador do plasma é quem realiza as simulações e executa a própria operação de corte. O fluxo da informação é diretamente da engenharia para a operação, deste modo a gestão do processo, como aproveitamento de chapa, controle dos tempos e peças fabricadas para estoque, fica restrito somente a visão do operador, que não tem acesso as informações do fluxo de produção futuro e a base de dados das peças desenvolvidas pela engenharia. Neste modelo o operador do plasma fica sobrecarregado com a necessidade de realizar as simulações de aproveitamento no software Almacut, desviando dos objetivos principais da função, que é preparar e executar a operação da máquina, abastecer a mesa de corte, retirar e aferir as peças cortadas, realizar a contagem e controle das peças de estoque, além das obrigações de registrar dados da operação, efetuar a troca dos consumíveis e limpeza da máquina. Pretende-se neste caso, implementar um controle intermediário entre a engenharia e a operação de corte, envolvendo a função do PCP, para criar uma gestão otimizada dos planos de corte, com base no sequencial de produção e

nos estoques de peças cortadas. Para essa função é destinado um colaborador específico, um programador de corte, com conhecimentos técnicos e atribuições necessárias, para programar os planos de corte, acompanhar o fluxo produtivo do processo, controlando alguns indicadores como tempo e consumo de matéria-prima.

Para obter bons resultados, toda organização deve planejar o fluxo da informação nos processos, ter uma comunicação dinâmica entre as áreas, a fim de transmitir de forma coerente as informações que possuem valor agregado. O escopo deste trabalho fica restrito e tem como um dos objetivos, definir o fluxo de informação entre o departamento de engenharia, onde são desenvolvidos os projetos; o PCP que define o sequencial de produção; e a operação de corte por plasma, os setores e processos subsequentes não são tratados neste estudo.

Como ponto de partida para planejar e visualizar as oportunidades de melhorias no processo de corte por plasma, fez-se necessário o entendimento dos principais aspectos que compreendem o trabalho. Sendo necessário uma revisão bibliográfica dos conceitos da manufatura enxuta; a importância da eliminação dos desperdícios, e como estes fortaleceram o Sistema Toyota de Produção; e o estudo de fundamentos da teoria das restrições, que indicam os gargalos da produção e como estes impactam no fluxo do processo produtivo, evidenciando as melhorias que possam ocorrer com base na eliminação dos mesmos.

Para ampliar os conhecimentos e direcionar a pesquisa na busca pelas oportunidades de melhoria, o estudo dos sistemas de produção faz-se importante, direcionando o foco para a produção do implemento rodoviário e suas principais estratégias. Por fim a revisão bibliográfica do processo de corte por plasma, que busca esclarecer as principais características que envolvem o processo; componentes e consumíveis; o modo de formação do arco plasma; os parâmetros operacionais e os principais conceitos de aplicação dos softwares de otimização do corte. Conhecimentos práticos e teóricos que são necessários para utilizar o software Almacut. Porém neste estudo não será tratado o modo de preparação para as simulações, será utilizado apenas o resultado final do aproveitamento de chapa. Deste modo, as simulações direcionam os resultados para a implementação do controle dos recursos disponíveis. Todos os assuntos abordados são detalhados com maiores explicações no capítulo 2.

3.2.2 Coleta de dados

Silva e Menezes (2005) destacam que a coleta de dados estará relacionada com o problema, a hipótese ou os pressupostos da pesquisa, com o objetivo principal de obter elementos que justifiquem a realização do estudo, para alcançar os resultados esperados, podendo estes serem satisfatórios ou não. Nesta etapa do trabalho, a coleta de dados e as informações necessárias para o desenvolvimento da pesquisa, devem responder questões relevantes que direcionam o andamento dos estudos.

Para este trabalho, a coleta dos dados foi planejada em 3 etapas principais, o levantamento de custos e indicadores da produção, a identificação das fontes de desperdício e o mapeamento do atual fluxo de informação do processo. As técnicas empregadas que colaboram para a organização dos dados coletados, foram executadas por meio da pesquisa bibliográfica, que são apresentadas no capítulo 2 e fundamentam o objetivo do estudo; da pesquisa documental, que coleta os dados no ambiente de trabalho, para elaborar posteriormente as análises; e a observação. A seguir estão descritos os modos de como são coletados os dados para as respectivas etapas:

- 1) Levantamento de custos e indicadores de eficiência:** Entende-se por custo toda saída de caixa da empresa, que tem relação direta com a produção, o custo tem impacto sobre a produção e vice-versa. O levantamento dos custos deste trabalho está relacionado com 3 principais variáveis, o custo com a hora homem/máquina; o custo referente a matéria-prima, especificamente sobre as chapas de aço carbono; e o custo com os consumíveis da máquina de plasma. O levantamento destes dados é realizado por meio da consulta ao sistema ERP da empresa, onde ficam armazenados os dados relativos as compras, valores, fornecedores e tipos de materiais. A pesquisa documental feita no *gemba* (ambiente de trabalho) também é uma das formas de coleta dos dados, que serve como indicador de eficiência do processo, ao identificar a utilização dos recursos. O operador da máquina do plasma fornece informações coletadas ao longo da produção, que são documentadas e tabuladas, como os tempos de produção; a pesagem da sucata gerada; e a utilização dos consumíveis. Estes

são posteriormente analisados, para medir as perdas e direcionar a pesquisa na obtenção de resultados que favoreçam a redução de custos;

- 2) Fontes de desperdício do processo:** Identificar as perdas é de grande importância para criação de métodos que possibilitem eliminá-las. Nesta etapa da coleta de dados a principal função é identificar as fontes de desperdícios do processo, uma investigação fundamentada em conceitos estabelecidos pela manufatura enxuta, apresentadas no capítulo 2. Para coletar as informações, é realizado a observação no *gemba* (ambiente de trabalho), os dados são registrados de forma qualitativa e servem de justificativa para gerar as ações necessárias a fim eliminar as perdas.

- 3) Atual fluxo de informação do processo:** Etapa da coleta de dados que busca evidenciar o modo como ocorre a transmissão da informação no processo. Os dados são coletados por meio da observação qualitativa, verificando o caminho da informação entre o departamento de engenharia e a operação do plasma. Um fluxograma do estado atual é desenvolvido a fim de orientar o estudo para a geração de um novo modelo que favoreça a gestão do processo.

Para realizar a coleta de dados no ambiente de trabalho, todas as normas de segurança estabelecidas pela empresa devem ser cumpridas, desde a utilização dos EPI's (Equipamentos de Proteção Individual) e aos limites de proximidade com as máquinas no setor. O ambiente de trabalho, principalmente o chão de fábrica, concentra grande quantidade de informações, que são de relevada importância para a obtenção de respostas nas soluções dos problemas. Segundo Ohno (1997), o levantamento das informações por meio de observações no *gemba*, é essencial e insubstituível, é a melhor maneira de compreender o estado atual de qualquer indústria. No Quadro 1, a definição dos objetivos que se busca alcançar na coleta de dados e o meio como os dados são coletados.

Quadro 1 – Quadro dos objetivos da coleta de dados

COLETA DE DADOS		
OBJETIVO	OBJETIVO ESPECÍFICO	MEIO
LEVANTAMENTO DE CUSTOS DO PROCESSO	Levantamento de custo hora HOMEM/MÁQUINA	Planilha de custos
	Custo das chapas de aço carbono utilizadas no processo	Sistema ERP
	Custo dos consumíveis da máquina do plasma	Sistema ERP
INDICADORES DE EFICIÊNCIA	Tempos de produção	Documento no Gemba
	Pesagem da sucata gerada	Documento no Gemba
	Quantidade de consumíveis utilizados no processo	Documento no Gemba
FONTES DE DESPERDÍCIO	Identificar as fontes de desperdício	Observação qualitativa no Gemba
ATUAL FLUXO DE INFORMAÇÃO DO PROCESSO	Mapear o atual fluxo de informação do processo	Observação qualitativa no Gemba

Fonte: Autor (2023)

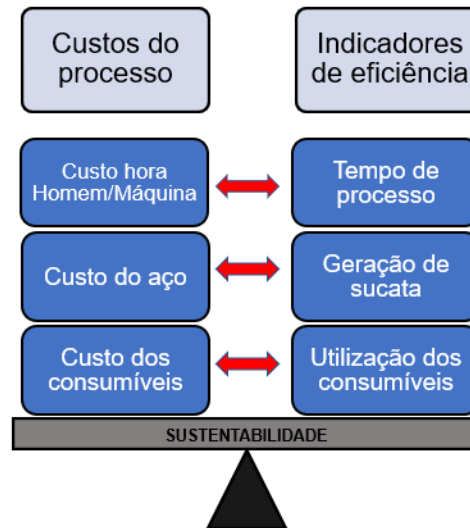
3.2.3 Análise dos dados

Nesta etapa do trabalho o objetivo é a construção de conceitos, a fim de justificar as implementações de melhoria, esclarecendo a situação atual da empresa, direcionando o foco da pesquisa para as soluções que favoreçam a redução de custos do processo e o aumento de produtividade. O desenvolvimento da análise é de responsabilidade do pesquisador em conjunto com os responsáveis que executam as tarefas no processo.

A eliminação dos desperdícios é o aspecto que impacta diretamente nos resultados e serve de norte para o planejamento das ações a serem tomadas. Os desperdícios que são evidenciados neste estudo estão diretamente relacionados com os custos da operação, como a utilização do tempo, as perdas com matéria-prima, gasto excessivo com os consumíveis do plasma e de modo geral a falta de uma gestão técnica do processo, que possibilite otimizar o uso dos recursos. Ao analisar os dados coletados, realizando o cruzamento dos custos com os indicadores de eficiência do processo, busca-se estabelecer o melhor cenário com relação a administração dos recursos disponíveis, a fim de garantir a sustentabilidade e melhorar a eficiência do

processo. Na Figura 21, um modelo equilibrado para a gestão dos recursos no processo de corte.

Figura 21 – Balanceamento dos recursos do processo



Fonte: Autor (2023)

Conforme planejamento da pesquisa, após a análise dos dados coletados no ambiente de trabalho, são realizadas simulações de aproveitamento de chapa com software Almacut, para validar de forma computacional os resultados adquiridos.

Ao analisar o atual fluxo de informação, que orienta as atividades do processo de corte por plasma, este trabalho busca estabelecer um novo modelo de gestão do plano de corte. Esse estudo é realizado com o desenvolvimento de um fluxograma do estado atual, que seja capaz de mapear e descrever o caminho da informação, destacando suas limitações. Com essa análise, um novo fluxograma é elaborado, visando a implementação das melhorias que são necessárias.

Portando, com as informações tratadas no referencial teórico e as análises de todos os dados coletados, este trabalho descreve de forma factível as oportunidades de melhoria, que são mapeadas e servem de orientação para as possíveis implementações.

3.2.4 Ações necessárias

Nesta etapa do trabalho, todos conhecimentos adquiridos e os conceitos formados, são colocados em prática. Para alcançar os objetivos propostos, é

necessário o engajamento das pessoas que fazem parte do processo e o entendimento da importância que este trabalho pode favorecer, para o desenvolvimento da empresa, quanto para o crescimento profissional de cada colaborador envolvido nas atividades.

Ao longo do desenvolvimento dos conceitos, algumas reuniões com os responsáveis pela execução do processo são realizadas. O objetivo é adquirir feedbacks, para identificar dificuldades e possíveis ações que sejam necessárias para executar as devidas atividades.

Deste modo, com todas as informações levantadas e analisadas, as oportunidades de melhoria no processo de corte por plasma são evidenciadas, orientando as ações necessárias que visam a redução dos custos do processo e a definição da gestão do plano de corte. Todas as melhorias especificadas são avaliadas nos resultados deste trabalho.

3.2.5 Avaliação dos resultados

A avaliação dos resultados tem como objetivo principal de verificar e avaliar o impacto das ações no processo de transformação da prática, descrevendo quais foram os ganhos obtidos com as melhorias. Esta avaliação permite identificar se as ações correspondem aos resultados desejados. Isso pode incluir mudanças na prática, nos processos ou em outros aspectos relevantes para o estudo. Além de fornecer informações importantes para os envolvidos no processo, em relação ao andamento das atividades, a avaliação dos resultados contribui para o conhecimento acadêmico, permitindo a identificação de boas práticas e novas abordagens para a resolução de problemas.

3.2.6 Monitoramento

Essa etapa permite que o pesquisador avalie os resultados obtidos, verifique a eficácia das ações implementadas e identifique melhorias. Durante o monitoramento, é possível analisar se os objetivos propostos foram alcançados, verificar se os dados coletados são confiáveis e identificar possíveis desvios ou problemas que precisam ser abordados.

4. RESULTADOS

Este capítulo do trabalho tem por finalidade apresentar o desenvolvimento e os resultados obtidos com as propostas de melhoria para o processo de corte por plasma. Para contextualizar o cenário atual da empresa, são descritas as particularidades do fluxo de produção da organização, com enfoque principal nas características do setor de corte/dobra, na qual se localiza o processo de corte por plasma.

4.1 CARACTERÍSTICAS DA ORGANIZAÇÃO

A empresa Joinville Implementos Rodoviários, atua no segmento de implementos rodoviários desde 1988, atualmente instalada em Garuva-SC, possui 20 mil m² de pátio, com aproximadamente 4,5 mil m² de área construída. Fornece equipamentos para transporte de diversas aplicações, entre os modelos, o transporte de carga fechada com furgão de alumínio estruturado, furgão isotérmico, furgão lonado, modalidades para o transporte de cargas à granel, como o graneleiro e também o fornecimento de semirreboques para o transporte de bobinas e porta containers. Na Figura 22, uma imagem da área externa da empresa.

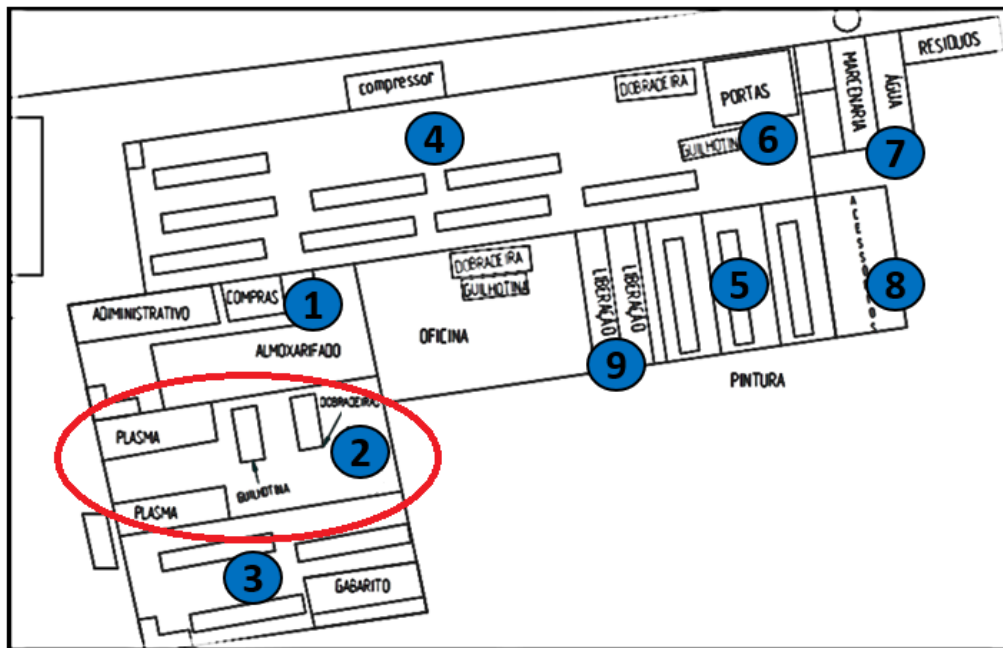
Figura 22 – Joinville Implementos Rodoviários



Fonte: Adaptado de Joinville (2022)

O desenvolvimento do estudo que visa a implementação de melhorias no processo de corte por plasma, tem como local de aplicação o setor de corte/dobra da empresa, onde está situada a máquina de plasma. Na Figura 23, a imagem representativa do *layout* da empresa, com os respectivos setores responsáveis pela fabricação do semirreboque, com destaque para o setor de corte/dobra, localizado entre o setor de montagem de bases e o almoxarifado.

Figura 23 – Layout atual da empresa



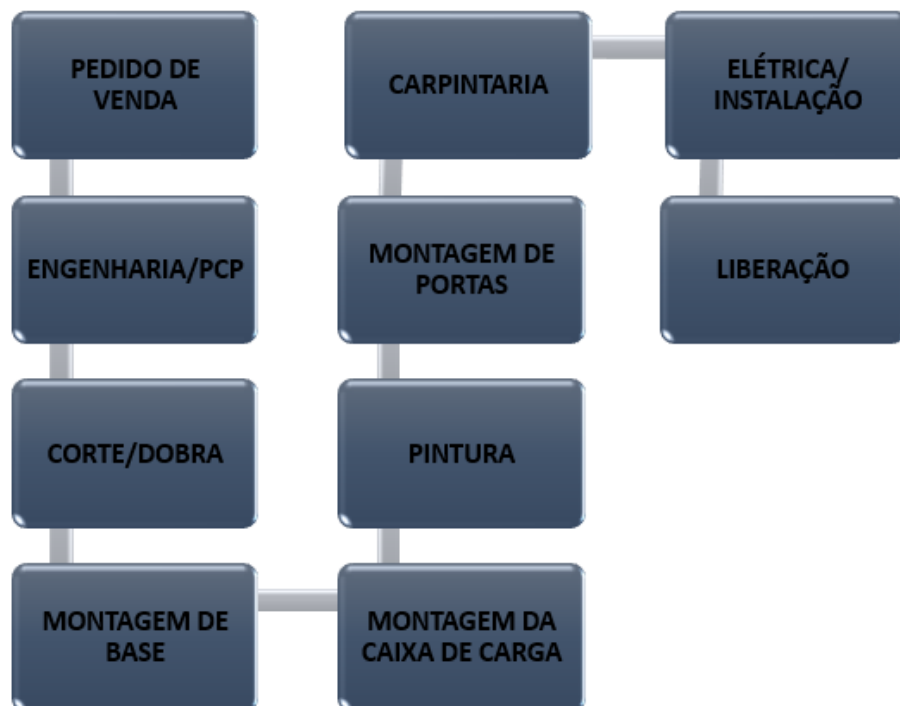
Fonte: Autor (2023)

- 1) Administrativo + Almoxarifado;
- 2) Corte/dobra;
- 3) Montagem da base do semirreboque;
- 4) Montagem da caixa de carga;
- 5) Pintura;
- 6) Montagem de portas;
- 7) Carpintaria;
- 8) Elétrica / Instalação;
- 9) Liberação;

A produção do implemento rodoviário é composta de várias etapas subsequentes que são dependentes entre si, para obtenção do produto acabado é

necessário que cada processo execute corretamente as operações, a fim de garantir o sincronismo entre as áreas e o produto seja montado no tempo certo. A seguir, na Figura 24, é apresentado um fluxograma do processo de fabricação do implemento rodoviário, relacionando de modo sintetizado, o tipo de serviço que é executado em cada setor, identificando respectivamente cada processo com a numeração correspondente ao *layout* da fábrica.

Figura 24 – Fluxo de produção do semirreboque

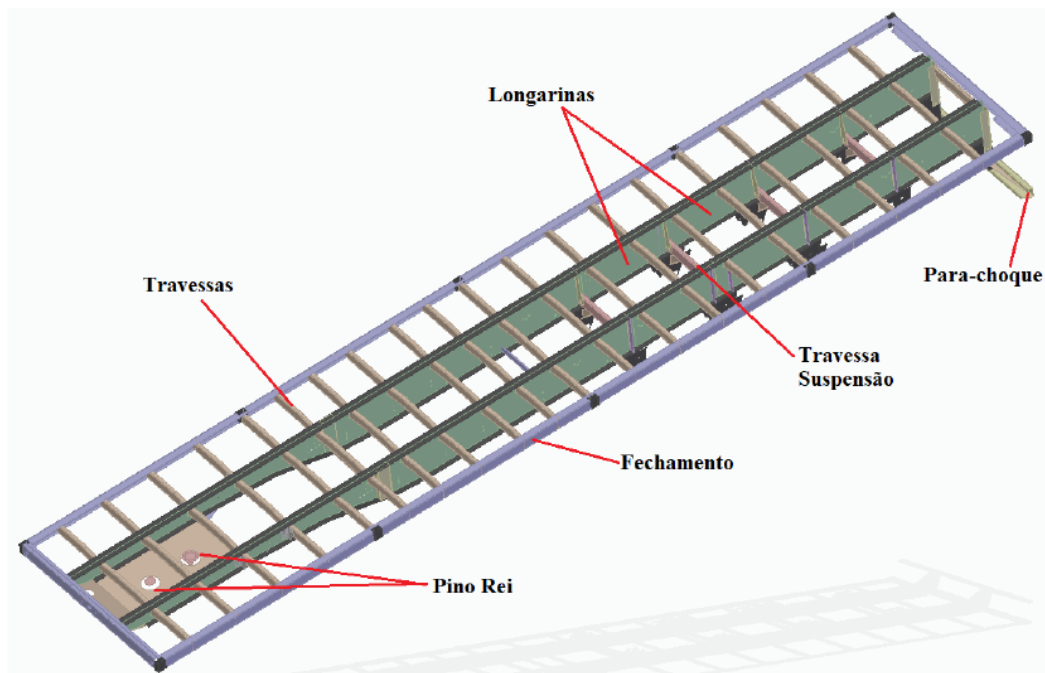


Fonte: Autor (2023)

- **Pedido de venda (1):** O processo inicia com as definições das características do produto no pedido venda, os documentos com as informações necessárias são formalizados e transferidos do comercial para o departamento de engenharia/PCP;
- **Engenharia/PCP (1):** Comercial e engenharia/PCP, estão alocados no setor administrativo da empresa. Ao receber as informações do produto no PV, a engenharia realiza uma análise de viabilidade das necessidades do cliente e desenvolve o projeto do produto. Na sequência o PCP realiza o levantamento dos materiais necessários e organiza o fluxo de produção, com base nas datas de entrega, que são definidas com o comercial;

- **Setor de corte/dobra (2):** O setor de corte/dobra é responsável pela fabricação das diversas peças que compõem o implemento rodoviário. É neste setor que matéria prima fornecida em chapas de aço, passa pelos primeiros processos de transformação. O local foi estrategicamente instalado visando distribuir as peças fabricadas para os setores adjacentes. A estrutura organizacional do setor é composta pelos colaboradores base, com supervisão do líder, que orienta a produção diante das diretrizes da gerência industrial.
- **Montagem de base (3):** Setor responsável pela montagem das bases do semirreboque, também chamada de “chassi”, a estrutura principal do implemento rodoviário. Nesta etapa da produção as peças que foram cortadas e dobradas são montadas pelo processo de soldagem. Neste setor também são montados os sistemas de suspensão com a instalação dos eixos e molas. A seguir na Figura 25, a montagem da base do semirreboque com os principais componentes;

Figura 25 – Montagem da base do semirreboque



Fonte: Leandro (2019, p. 26)

- **Montagem da caixa de carga (4):** Esta etapa do processo é responsável pela montagem da caixa de carga do implemento. Nos casos em que o produto é um baú furgão estruturado, é realizado o processo de chapeação e rebiteagem

das chapas laterais em alumínio. Para os implementos do tipo lonado, é feita a instalação das lonas do teto e lonas laterais.

- **Pintura (5):** Etapa responsável pela pintura dos produtos, neste processo acontece a limpeza e preparação para o recebimento da tinta, é necessário a remoção de oxidações e impurezas como óleos e graxas, como também a necessidade de processos com abrasivos para realizar desbastes e acabamentos.
- **Montagem de portas (6):** Processo responsável pela fabricação e montagem das portas traseiras e laterais do implemento rodoviário.
- **Carpintaria (7):** A carpintaria é responsável pela instalação de assoalhos, revestimentos internos e tampas para os implementos do tipo graneleiro e carga seca, que são solicitados em madeira.
- **Elétrica / Instalação (8):** Fase do processo na qual é realizado a instalação da parte elétrica e iluminação, como também a montagem do sistema pneumático e sistema de ABS. Nesta etapa também ocorre a instalação dos acessórios, como barrica da água, caixas de cozinha e ferramentas, instalação do protetor lateral, porta estepe, pneus e demais itens que são solicitados pelo cliente;
- **Liberação (9):** Na liberação é realizado a inspeção final do produto. Nesta fase são preenchidos os *checklists* de finalização e o setor de qualidade avalia as condições do produto para que o comercial possa realizar a entrega ao cliente.

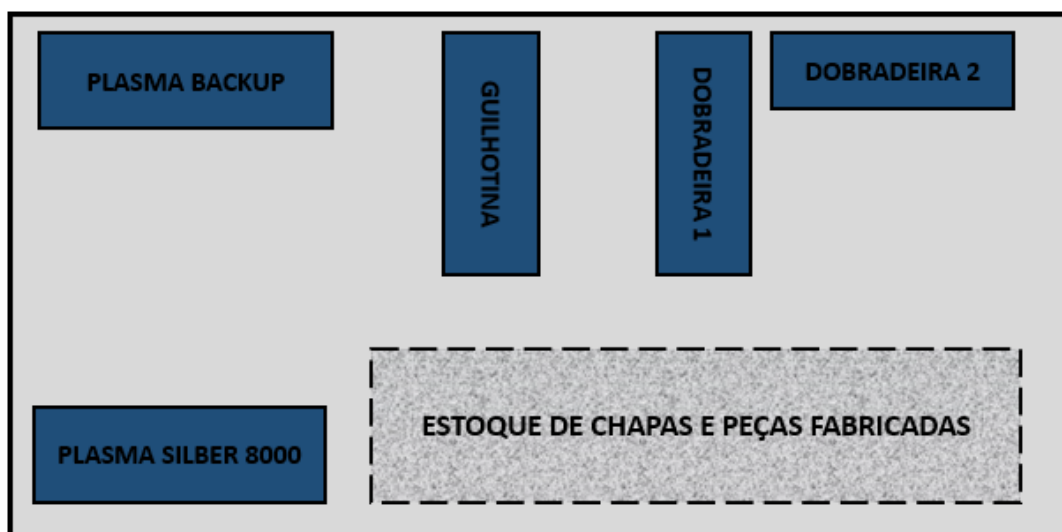
A empresa Joinville Implementos é caracterizada por uma estratégia de produção do tipo ETO (*Engineering To Order*), os implementos rodoviários comercializados são produtos personalizados, projetados e fabricados de acordo com as necessidades específicas dos clientes. Cada produto pode ser desenvolvido com distintas características, como tamanho, capacidade de carga, funcionalidades e outros requisitos específicos. Essa estratégia é utilizada em decorrência aos diversos segmentos do mercado, pois cada segmento tem suas próprias necessidades. Embora a estratégia ETO possa ser desafiadora em termos de planejamento e execução da produção, ela oferece uma vantagem competitiva para a empresa, entregando produtos adaptados às necessidades dos clientes.

4.1.1 Análise do sistema produtivo no setor de corte/dobra

O *layout* de produção do setor de corte/dobra, apresenta características do tipo de produção por processo, neste arranjo físico as máquinas e equipamentos são agrupados de acordo com suas funções e processos, independentemente do tipo de peça que está sendo produzida. A programação da produção para cada máquina é realizada de forma isolada, sendo característica do processo a utilização do sistema de produção empurrada. No setor de corte/dobra os equipamentos e máquinas são agrupados de acordo com suas funções, se torna mais fácil produzir maiores quantidades de peças, sem a preocupação com os diferentes projetos que são solicitados, para os diferentes tipos de implementos.

No setor de corte/dobra além da máquina de plasma principal, está instalada uma segunda máquina de plasma que serve de *backup* para o processo, por ser uma máquina mais antiga e com menor capacidade de produção, nela são cortadas peças para serviços na oficina e peças que exigem menores acabamentos superficiais. Ainda neste setor estão instaladas a máquina de guilhotina, e as dobradeiras, que completam o maquinário necessário para a fabricação inicial dos produtos. Na Figura 26, a disposição das máquinas no setor, na sequência é destacado a relação do *layout* de produção com o tipo de sistema produtivo característico do processo.

Figura 26 – Layout do setor de corte/dobra



Fonte: Autor (2023)

A produção de implementos rodoviários é na maioria dos casos caracterizada por sistema de produção empurrada, o fluxo de fabricação das peças não é contínuo. Desta forma, os produtos são fabricados com base em uma previsão de demanda futura. De modo geral, a produção envolve muitas etapas distintas, desde o corte e dobra de chapas metálicas até a soldagem, montagem e pintura final. Essas etapas são geralmente realizadas por diferentes trabalhadores, em variados setores. Como resultado, é difícil coordenar todas essas etapas de produção em resposta às demandas dos clientes internos. O processo se torna mais simples, quando as peças são fabricadas em lotes e empurradas para o estoque, para serem consumidas posteriormente.

O custo do *setup* de máquina é um ponto importante a ser observado. Os implementos rodoviários são produtos complexos, que exigem elevada demanda na troca de ferramental, portanto, é mais eficiente produzir peças em lote, para diluir o custo do *setup*. Outro fator que contribui para o uso do sistema empurrado, é a natureza do mercado. Em geral, a demanda por implementos rodoviários é relativamente estável, quando não ocorrem crises na economia, o que permite uma certa previsão sobre as necessidades futuras do mercado, possibilitando um planejamento para que a produção ocorra em conformidade.

A manufatura enxuta recomenda a utilização de um sistema de produção do tipo puxado, programando a produção com base na demanda real do cliente. Na qual as atividades de produção são iniciadas somente quando um pedido é recebido, ao invés de serem iniciadas com base em uma previsão de demanda. Isso ajuda a evitar estoques desnecessários, reduzindo o desperdício. No entanto, é importante destacar que a manufatura enxuta não é uma abordagem de "tudo ou nada". Por exemplo, a empresa pode utilizar o sistema empurrado em alguns processos de produção, enquanto utiliza o sistema puxado em outros. Além disso, cada empresa tem suas próprias necessidades e desafios, e deve adaptar a abordagem de acordo com sua realidade. O importante é que a empresa esteja sempre buscando melhorar a eficiência do processo de produção e maximizar o valor entregue ao cliente.

No setor de corte/dobra a máquina principal de plasma, a Silber Cutter 8000, fabricada pela Silber do Brasil, se destaca como uma das melhores soluções do segmento de corte por plasma no mercado, atendendo os padrões de qualidade exigidos pela empresa. A máquina apresenta área útil de corte com 2600X6300mm, podendo cortar chapas com espessura de 0,6mm a 45mm. É importante destacar que

a área útil disponível para cortar as chapas é um fator limitante para o processo. Quanto maior a área útil, melhores são as possibilidades de rearranjo e posicionamento das chapas na máquina, porém devido a questões de investimento, a Silber Cutter 8000 é a opção atual diante do cenário econômico da empresa.

A Silber é responsável pela montagem estrutural e parte mecanizada (CNC) do sistema de corte por plasma, sendo uma empresa cadastrada e registrada como OEM (Original Equipment Manufacturer), atua como fabricante que monta e desenvolve produtos para outras empresas do ramo. Os componentes instalados na máquina, como a fonte, controle de ignição, console de controle do gás, tocha e conjunto de válvulas, são disponibilizados pela Hypertherm, empresa de referência para sistema de corte por plasma. Na Figura 27, o modelo da máquina de corte por plasma, instalada no setor de corte/dobra da empresa.

Figura 27 – Máquina de corte por plasma Silber Cutter 8000



Fonte: Adaptado de Silber do Brasil (2023)

4.2 ANÁLISE DA SITUAÇÃO ATUAL

A obtenção do lucro é o principal objetivo da empresa, para isso são definidas metas de produção. Diante da situação atual do mercado, a diretoria da Joinville Implementos definiu uma meta, para produção de 30 semirreboques ao mês. Desta forma considerando que a fábrica tem disponível em média 21 dias úteis de produção mensal, será necessário produzir aproximadamente 1,5 semirreboques por dia. A meta é estimada visando a capacidade produtiva nas condições atuais da empresa,

sem que haja a necessidade de realizar elevados investimentos. A seguir no Quadro 2, são apresentados os dados de produtos fabricados no segundo semestre de 2022, em média foram produzidos neste período 20 semirreboques por mês.

Quadro 2 – Volumes produzidos no segundo semestre de 2022

VOLUMES PRODUZIDOS 2022/2							
Família	Tipos	dez/22	nov/22	out/22	set/22	ago/22	jul/22
Semirreboque	Furgão	12	11	10	8	12	15
	Lonado	5	6	4	4	2	1
	Graneleiro/Carga seca	2	3	6	7	0	1
	Dolly	0	0	1	1	2	2
	Bobineiro	0	0	0	0	1	0
	Especial	1	1	0	0	2	0
TOTAL		20	21	21	20	19	19

Fonte: Autor (2023)

Para que o objetivo seja alcançado todos os setores devem trabalhar em sincronia no fluxo de produção, eliminando os possíveis gargalos. Este trabalho visa melhorias no setor de corte/dobra, em específico o processo de corte por plasma, onde se inicia a fabricação do semirreboque. As oportunidades de melhoria no processo de corte por plasma, devem colaborar para o aumento de produtividade, visto que diante da situação atual a produção de modo geral, está em aproximadamente 67% da meta estabelecida.

Ainda nesta fase do trabalho, é analisado o fluxograma do atual caminho das informações que fazem parte do processo de corte por plasma, apresentando as oportunidades de melhorias no controle e execução das simulações de aproveitamento de chapa. O novo modelo de fluxo de informação é desenvolvido, com a finalidade de destacar os resultados obtidos com a gestão do plano de corte.

4.2.1 As principais perdas do processo

Uma prática fundamental e de grande importância para identificar as perdas do sistema produtivo, é realizar caminhadas pelo *gemba*. Essa prática permite aos gestores e colaboradores observar diretamente o processo produtivo, identificar oportunidades de melhoria e visualizar os desperdícios que podem estar ocorrendo.

Como parte do desenvolvimento deste estudo ao realizar as caminhadas pelo ambiente de trabalho, especificamente no setor de corte/dobra, onde está localizada as máquinas de plasma, foi possível verificar a forma como as atividades estão sendo desenvolvidas e elencar as principais perdas do processo. A seguir são relacionados os desperdícios existentes, de acordo com as premissas da manufatura enxuta:

- **Superprodução:** o desperdício de superprodução ocorre devido a fabricação de peças que são cortadas sem necessidade ou sem uma demanda clara. Esse excesso ocasiona o acúmulo de estoque, eleva os tempos de produção, gera atrasos e conseqüentemente a redução da capacidade produtiva, ampliando os custos de produção, como o aumento do tempo e o excesso na utilização de consumíveis. Também pode gerar retrabalho caso haja necessidade de ajustes ou modificações no produto posteriormente. A seguir na Figura 28, uma demonstração da perda por superprodução encontrada no processo, é possível observar a quantidade excessiva de peças que são cortadas e armazenadas sem um devido controle. A superprodução também gera problemas de qualidade, já que pode ser necessário armazenar as peças por um longo período de tempo antes de sua utilização, afetando suas condições, devido a corrosões por oxidação.

Figura 28 – Perda por superprodução



Fonte: Autor (2023)

- **Espera:** a perda por espera ocorre em alguns momentos do processo e são decorrentes do desperdício de tempo, na qual o operador do plasma, a máquina e os materiais, aguardam para que o corte seja realizado, gerando ociosidade na operação. Por exemplo, quando o processo aguarda a chegada de matéria-prima; ou pela indisponibilidade da empilhadeira e ponte rolante, para posicionar as chapas sobre a mesa de corte. Na Figura 29, outro exemplo de espera no processo, o operador da máquina do plasma executa as simulações de aproveitamento de chapa, na própria operação. Deste modo, o processo é interrompido, até que o programa seja feito.

Figura 29 – Operação da máquina de plasma



Fonte: Autor (2023)

- **Processamento desnecessário:** é possível observar no processo, a fabricação desnecessária de peças, com o objetivo melhor aproveitamento dos espaços vazios do plano de corte. Porém, essa estratégia acaba causando a perda por processamento desnecessário. Na Figura 30, o processamento desnecessário de peças sem devida demanda, isso significa que estão sendo utilizados recursos (materiais, tempo, energia, etc.) de forma ineficiente, o que amplia o custo de produção, principalmente do tempo de operação, de gasto com consumíveis e aumento do custo de estoque.

Figura 30 – Processamento desnecessário



Fonte: Autor (2023)

- **Estoque:** em decorrência da superprodução, é observado no processo, o desperdício ocasionado pelo excesso de estoque de peças cortadas. Isso ocorre devido à falta de controle do plano de corte. Esse desperdício também compromete o espaço físico, limitando o uso de prateleiras e paletes.
- **Movimentação:** é observado no processo, uma movimentação constante do operador da máquina do plasma, até o departamento de engenharia/PCP. Esse deslocamento ocorre devido a necessidade da coleta das listas de peças a serem cortadas.

Com o levantamento das perdas do processo, o próximo passo é desenvolver análises com o objetivo de identificar soluções para que os desperdícios sejam reduzidos ou eliminados. As causas raízes das perdas analisadas, estão relacionadas principalmente com as tomadas de decisões por parte da gestão do processo. Pretende-se com os resultados deste estudo, apresentar o cenário mais favorável em relação a utilização dos recursos, como a redução dos tempos de processo, para aumentar a taxa de produção; e minimizar a utilização dos consumíveis, visto que a

vida útil dos itens é afetada em decorrência da superprodução e do processamento desnecessário.

Para que exista uma estabilidade entre os indicadores de eficiência do processo, é entendido que a geração de sucata terá um acréscimo na quantidade processada. Porém, o estudo deve justificar e demonstrar qual a tomada de decisão mais eficiente em relação a administração destes recursos, comprovando por meio das análises que são desenvolvidas com os dados coletados na fábrica e as simulações no software Almacut.

4.2.2 Análise dos tempos e aspectos limitantes do processo

De acordo com a Teoria das Restrições (TOC), uma restrição é qualquer elemento do sistema que limita a capacidade do sistema como um todo. Medir uma restrição é importante para identificar e priorizar elementos que precisam de melhoria, a fim de aumentar a capacidade produtiva. Identificar o gargalo é fundamental para determinar onde as melhorias devem ser aplicadas.

O processo de corte por plasma pode ser considerado um dos principais gargalos na fabricação de implementos rodoviários e essa limitação depende de alguns fatores, como o tamanho da empresa, o volume de produção, o tipo de produto fabricado e a tecnologia utilizada no processo. A empresa utiliza máquinas de corte por plasma de baixa capacidade, em relação área útil de corte e não possui um controle técnico sobre o processo, esses aspectos limitam a produção. Diante deste contexto, o estudo procura identificar oportunidades de melhoria, sem que haja a necessidade de investimento em novo maquinário, priorizando a eliminação das perdas e definindo melhores métodos de controle do plano de corte.

Uma forma de mensurar a restrição, é medir a taxa de produção do sistema. Isso pode ser feito analisando as unidades produzidas por hora e dia, ou medindo o tempo de ciclo para a produção de uma unidade. A manufatura enxuta trata esse termo como sendo o tempo *takt*. A seguir no Quadro 3, é apresentado o controle dos tempos de produção do processo de corte por plasma para o semirreboque, os dados foram coletados no mês de novembro de 2022. Para determinar a taxa de produção do processo, é importante definir a unidade de medida, que neste caso, pode ser a quantidade de horas necessárias para finalizar o corte completo de um produto (cliente). No mês de novembro/2022, foram cortados 21 produtos. A média total dos

tempos de corte por produto é de aproximadamente 10 horas e 48 min, ou 10,8hrs. Neste período o operador do plasma trabalhou 20 dias úteis e 2 sábados em meio período, folgando nos feriados do mês. É possível afirmar que foram trabalhados aproximadamente 21 dias, para realizar o corte de 21 produtos, uma taxa em média de 1 produto por dia. A média total dos tempos é estabelecida, com a finalidade de servir como referência para as análises posteriores. O valor do custo com a hora homem/máquina para o processo, de acordo com a planilha de custos da empresa, é estimado em R\$250,00 por hora, ou seja, para cada produto o valor em média, é de aproximadamente R\$2700,00, neste valor são inclusos a mão de obra do operador e os custos da operação.

Quadro 3 – Controle dos tempos de produção de novembro/2022

CONTROLE DE PRODUÇÃO DO PLASMA NOVEMBRO/2022						
CLIENTE	DATA DE FINALIZAÇÃO	CATEGORIA	MOV. DE CHAPAS	RETIRADA DE PEÇAS (M.O)	HORAS MÁQUINA	TEMPO TOTAL
AGUILAR – D	03/11/2022	FURGÃO	1:30:00	3:00:00	7:33:00	12:03:00
AGUILAR – T	04/11/2022	FURGÃO	1:00:00	2:50:00	5:19:00	9:09:00
COSTA RICA 02	07/11/2022	FURGÃO	1:10:00	2:37:00	6:23:00	10:10:00
TRANSCOMPANY	08/11/2022	FURGÃO	0:40:00	2:04:00	6:20:00	9:04:00
EXPRESSO SOARES	09/11/2022	LONADO	0:30:00	1:50:00	7:01:00	9:21:00
MR INDÚSTRIA – D	11/11/2022	GRANELEIRO	1:30:00	2:30:00	12:22:00	16:22:00
MR INDÚSTRIA – T	12/11/2022	GRANELEIRO	1:30:00	2:10:00	7:38:00	11:18:00
TRANSMORENO	14/11/2022	FURGÃO	0:45:00	2:26:00	5:16:00	8:27:00
BTL EXPRESS – D	16/11/2022	FURGÃO	1:08:00	2:30:00	8:02:00	11:40:00
BTL EXPRESS – T	17/11/2022	FURGÃO	1:58:00	3:41:00	5:50:00	11:29:00
GHELERE 01	18/11/2022	LONADO	1:38:00	3:20:00	7:52:00	12:50:00
KARNOPP – D	21/11/2022	FURGÃO	2:05:00	3:02:00	9:16:00	14:23:00
KARNOPP – T	22/11/2022	FURGÃO	0:40:00	2:47:00	6:42:00	10:09:00
GHELERE 02	23/11/2022	LONADO	1:30:00	2:14:00	7:40:00	11:24:00
SOARES E SANTOS	24/11/2022	LONADO	1:30:00	3:00:00	8:08:00	12:38:00
MMF RACING	25/11/2022	FURGÃO	0:45:00	2:13:00	5:21:00	8:19:00
ELO 02	26/11/2022	LONADO	1:20:00	1:20:00	7:20:00	10:00:00
ELO 03	28/11/2022	LONADO	0:50:00	2:21:00	7:25:00	10:36:00
RSD TRANSPORTES	29/11/2022	CARGA SECA	1:20:00	3:10:00	7:00:00	11:30:00
KNAUF – JULIETA	29/11/2022	ESPECIAL	1:10:00	1:00:00	4:35:00	6:45:00
CRISTALINA	30/11/2022	FURGÃO	1:25:00	2:10:00	5:32:00	9:07:00
Média dos tempos p/ produto			1:14:00	2:29:17	7:04:31	10:47:49

Fonte: Autor (2023)

Por apresentar estratégia de produção do tipo ETO, cada produto possui suas características e especificações únicas. Devido a esse fato os tempos de produção variam para cada tipo de categoria, é possível observar que o produto do tipo graneleiro é o semirreboque que consome maior tempo entre os produtos fabricados. Essa característica é comum em decorrência da necessidade de realizar o corte das estruturas de tampas da caixa de carga que compõem o graneleiro, na máquina de plasma. Foram fabricados alguns semirreboques do tipo bitrem, essa composição é formada por unidade dianteira “D”, mais unidade traseira “T”, o tempo de fabricação de composições do tipo dianteira, apresentam maior amplitude, devido a aspectos estruturais complexos e o aumento de quantidade de peças.

É importante destacar que na soma total dos tempos, estão inclusos os tempos de movimentações de chapas para a mesa de corte e a retirada das peças cortadas da máquina. O operador movimenta uma grande quantidade de chapas diariamente, estas que variam entre as espessuras de 2mm à 16mm, a operação é realizada com o uso de empilhadeira e ponte rolante. As chapas devem estar posicionadas de forma alinhada na máquina, para que o corte seja executado com precisão. Logo após o corte de cada chapa, o operador realiza a retirada das peças cortadas, separando em lotes de acordo com cada cliente, que em seguida são destinadas ao processo de dobra. Na Figura 51, disponível no Apêndice C, é possível visualizar a chapa com o corte acabado e a separação das peças cortadas, que são posicionadas sobre o palete.

Os tempos de movimentações são caracterizados por não agregar valor ao produto, sendo considerados como perdas do processo, porém são necessários para dar continuidade as atividades. Apesar destes tempos estarem inclusos no tempo total de corte do produto e impactar diretamente na produtividade, o presente trabalho não trata das soluções para melhorias dos tempos de movimentações e retiradas de peças, ficando restrito a melhorias para redução no tempo de trabalho da máquina.

4.2.2 Análise da geração de sucata

A composição do implemento rodoviário em termos de matéria-prima, é de modo majoritário feita de aço-carbono, utilizado principalmente para construção do chassi e componentes estruturais. O aço é um material resistente e durável, ideal para suportar as cargas, resistir às tensões e vibrações associadas ao transporte. Contudo,

o valor do aço vai impactar diretamente nos custos de fabricação e no valor final do produto. A análise desenvolvida nesta etapa do trabalho tem como objetivo, identificar e quantificar a sucata que é gerada no corte, o aço inutilizado serve como indicador de eficiência do processo. Balancear a eficiência, entre o tempo de corte e o aproveitamento da chapa é essencial para maximizar a utilização dos recursos.

No mês de novembro/2022 o operador do plasma registrou a quantidade de sucata gerada no processo, de acordo com o sequencial de produção. O processo de corte foi realizado separando a sucata gerada de cliente por cliente, após o término de cada corte o material foi pesado e direcionado para área de resíduos. No Quadro 4, é possível observar que a média geral de sucata por produto, é de aproximadamente 134 Kg, é importante destacar que nesta quantidade de sucata, a estratégia de produção foi de realizar o aproveitamento em 100% da área útil da chapa, cortando peças de uso comum para estoque.

Quadro 4 – Controle da geração de sucata do processo novembro/2022

CONTROLE DA SUCATA GERADA NO PROCESSO		
CLIENTE	CATEGORIA	SUCATA (KG)
AGUILAR - D	FURGÃO	210
AGUILAR - T	FURGÃO	130
COSTA RICA 02	FURGÃO	140
TRANSCOMPANY	FURGÃO	120
EXPRESSO SOARES	LONADO	110
MR INDÚSTRIA - D	GRANELEIRO	200
MR INDÚSTRIA - T	GRANELEIRO	165
TRANSMORENO	FURGÃO	90
BTL EXPRESS - D	FURGÃO	120
BTL EXPRESS - T	FURGÃO	100
GHELERE 01	LONADO	120
KARNOPP - D	FURGÃO	187
KARNOPP - T	FURGÃO	123
GHELERE 02	LONADO	120
SOARES E SANTOS	LONADO	100
MMF RACING	LONADO	106
ELO 02	LONADO	140
ELO 03	FURGÃO	140
RSD TRANSPORTES	CARGA SECA	150
KNAUF - JULIETA	ESPECIAL	148
CRISTALINA	FURGÃO	95
MÉDIA		134

Fonte: Autor (2023)

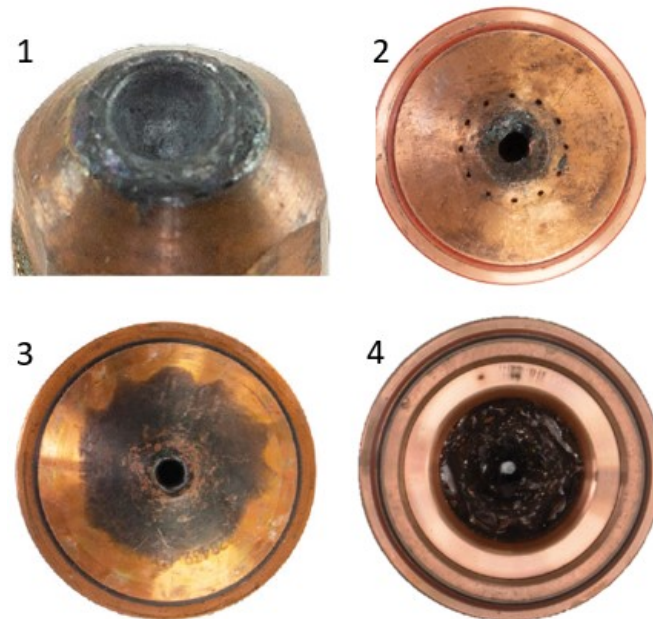
Com base nas ordens de compra da matéria-prima, em média o preço do aço é de R\$6,50 o valor do quilo. A sucata que é gerada no processo é vendida por aproximadamente R\$1,50 o valor do quilo e deve ser descontada do valor total da compra do aço, desta forma houve um desperdício de aproximadamente R\$735,00 por produto. No decorrer do trabalho, esses dados servem de comparativo para buscar o melhor balanceamento dos recursos utilizados no processo. O principal objetivo com esta análise é quantificar o aumento do desperdício com sucata, em função do plano de corte. Essa comprovação se dará com a validação por meio das simulações com o Almacut.

4.2.3 Análise da utilização dos consumíveis

A utilização dos consumíveis é o indicador de eficiência do processo que está diretamente relacionado com a quantidade de peças que são cortadas e o tempo de processamento, esse indicador representa a média de consumíveis que são utilizados por produto cortado e o quanto este impacta no custo do processo. O desgaste do consumível acontece principalmente no momento do disparado na tocha, a elevada quantidade de energia concentrada em um único ponto, aumenta a pressão e temperatura nessas regiões, que passam pelo eletrodo, bico e bocal. Esse estresse térmico e mecânico remove pequenas quantidades metal da superfície dos componentes, ocasionando a falha.

Para garantir a qualidade e eficiência do processo, é importante monitorar e identificar o desgaste dos consumíveis, a fim de substituí-los no momento adequado. O controle é realizado utilizando técnicas, como por exemplo, a inspeção visual e o monitoramento da qualidade do corte. Na Figura 31, é possível visualizar o desgaste, neste estágio os itens já estão totalmente usados. No eletrodo (1), o inserto de háfnio, está totalmente corroído, quando a profundidade do ponto de erosão é de aproximadamente 1,5mm, ocorre a perda da qualidade de corte e conseqüentemente a interrupção do arco elétrico. O bocal (2) perde o orifício arredondado e as bordas afiadas, ficando oval e com entalhes. O bico visto pela parte superior (3), perde o orifício arredondado, ficando oval e com entalhes, a qualidade do corte é comprometida, já que o formato e tamanho do orifício foram danificados. O bico visto internamente (4), pode apresentar detritos e contaminação, desta forma haverá obstrução do fluxo de plasma.

Figura 31 – Desgaste nos consumíveis



Fonte: Adaptado de Hypertherm (2022)

Ao caminhar pelo ambiente de trabalho é observado uma elevada quantidade de consumíveis, na Figura 52 do Apêndice C, um exemplo do volume de itens que são descartados. Este trabalho busca estabelecer a redução nos custos do processo, desta forma, o gasto com consumíveis, abordado nesta análise, é um dos pontos em que os resultados colaboram para equilibrar a utilização dos recursos. É importante identificar e quantificar os gastos com os consumíveis, para estabelecer diretrizes de como estes impactam nos custos do processo.

Com a coleta de dados feita no processo de corte, o operador anotou no mês de novembro/2022, a quantidade de consumíveis que foram utilizadas para realizar o corte completo de um produto. No momento da coleta, a estratégia utilizada no plano de corte, foi a de realizar o aproveitamento da chapa em 100% adicionando peças para estoque. Quadro 5, o controle dos consumíveis utilizados, é possível observar que o eletrodo é o consumível que apresenta maior necessidade de troca, são utilizados em média 5 eletrodos por produto, seguido do bico com 4 unidades e o bocal com 2 unidades. Ainda observando os dados é possível destacar que o graneleiro, é o tipo de produto que apresenta o maior índice na utilização dos consumíveis. Esse tipo de produto é mais complexo em termos de fabricação, porém as quantidades vendidas são reduzidas.

Quadro 5 – Controle dos consumíveis utilizados em novembro/2022

CONTROLE DOS CONSUMÍVEIS DO PLASMA NOVEMBRO/2022				
CLIENTE	CATEGORIA	ELETRODO	BOCAL	BICO
AGUILAR - D	FURGÃO	6	2	6
AGUILAR - T	FURGÃO	5	1	5
COSTA RICA 02	FURGÃO	6	1	6
TRANSCOMPANY	FURGÃO	6	1	6
EXPRESSO SOARES	LONADO	5	1	5
MR INDÚSTRIA - D	GRANELEIRO	7	4	4
MR INDÚSTRIA - T	GRANELEIRO	5	5	2
TRANSMORENO	FURGÃO	4	3	1
BTL EXPRESS - D	FURGÃO	4	4	3
BTL EXPRESS - T	FURGÃO	3	3	4
GHELERE 01	LONADO	5	2	2
KARNOPP - D	FURGÃO	5	1	3
KARNOPP - T	FURGÃO	4	1	4
GHELERE 02	LONADO	5	2	4
SOARES E SANTOS	LONADO	5	1	2
MMF RACING	FURGÃO	4	1	3
ELO 02	LONADO	5	1	5
ELO 03	LONADO	4	1	4
RSD TRANSPORTES	CARGA SECA	4	2	5
KNAUF - JULIETA	ESPECIAL	4	1	3
CRISTALINA	FURGÃO	3	1	3
Média de consumíveis p/ produto		5	2	4

Fonte: Autor (2023)

Na Figura 42, do Apêndice A, a Ordem de Compra de consumíveis feita no mês de novembro/2022. Na lista estão descritos os valores dos principais consumíveis do processo, porém os resultados desta análise ficam restritos a utilização do eletrodo, bico e bocal. A capa de proteção e o difusor de gás, são componentes da tocha que apresentam maior durabilidade e conseqüentemente o valor do custo é reduzido, portanto, para este estudo esses itens não são utilizados como indicadores de eficiência. No Quadro 6, a relação dos valores para cada tipo de consumível, são demonstrados os meses de novembro e dezembro, neste período não houve um aumento no valor. Portanto, o custo total de consumíveis para o mês de novembro, é de aproximadamente 13,5 mil reais. Em média para fabricação de cada produto o custo médio é de R\$645,00 em consumíveis.

Quadro 6 – Relação de valores dos consumíveis do plasma

RELAÇÃO DE VALORES DOS CONSUMÍVEIS		
TIPO	NOVEMBRO	DEZEMBRO
ELETRODO	R\$ 57,00	R\$ 57,07
BICO	R\$ 43,28	R\$ 43,28
BOCAL	R\$ 114,31	R\$ 114,31
CUSTO TOTAL P/ MÊS	R\$ 13.563,49	

Fonte: Autor (2023)

Com a finalidade de estabelecer uma relação entre a vida útil do consumível e o quanto estes impactam no custo de produção, é importante definir um parâmetro de controle. De acordo com a Silber, o fabricante dos componentes, a vida útil de um conjunto de consumíveis é estimada entre 1 e 2 horas de operação ou entre algumas centenas de disparos. Na prática a troca dos itens é realizada quando o operador observa defeitos na qualidade do corte ou quando ocorre a interrupção do arco elétrico. Portanto, para este trabalho, o número de disparos é utilizado como parâmetro de controle. Com os resultados das análises desenvolvidas com o software Almacut, este índice deve representar a redução que é obtida em relação ao balanceamento dos recursos do processo.

4.3 REDUÇÃO DE CUSTOS DO PROCESSO

A manufatura enxuta tem como uma de suas principais premissas a redução de custos em todo o processo produtivo, buscando maximizar a eficiência e eliminar as perdas. Com a análise da situação atual da empresa, o trabalho identifica os principais desperdício do processo e analisa os indicadores que são coletados no ambiente de trabalho, desta forma é possível potencializar soluções, por meio das oportunidades de melhorias.

Nesta etapa do estudo o objetivo é descrever os resultados que são obtidos com as melhorias propostas, em relação a redução dos custos do processo e a implementação da gestão do plano de corte. São realizadas simulações com o software de aproveitamento de chapa Almacut, para obtenção numérica dos indicadores de eficiência. Esses dados são utilizados para balancear e nortear os

resultados do trabalho, diante das análises realizadas para a situação atual da empresa, no sentido de maximizar a eficiência na utilização dos recursos.

4.3.1 Simulação do plano de corte

As simulações de aproveitamento de chapa, desenvolvidas com o *nesting* de softwares comerciais, são essenciais para a maximização dos resultados no processo, por meio destas é possível avaliar e definir diretrizes para melhorar a eficiência da operação de corte, favorecendo a redução dos custos de produção. Com as simulações do plano de corte, são planejadas as disposições das peças na chapa, de forma a aproveitar ao máximo a área de corte e minimizar as perdas de material. Outra vantagem da simulação é a possibilidade de analisar diferentes cenários e comparar os resultados antes de iniciar a produção.

Aproveitar o máximo da chapa é importante para otimizar o uso da matéria-prima e reduzir os custos de produção. No entanto, é preciso ter cuidado para não comprometer a eficiência do processo, principalmente em relação ao aumento de tempo. Quando a disposição das peças na chapa for muito complexa ou se houver muitas peças pequenas, com grande quantidade de furações, o tempo de processamento pode aumentar consideravelmente, ocasionando atrasos na produção. Esse estudo busca apresentar resultados para que haja um equilíbrio entre o aproveitamento de matéria-prima e a eficiência do processo.

Para realizar as simulações alguns passos principais são necessários, todas as informações devem estar disponíveis e o programador necessita de conhecimento técnico para execução do trabalho. O software utilizado é o Almacut, disponibilizado pela Almacam, a seguir são descritos os métodos utilizados para desenvolver as simulações:

- a) **Informação sobre as dimensões da chapa:** Para realizar a simulação de aproveitamento, é necessário disponibilizar informações precisas sobre as dimensões da chapa, como comprimento, largura e espessura. Ainda nesta etapa são inseridas as informações referentes ao tipo de material da chapa. É com base nesses dados que o programa define e realiza os cálculos para criar o melhor arranjo no aproveitamento e posteriormente a simular de corte.

- b) Importar os modelos 3D das peças para o software:** Com os modelos em 3D das peças geradas pelo CAD, que são projetadas pela engenharia, o próximo passo é importar os desenhos para o software. Nesta etapa, são inseridas as informações das quantidades de peças e suas respectivas espessuras, além da definição de alguns parâmetros como o espaçamento entre as peças. O programa realiza uma conversão no modelo de arquivo 3D, para que este seja compatível com o modelo matemático utilizado pelo software. É importante garantir que o modelo seja importado corretamente, com as dimensões precisas e que as unidades de medida sejam equivalentes.
- c) Agrupamento de peças:** Com as peças importadas no software de simulação, é possível dispor as peças na chapa virtual de forma a maximizar o aproveitamento. O software de simulação deve permitir que as peças sejam movidas e giradas livremente para que se encaixem da melhor forma possível. O Almacut apresenta uma ferramenta de cálculo otimizada, que utiliza a capacidade de processamento do computador, para calcular a melhor disposição das peças no arranjo, de forma automática.
- d) Simular o corte:** Com as peças ajustadas na chapa, é possível simular o processo de corte. O software é parametrizado de fábrica e leva em consideração as características do processo, definidas principalmente pela espessura do material, que é o *input* para os cálculos. O programa realiza de forma automática os ajustes como a velocidade de corte, a corrente e tensão do arco elétrico. Após a simulação um arquivo do tipo CNC é gerado para posteriormente ser executado na máquina de corte por plasma, neste arquivo todos os parâmetros do processo estão ajustados, de acordo com as recomendações do fabricante.
- e) Análise dos resultados da simulação:** Ao final da simulação, na área de relatórios, o software apresenta os resultados das análises do plano de corte. Os dados descrevem as principais informações referentes ao processo, incluindo as características da chapa, como dimensões e peso, o desperdício de material gerado no processo. O relatório descreve o número de entradas, que representam a quantidade de disparos realizado pela tocha do plasma; é apresentado o tempo de processamento, incluindo o comprimento total de deslocamento da tocha. Ainda no relatório é possível visualizar o aproveitamento da chapa, com as respectivas numerações de cada peça.

Para realização do estudo foram feitas simulações com cinco variadas espessuras de chapas. Na Tabela 2, é apresentado uma relação com as respectivas dimensões. O material utilizado é o aço estrutural ASTM A36, as chapas são compradas com medidas de comprimento distintas, isso se deve ao fato da disponibilidade de material pelo fornecedor e pelas demandas do projeto. Algumas peças possuem comprimento maior que 3000 mm, necessitando a compra de chapas com 6000 mm. Na simulação cada chapa é analisada de forma individual, portando a diferença de comprimento que existe entre os modelos é devido as características do processo, de modo que todas as simulações representam o que acontece na realidade. No Apêndice B, são apresentadas todas a simulações realizadas, com variadas espessuras de chapas, que servem de base para validar os resultados do trabalho. Neste capítulo é utilizado como exemplo a chapa 6,35 mm.

Tabela 2 – Chapas utilizadas para simulação

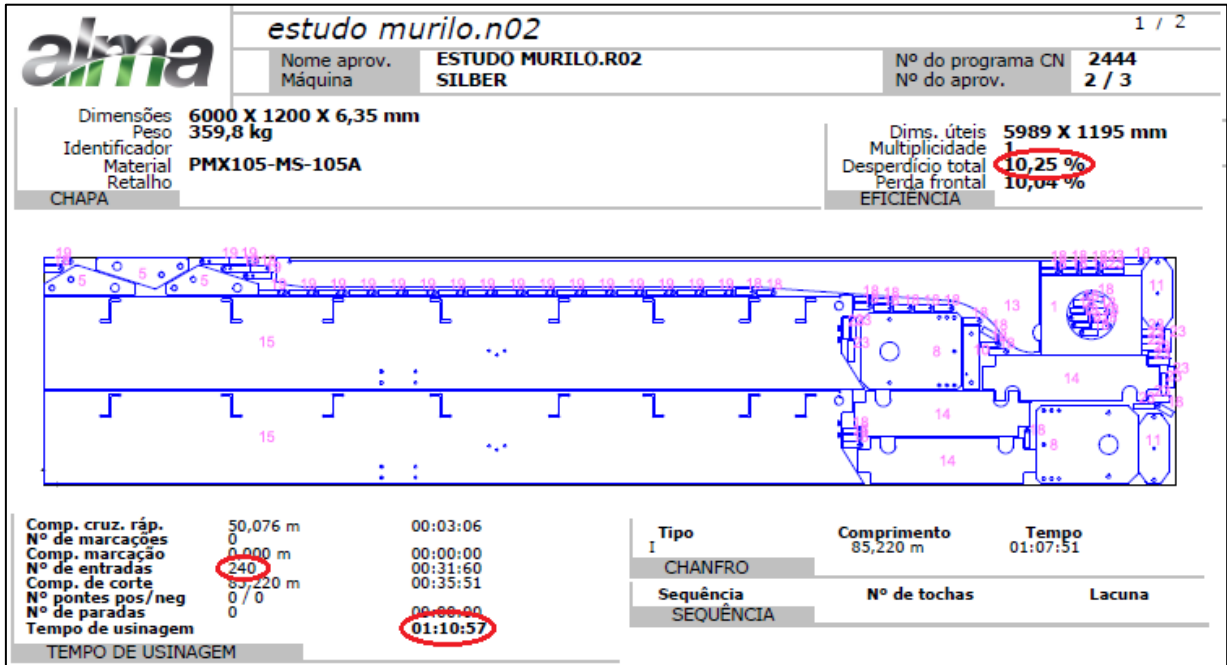
Material	Espessura (mm)	Largura (mm)	Comprimento (mm)
	3,00	1200	3000
	4,25	1200	6000
AÇO CARBONO ASTM A36	4,75	1200	3000
	6,35	1200	6000
	8,00	1200	6000

Fonte: Autor (2023)

O objetivo principal com a realização das simulações é analisar os resultados gerados com base em dois cenários distintos. O primeiro é realização do corte com o aproveitamento máximo possível para cada espessura de chapa, neste caso, a condição em que o software minimizou a geração de sucata, aproveitando lacunas e espaços nas furações internas de peças, sendo as áreas preenchidas com peças sobressalentes destinadas para o estoque. O segundo cenário é a realização da simulação do plano de corte, com as demandas reais do processo, sem o adicional de peças. Na Figura 32, é possível visualizar o resultado da simulação na chapa de 6,35 mm, para o aproveitamento máximo. Neste plano de corte, por exemplo, estão presentes as almas do semirreboque, peças de número 15 e 13, essas peças possuem comprimento maior que 3000 mm, sendo necessário a utilização de uma

chapa com 6000 mm. No plano de corte todas as peças são numeradas para facilitar a identificação.

Figura 32 – Simulação chapa #6,35mm com adicional de peças

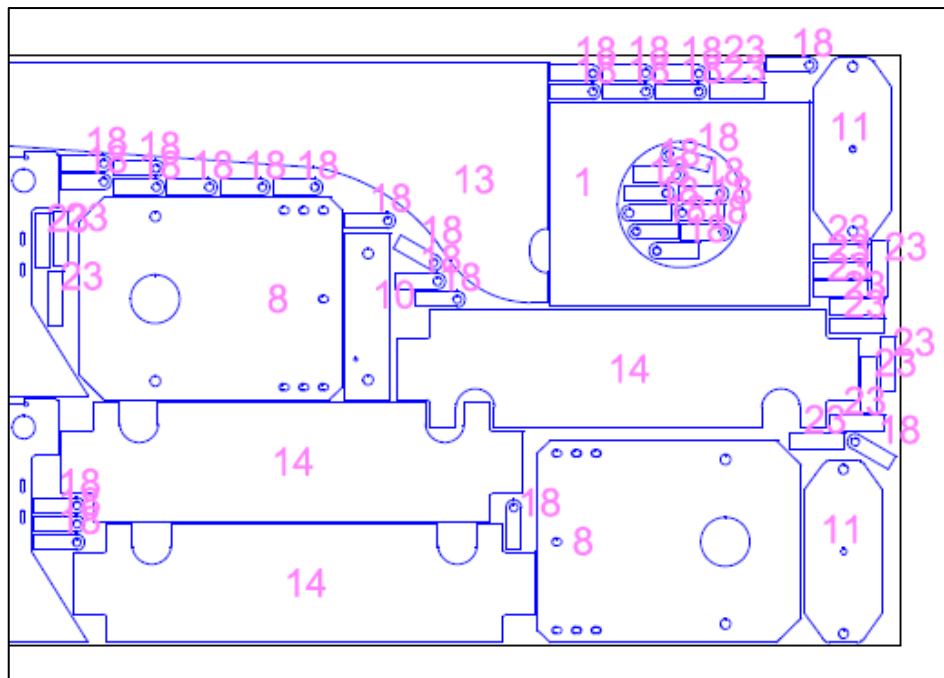


Fonte: Autor (2023)

No relatório estão destacados os três principais pontos, que são os indicadores de eficiência do processo, utilizados como variáveis para analisar as melhorias em relação a redução dos custos e o aumento de produtividade. O tempo de usinagem é principal indicador e deve informar o quanto a produção está sendo eficiente com a tomada de decisão na gestão do plano de corte. O desperdício total é utilizado como parâmetro para representar a sucata gerada no processo. O número de entradas é a representação dos disparos realizados pela tocha, esse indicador deve orientar com relação a vida útil dos consumíveis.

Ao analisar o atual modo de gestão do plano de corte na empresa, é observado que a definição dos gestores do negócio, está orientada a realizar o aproveitamento de chapa na sua totalidade. Essa decisão faz com que o programador do plasma complete a chapa com pequenas peças, causando o desperdício como a superprodução, que acaba gerando as demais perdas, que são estudadas e apresentadas anteriormente no trabalho. Na Figura 33, um exemplo do plano de corte com o aproveitamento máximo, a imagem é um recorte ampliado da figura anterior.

Figura 33 – Peças adicionais nas lacunas do plano de corte



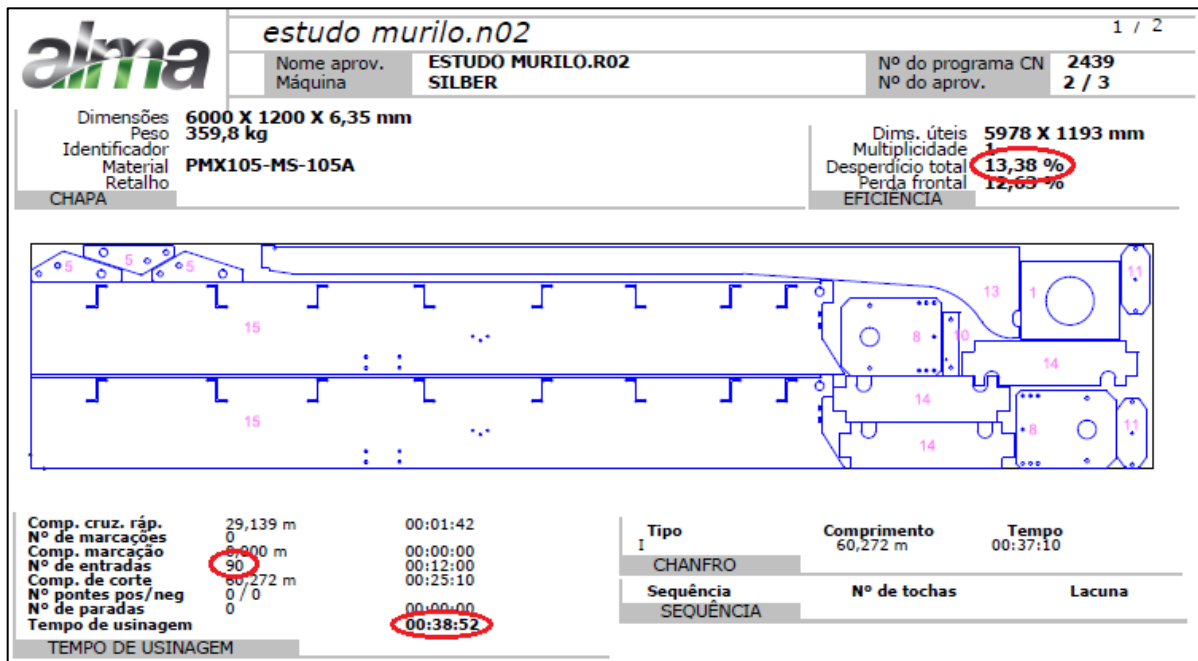
Fonte: Autor (2023)

Na imagem é possível observar que a peça de número 18 foi adicionada em grande quantidade no plano corte para completar os espaços vazios entre as peças. Esta peça cortada na chapa de 6,35 mm é comumente utilizada nos implementos, porém as quantidades atuais de estoque apresentam valores significativos, garantindo a produção de meses, não havendo demandas reais de utilização, deste modo sendo as peças encaminhadas para o estoque. Para o modo atual da gestão do plano de corte, a maximização total do aproveitamento da área de corte, pode induzir a um ganho em relação a redução de custo do processo, quando observado somente o desperdício de matéria-prima. Porém, essa decisão acaba impactando diretamente outros indicadores do processo que apresentam maiores representatividades no custo da operação, como o tempo de processamento e o gasto com os consumíveis.

A proposta de melhoria do estudo é apresentar resultados que favoreçam a mudança no modo como ocorre o planejamento do plano do corte. Maximizar o uso da chapa é uma prática importante para reduzir o desperdício de material. No entanto, é preciso ter cuidado para não comprometer a eficiência do processo. Encontrar um equilíbrio entre maximizar o uso da chapa e manter a eficiência do processo é essencial para garantir um processo de corte bem-sucedido e econômico. Na Figura 34, é apresentada a simulação com as demandas reais do processo, desta forma o

agrupamento de peças é similar ao aproveitamento anterior, porém sem o adicional de peças. Ao analisar os resultados da simulação na chapa de 6,35 mm, é notável uma redução de aproximadamente 45% no tempo total de corte, essa quantidade representa um aumento significativo do custo de produção, fazendo com que ocorra um decréscimo nos índices de produtividade.

Figura 34 - Simulação chapa #6,35mm sem adicional de peças



Fonte: Autor (2023)

Outra análise importante a ser realizada é a relação da quantidade de disparos, com a vida útil dos consumíveis. Ao realizar o planejamento, reduzindo o número de peças cortadas, o total de disparos apresenta uma diminuição de aproximadamente 63%, anteriormente foram necessários 240 disparos para realizar o corte completo da chapa, já no aproveitamento sem o adicional de peças, o número foi reduzido para 90. Existe uma relação direta entre o número de disparos e a vida útil dos consumíveis. Quanto maior o número de disparos realizados, maior será o desgaste e, conseqüentemente, menor será a vida útil.

Ao analisar o desperdício de matéria-prima, com relação a chapa de 6,35 mm, os resultados demonstram que houve um aumento de 3% na perda de material, quando o plano de corte é feito sem o adicional de peças. Por intermédio da simulação é possível comprovar que mesmo com o aumento na geração de sucata, o ganho em

produtividade e redução de custos com os consumíveis compensam o desperdício de material. O percentual da perda com a matéria-prima é relativamente menor, esse balanceamento nos recursos do processo é fundamental encontrar um equilíbrio entre maximizar o uso da chapa e manter a eficiência do processo.

Na etapa posterior deste trabalho são apresentados os resultados das análises feitas com as simulações de outras espessuras de chapas, com o objetivo de aproximar ao máximo a realidade do processo e definir diretrizes para o equilibrar o controle dos recursos do corte por plasma.

4.3.2 Equilibrando o controle dos recursos

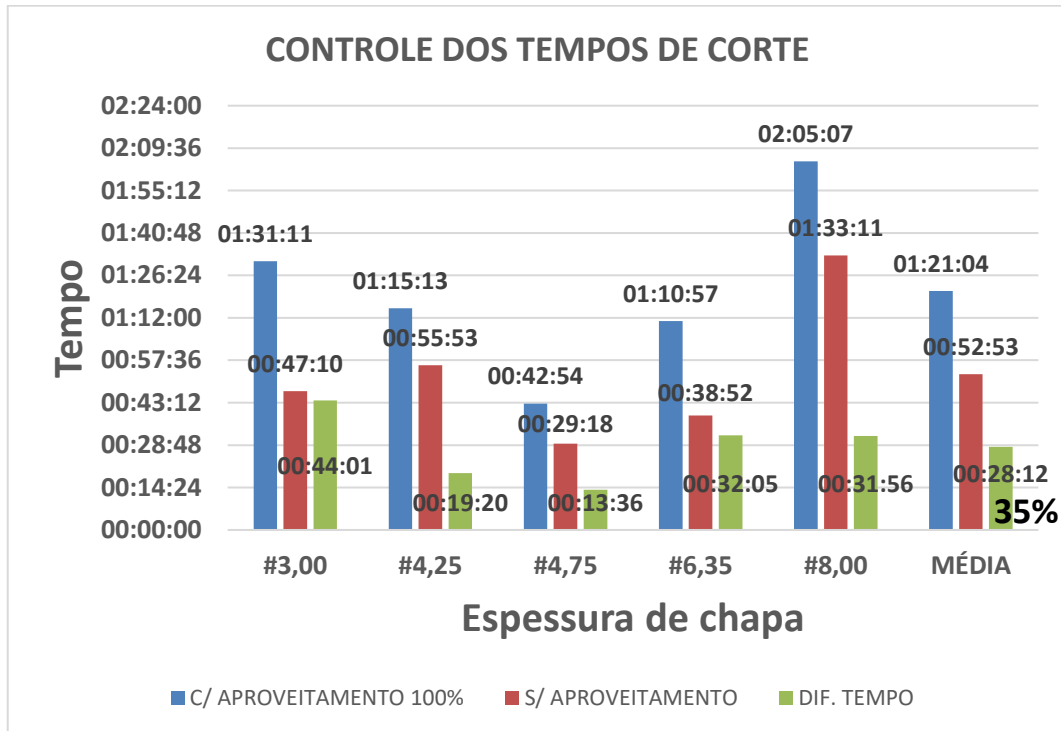
A eliminação dos desperdícios é fundamental para obtenção de ganhos em produtividade e redução de custos. Para equilibrar os recursos do processo, eliminar as perdas é tarefa determinante e compete ao gestor tomar a melhor decisão no modo de gerenciar os recursos. Os resultados obtidos com as simulações devem orientar e favorecer a mudança no modo como o planejamento de corte é realizado. Desta forma, propondo o corte de acordo com as demandas reais da produção, o controle dos recursos do processo é executado de forma enxuta.

A decisão de realizar o corte de acordo com as demandas reais da produção, não significa que as peças para reposição de estoque ou outras demandas além da produção, não sejam produzidas. Para que isso ocorra deve existir um planejamento entre o PCP e a operação de corte, com controle e uma gestão eficiente dos estoques de peças produzidas. Desta forma, o PCP define as quantidades e os prazos para realização do corte de peças que não são as demandas reais da produção, com base no controle dos estoques, diminuindo a carga máquina, eliminando de certo modo os desperdícios que são decorrentes da superprodução.

O controle dos tempos de corte é o principal indicador de eficiência e impacta diretamente nos índices de produtividade e redução de custos. Na Figura 35, estão presentes os resultados em relação as análises obtidas por meio de todas as simulações realizadas. Como introduzido anteriormente, todas as espessuras de chapas presentes no processo, não foram utilizadas no estudo, porém o intervalo das espessuras listadas é um referencial para representar a realidade do processo. Analisando os tempos obtidos com as simulações, é possível destacar que o processo de modo geral, apresenta uma redução de aproximadamente 35% no indicador do

tempo de processamento, em média são 28 minutos reduzidos no tempo de corte para cada chapa utilizada.

Figura 35 – Resultados obtidos em relação aos tempos de corte



Fonte: Autor (2023)

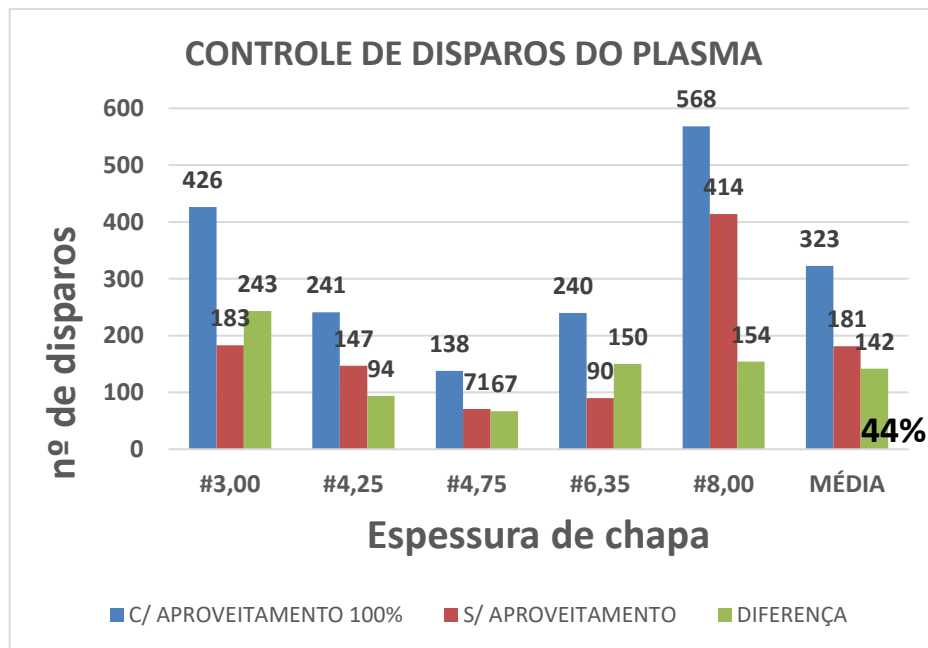
Com esse resultado é possível estimar a redução no tempo de corte para cada produto, o que favorece o aumento de produtividade e os ganhos em termos da minimização dos custos de produção. No mês de novembro/2022 o levantamento dos indicadores de eficiência do processo, demonstraram que o tempo médio de corte para cada cliente é de aproximadamente 10,8hrs. Neste valor estão inclusos os tempos de movimentação de chapas e a retirada de peças da máquina, porém ao analisar somente o tempo de horas/máquina trabalhada, esse valor é de 7,1hrs. Ao aplicar a redução média dos tempos, equivalente a 35%, que é decorrente do cenário na qual as chapas são cortadas somente com as demandas reais da produção, esse valor é reduzido para 4,6hrs de operação da máquina. De modo geral, o tempo de processamento para cada cliente é então reduzido para 8,3hrs. Esse ganho representa um aumento de 23% em relação a produtividade e ao considerar o mês de novembro/2022 como referência, a fim de estabelecer uma comparação, o corte por plasma que processou um total de 21 produtos, ao aplicar o ganho, um total de 26

produtos poderiam ter sido cortados. Visto que a meta de entrega é de 30 semirreboques ao mês, com a melhoria implementada o processo de corte por plasma passaria de 67% para 82%, um avanço significativo para atingir a meta estabelecida.

A minimização dos custos do processo é outro fator importante a ser analisado. Com a redução de 35% no tempo de corte, é possível também estimar a diminuição no valor do custo com a hora homem/máquina. Foi demonstrado anteriormente que em média o custo de processamento para cada produto, é estimado em aproximadamente R\$2700,00. Ao realizar o corte somente com as demandas da produção esse valor é reduzido para R\$1755,00. Os resultados da análise mostram que esse ganho além de favorecer o aumento da produtividade, proporciona uma redução de R\$945,00 para cada produto cortado.

Os consumíveis do plasma representam quantidade significativa no custo da operação, com a proposta de melhoria, adequando o modo de gestão do plano de corte, é concretizada a possibilidade de redução do custo. Anteriormente ao analisar o indicador de utilização dos consumíveis no mês de novembro/2022, foi demonstrado que a operação custa em média R\$645,00 por produto cortado. Na Figura 36, o gráfico desenvolvido com os dados das simulações, na qual o corte é realizado somente com as demandas da produção, é notável uma redução de 44% na quantidade de disparos.

Figura 36 – Resultados obtidos em relação a utilização dos consumíveis

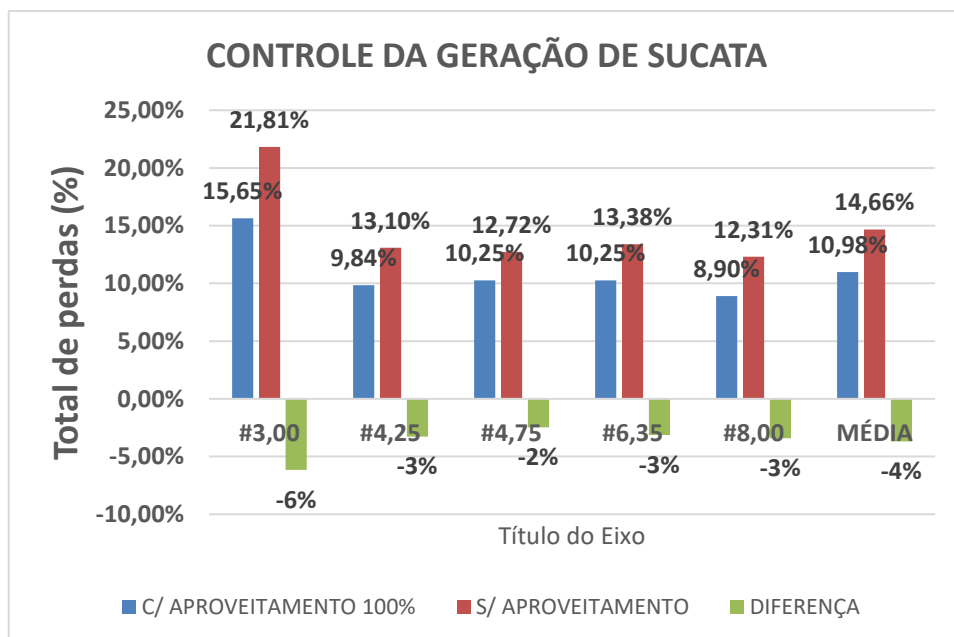


Fonte: Autor (2023)

A quantidade de disparos da tocha, é utilizada como indicador, para medir o desgaste dos consumíveis. Em média foram 142 disparos a menos para cada espessura de chapa cortada. Quando o aproveitamento é realizado com o preenchimento de peças nas lacunas da chapa, geralmente as geometrias utilizadas são pequenas, com presença de furações. É possível visualizar um exemplo na Figura 46 do Apêndice B, o plano de corte é composto por pequenas peças, na qual a geometria apresenta duas furações, para realizar o corte de apenas uma peça, a tocha é acionada três vezes, deste modo o plano de corte fica ineficiente, aumentando de forma significativa o desgaste dos consumíveis. É fundamental considerar o impacto dos consumíveis nos custos do processo, com a adoção de uma gestão do plano de corte focada nas demandas da produção o processo se torna mais enxuto.

O trabalho busca apresentar resultados para maximizar a eficiência do processo. Porém a geração de sucata é um indicador que apresenta aumento no índice, esse fato acontece em decorrência do planejamento de corte desconsiderar peças que são alocadas nas lacunas do aproveitamento. Na Figura 37, o gráfico de controle da geração de sucata, desenvolvido com os dados das simulações, mostra que em média o plano de corte apresenta uma perda de aproximadamente 4% de matéria-prima.

Figura 37 – Resultados obtidos em relação a geração de sucata

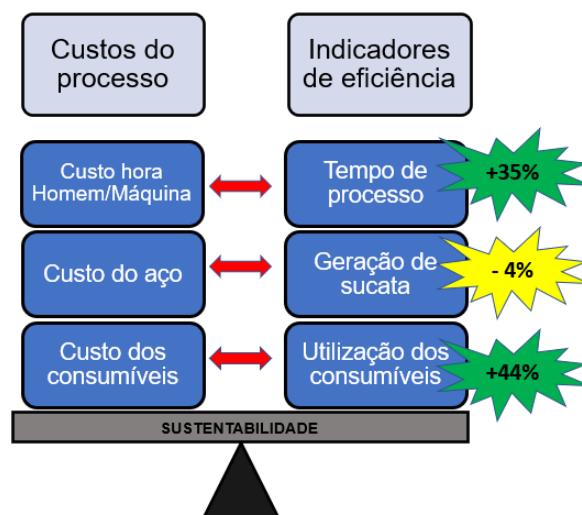


Fonte: Autor (2023)

A priorização da redução do tempo de processo, em detrimento do aproveitamento máximo das lacunas do plano de corte, é justificada em razão dos ganhos que podem ser obtidos com a correta tomada de decisão. A redução do tempo de corte, favorece o aumento de produtividade, permitindo que sejam cortadas mais peças das demandas reais, em menos tempo. Isso pode ser especialmente importante em situações na qual o fluxo de produção necessite de um grande volume de peças ou quando os prazos de entrega estão apertados. Além disso, a redução do tempo de corte resulta na minimização dos custos operacionais, diminuindo diretamente o desgaste dos consumíveis, reduzindo a necessidade de substituição desses componentes com maior frequência.

O balanceamento dos recursos de produção é uma etapa fundamental para o crescimento da empresa e este conceito pode ser aplicado para vários setores da organização, pois permite uma utilização mais eficiente dos recursos disponíveis. Os indicadores de eficiência, como o tempo de processo, a geração de sucata e a utilização de consumíveis, são métricas importantes para avaliar o desempenho do processo de corte por plasma, servindo de norte para aplicação das oportunidades de melhoria. Na Figura 38, é demonstrado de modo geral e em termos percentuais, os resultados obtidos com a implementação de uma gestão mais eficiente.

Figura 38 – Resultados obtidos com o balanceamento dos recursos



Fonte: Autor (2023)

A gestão adequada do plano de corte é o aspecto principal e que impacta diretamente no balanceamento dos recursos. Ao decidir realizar o aproveitamento

somente com as demandas da produção, o custo do processo é reduzido de forma significativa, o indicador do tempo de processo que está relacionado com o custo da hora homem/máquina, resulta em uma melhora de 35%, refletindo diretamente na produtividade. Apesar do indicador da geração de sucata aumentar em 4%, o custo com o desperdício do aço é relativamente baixo, quando comparado com os ganhos obtidos. A utilização eficiente de consumíveis também gera impacto significativo na sustentabilidade econômica, com uma gestão mais eficiente foi possível obter um ganho de 44% na vida útil dos itens. O consumo excessivo de consumíveis leva a um aumento nos custos operacionais, reduzindo a margem de lucro. Por outro lado, ao balancear adequadamente seu uso, é possível prolongar sua vida útil e reduzir o desperdício, o que pode levar a uma economia significativa em longo prazo.

4.3.3 Ganho obtido em relação ao custo do implemento

Os resultados demonstram ganhos significativos em termos de produtividade, porém outra análise importante que deve ser observada, é o ganho obtido em relação ao custo de fabricação do implemento. É fundamental destacar que os produtos apresentam valores distintos do custo de fabricação, isso ocorre devido a natureza do negócio. Os implementos são fabricados de acordo com as necessidades específicas de cada cliente e podem apresentar grandes variações no custo. Para esta análise será considerado uma estimativa média do custo de fabricação do implemento de aproximadamente R\$90.000,00. Esse valor é utilizado para demonstrar os resultados obtidos em relação ao tempo de processo, utilização dos consumíveis e a geração de sucata. A seguir com base nos valores obtidos:

a) Tempo de corte:

- Ganho de 35% para cada cliente.
- Valor da hora homem/máquina: R\$250,00.
- Tempo de corte por produto: 7,1 horas.

Para calcular o ganho no tempo de corte, deve ser multiplicado o tempo de corte por produto pelo ganho obtido:

➤ Ganho no tempo de corte = 7,1 horas * 35% = **2,485 horas**

O custo do tempo economizado pode ser calculado multiplicando o ganho no tempo de corte pelo valor da hora homem/máquina:

- Custo hora homem/máquina economizado = 2,485 horas * R\$250,00 = **R\$621,25**

b) Utilização dos consumíveis:

- Redução de 44% na utilização.
- Custo médio de consumíveis por cliente: R\$650,00.

O custo de consumíveis economizado pode ser calculado multiplicando a redução na utilização pelos custos médios de consumíveis por cliente:

- Custo de consumíveis economizado = 44% * R\$650,00 = **R\$286,00**

c) Geração de sucata:

- Aumento de 4% no desperdício.
- Custo médio de sucata por cliente, considerando a venda: R\$735,00.

O custo de sucata aumentado pode ser calculado multiplicando o aumento no desperdício pelos custos médios de sucata por cliente:

- Custo de sucata aumentado = 4% * R\$735,00 = **R\$29,40**

Desta forma, ao calcular a porcentagem total de redução no custo de fabricação do produto considerando os impactos encontrados:

$$\text{Total de redução} = (\text{R\$621,25} + \text{R\$286,00} - \text{R\$29,40}) / \text{R\$90.000,00}$$

$$\text{Total de redução} = \text{R\$878,85} / \text{R\$90.000,00}$$

$$\text{Total de redução} = \mathbf{0,9765\%}$$

Portanto, a porcentagem total de redução no valor do custo de fabricação do produto, devido aos ganhos obtidos com o estudo, foi de aproximadamente 0,98%. Considerando a meta estabelecida de 30 semirreboques ao mês, esse ganho representa aproximadamente R\$26.000,00 de redução de custo total.

4.4 GESTÃO DO PLANO DE CORTE

As oportunidades de melhoria no processo de corte por plasma, estão diretamente relacionadas com a eliminação dos desperdícios do processo. Os resultados são maximizados quando as perdas são estudadas e compreendidas, resolvendo os problemas com soluções adequadas, sem a necessidade de grandes investimentos. A implementação de melhorias é factível na organização, principalmente quando a tomada de decisão por parte dos gestores, é capaz de resolver de forma rápida e eficiente as dificuldades existentes.

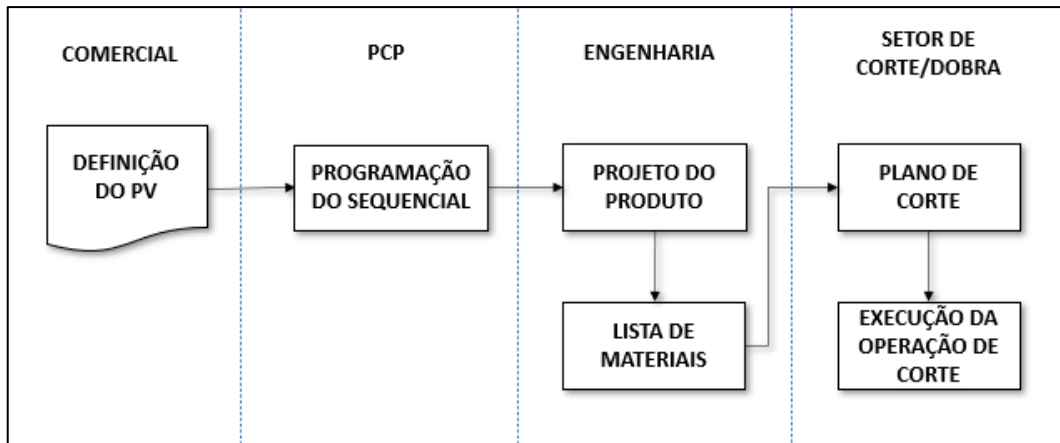
Um dos objetivos do trabalho é identificar e transformar o modo como ocorre o fluxo de informação entre os setores responsáveis, criando e definindo os caminhos na qual a informação deve percorrer. Com isso, garantir que todas as áreas envolvidas estejam alinhadas e trabalhando em sintonia, visando a melhoria contínua do processo. Com um fluxo de informação mais claro e organizado, é possível evitar erros e retrabalhos, reduzindo os custos e aumentando a eficiência e produtividade do processo. Esse objetivo é concretizado com a implementação da gestão do plano de corte, sob a responsabilidade do setor de PCP da empresa.

Na análise da situação atual da empresa, foi observado que o processo de corte por plasma, apresenta diversas perdas e todas elas são decorrentes da inexistência de um planejamento para o processo. Pela ausência de um controle eficiente do estoque, são cortadas muitas peças sem uma demanda estabelecida, causando as perdas, como a superprodução, conseqüentemente o processamento desnecessário e o excesso de estoque. Outro desperdício existente é a perda por espera, que interrompe a operação até que o plano de corte seja feito. A perda por movimentação também está presente na operação, que é causada pelo deslocamento constante do operador até o departamento de engenharia/PCP para coletar as informações e listas de materiais, resultando em um aumento desnecessário do tempo, atrasando *setup* de máquina e preparação para o corte.

É apresentado de maneira simplificada na Figura 39, o atual modo de como o fluxo de informação caminha pelos setores até chegar ao processo de corte. Inicialmente o comercial preenche o PV com todas as características necessárias do produto, a informação segue para o PCP, que dispara a fabricação, organizando a programação do sequencial de produção. A engenharia desenvolve o projeto do produto e gera as listas de materiais para o corte, agrupando todas as informações

como medidas, espessuras e quantidades necessárias, incluindo os códigos das peças para a criação do plano de corte no software Almacut. Em seguida, as listas de materiais são encaminhadas para o setor de corte/dobra, que realiza o plano de corte e a execução da operação.

Figura 39 – Atual fluxo de informação do processo de corte



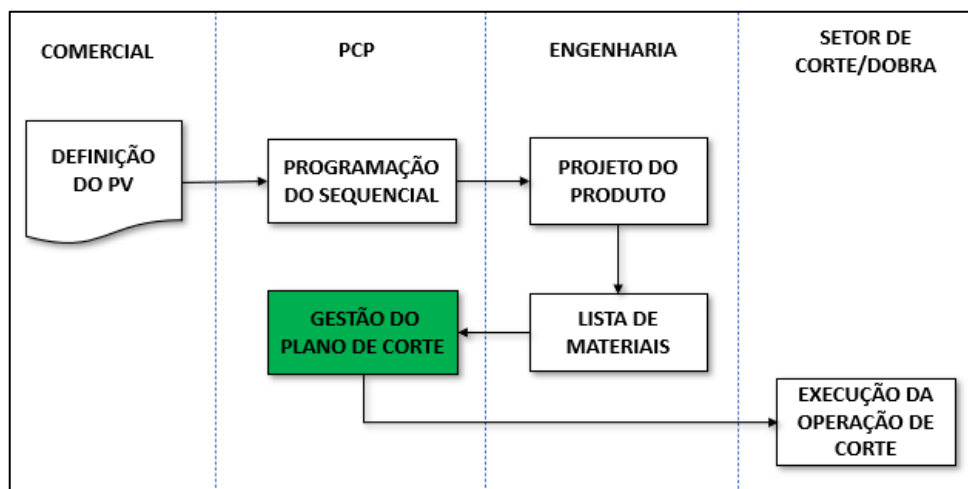
Fonte: Autor (2023)

Com a implementação da gestão do plano de corte, o PCP aumenta as atribuições e passa a gerenciar o plano de corte, além de controlar o estoque de peças cortadas, considerando o sequencial de produção estabelecido. Isso possibilita uma melhor gestão do processo, reduzindo o tempo ocioso da máquina, além de melhorar a previsão sobre a demanda e a otimização do uso dos recursos. A criação de um controle intermediário, faz com que a operação do corte por plasma, concentre-se na sua atividade principal, que é executar o corte de forma precisa e com qualidade, aumentando a produtividade e a eficiência do processo como um todo.

Ao implementar uma gestão mais eficiente do plano de corte, com o envolvimento do PCP, as informações e os programas de corte, podem ser disponibilizados de forma mais ágil e precisa para o operador, transferindo os arquivos de modo eletrônico, diretamente no terminal de controle da máquina, acessado pelo próprio servidor de rede da empresa. Desta forma, o deslocamento é reduzido e o tempo de produção da máquina é otimizado, contribuindo para uma maior eficiência e produtividade do processo. Na Figura 40, é apresentado o novo fluxo de informação do processo de corte por plasma, com a implementação da gestão do plano de corte pelo PCP. O fluxo é modificado e a engenharia após o desenvolvimento do projeto,

libera as listas de materiais para o PCP. Com essa nova função ocorre a necessidade da contratação de um programador do plano corte, com a responsabilidade de analisar as listas de materiais e planejar o sequencial, criando planos de corte otimizados. O colaborador deve acompanhar o andamento do processo, controlando alguns indicadores como tempo e consumo de matéria-prima. Esse profissional com conhecimento em software de corte por plasma, realiza as simulações de aproveitamento de chapa, evitando perdas desnecessárias.

Figura 40 – Fluxo de informação com gestão do plano de corte



Fonte: Autor (2023)

Modificando o fluxo e retirando a responsabilidade do operador do plasma criar os planos de corte, o processo torna-se mais eficiente, com menor probabilidade de erros por parte do operador, que deve destinar o foco do trabalho na execução da operação de corte e as demais atribuições da função. Com a implementação da gestão do plano de corte pelo PCP, é possível garantir uma visão mais ampla e estratégica do processo de produção, com melhor controle de materiais, tempos e do estoque de peças fabricadas. Para facilitar o controle de peças cortadas para estoque, foram instaladas novas prateleiras no setor, identificando os espaços das peças, com os respectivos códigos. Na Figura 41, é possível visualizar a organização. Desta forma é possível obter uma visão clara do estoque, facilitando a contagem, evitando a perda de peças e garantindo a disponibilidade para a produção. O programador e o operador do plasma, devem manter a sinergia para que o controle seja executado de maneira correta, as peças devem ser armazenadas no local devidamente identificado e a contagem deve estar sempre atualizada.

Figura 41 – Controle dos estoques das peças cortadas nos plasma



Fonte: Autor (2023)

É importante que o programador do plasma tenha acesso às informações atualizadas do estoque de peças cortadas, para que possa planejar adequadamente os próximos cortes e garantir a disponibilidade de peças para a produção. A sinergia entre o operador e o programador do plasma também é essencial para garantir a execução do fluxo do processo, minimizar as perdas e maximizar o aproveitamento das chapas, otimizando o processo como um todo. Portanto, com a gestão do plano de corte, as mudanças que ocorrem na produção ou nas peças projetadas, são administradas com maior flexibilidade, permitindo tomadas de decisões mais estratégicas, baseadas em dados e informações precisas.

As evoluções apresentadas nesta etapa do trabalho são decorrentes da necessidade de maior controle sobre o processo de corte por plasma. O balanceamento dos recursos, analisado anteriormente com base nos indicadores do processo, são complementados e favorecidos, quando a operação é planejada de forma integrada entre os setores. Todo o esforço empenhado contribui para a melhoria contínua do processo, aumentando os índices de produtividade e redução dos custos, que são fundamentais para o sucesso operacional e estratégico da organização.

5. CONCLUSÕES

A indústria do implemento rodoviário tem se desenvolvido rapidamente, o que exige dos fabricantes uma constante atualização de seus sistemas produtivos. Para atingir o sucesso do negócio, é essencial adotar práticas da gestão enxuta que eliminem desperdícios e criem oportunidades de melhoria. Nesse sentido, o objetivo principal deste trabalho foi analisar as oportunidades de melhoria no processo de corte por plasma da Joinville Implementos Rodoviários, sendo o estudo fundamentado em conceitos da manufatura enxuta e meios de gerenciamento da produção, para priorizar o aumento da produtividade e a redução dos custos da operação.

Com o estudo dos conceitos da manufatura enxuta, foi possível ampliar e aprimorar a compreensão sobre as estratégias que favorecem o aumento da eficiência produtiva. Neste trabalho, o princípio *kaizen* é o agente norteador na busca pelas soluções de melhoria e identificação das fontes de desperdícios, que são as principais causas que impedem a empresa de alcançar os resultados necessários para se manter competitiva. É por meio das perdas que as oportunidades de melhoria são identificadas, possibilitando a implementação de ações que favoreçam o aumento da eficiência do processo produtivo.

Ao identificar as fontes de desperdício do processo, o trabalho apontou oportunidades de melhoria, realizando um balanceamento dos recursos do processo, com base em indicadores de eficiência, tais como tempo de corte, geração de sucata e utilização de consumíveis. Foram realizadas simulações de aproveitamento de chapa, com o objetivo de comparar estes indicadores, quando o plano de corte é feito visando o preenchimento total, com fabricação de peças para estoque e quando o corte é realizado somente com as demandas da produção. É possível concluir que mesmo com um aumento de 4% na geração de sucata, a mudança na gestão do plano de corte resultou em uma melhora de 35% nos tempos de processo e uma redução de aproximadamente 44% no custo com a utilização dos consumíveis. As simulações validaram os resultados, demonstrando a efetividade das melhorias propostas. Esses dados fornecem informações importantes para os gestores da empresa, a fim de garantir tomadas de decisões mais estratégicas em relação ao processo.

A implementação de uma gestão do plano de corte também se mostrou essencial para alcançar os objetivos propostos. Foi necessário o desenvolvimento de

um novo fluxo de informação para o processo, a fim de garantir uma comunicação mais eficiente entre as diferentes áreas envolvidas. Com a implementação da função do programador do plano de corte, o processo se torna mais robusto e automatizado, garantindo que as informações sejam transmitidas de maneira mais rápida e precisa, eliminando a possibilidade de erros por parte do operador, que deve atender as prioridades e demandas da operação de corte. Além disso, a gestão do plano de corte também permite o acompanhamento em tempo real da utilização dos recursos disponíveis e maior controle sobre os estoques de peças cortadas, o que possibilita a identificação de possíveis desperdícios e a adoção de medidas corretivas imediatas.

Por fim, com base nos resultados apresentados, conclui-se que a adoção de práticas da gestão enxuta é essencial para aprimorar o sistema produtivo, possibilitando a eliminação de perdas e a maximização da eficiência do processo produtivo. Os conceitos *lean* servem de fundamento para realizar o balanceamento dos recursos do processo e no desenvolvimento da gestão do plano de corte, os resultados demonstraram ser efetivos para melhorar a produtividade e reduzir os custos da operação. É fundamental que a empresa continue investindo em melhorias contínuas em todos os processos produtivos, a fim de manter a competitividade no mercado. No processo de corte por plasma, trabalhos futuros podem ser realizados para aprimorar ainda mais a eficiência do processo, como o estudo para melhorar os tempos de movimentação de chapas e retiradas de peças da máquina, que apresentam valores significativos no tempo total da operação. Outra oportunidade é a utilização de novas tecnologias, com uso de ferramentas digitais, para o monitoramento em tempo real dos indicadores de eficiência do processo, permitindo uma tomada de decisão mais ágil e assertiva em caso de desvios do planejado. Essas iniciativas visam maximizar a eficiência como um todo e consolidar a posição da empresa no mercado de implementos rodoviários.

REFERÊNCIAS

ALMACAM. **Alma, especialista em softwares de aproveitamento para o corte.** Disponível em: <https://pt-br.almacam.com/alma-especialista-em-softwares-de-aproveitamento-para-o-corte/>. Acesso em: 30 dez. 2022.

ALVAREZ, Roberto dos Reis, **Análise Comparativa de Metodologias para Análise, Identificação e Solução de Problemas**, Dissertação de Mestrado, Porto Alegre, Programa de Pós-Graduação em Engenharia da Produção, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, 1995.

ANFIR. **Anuário da Indústria de Implementos Rodoviários**. São Paulo: Anfir, 2022.

BREITENBACH, Fernanda Aline. **Aplicação dos conceitos da manufatura enxuta e do mapeamento do fluxo de valor em uma empresa fabricante de implementos rodoviários de engenharia sob encomenda**. 2013. 174 f. Dissertação (Mestrado) - Curso de Engenharia Mecânica, Programa de Pós-Graduação, Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis, 2013.

CALÓ, Edilson Henriques. **ESTUDO COMPARATIVO DA EFICIÊNCIA ENTRE OS PROCESSOS DE CORTE PLASMA E LASER NO MATERIAL ASTM A36 NA ESPESSURA DE 12 mm**. 2013. 42 f. Monografia (Especialização) - Curso de Pós-Graduação em Engenharia de Soldagem, Centro Universitário do Instituto Mauá de Tecnologia, São Caetano do Sul, 2013.

CESÁRIO, André Alaniz. **Estimativa de vida em fadiga de componentes de implementos rodoviários através de métodos espectrais**. 2012. 130 f. Dissertação (Mestrado) - Curso de Engenharia Mecânica, Programa de Pós-Graduação, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, 2012.

CÍCERO, S. *et al.* **Definition and validation of Eurocode 3 FAT classes for structural steels containing oxy-fuel, plasma and laser cut holes**. International Journal of Fatigue, London, 87, 16 jan. 2016.

CNT. **Pesquisa CNT perfil empresarial 2021**: transporte rodoviário de cargas. Brasília: Cnt, 2022.

COIMBRA, E. A. **Total Management Flow: Achieving Excellence with Kaizen and Lean Supply Chains**. Kaizen Institute, 2009

CONTRAN. **Resolução Nº 210 de 13 de Novembro de 2006**. Brasília, 01 jul. 2007.

COX III, J. F., SPENCER, M. S. **Manual da Teoria das Restrições**. Porto Alegre: Bookman, 2002.

DISCOVERY CHANNEL. **Come funziona HD: taglio al plasma. taglio al plasma**. Disponível em: <https://www.youtube.com/watch?v=h3R3m5kNpx8>. Acesso em: 11 dez. 2022.

ERRASTI A.; POLER, R. **Engineer-to-order supply chain improvement based on the GRAI meta-model for interoperability: an empirical study in enterprise interoperability III**. Springer London, 2008.

GALHARDO, Israel. **APLICAÇÃO DOS CONCEITOS DE MANUFATURA ENXUTA EM EMPRESA DE EQUIPAMENTOS ELÉTRICOS COM TIPOLOGIA DE PRODUÇÃO ENGINEER-TO-ORDER**. 2019. 89 f. Dissertação (Mestrado) - Curso de Mestrado Profissional em Administração, Universidade Federal de Itajubá, Itajubá, 2019.

GHINATO, Paulo. **Sistema Toyota de produção: mais do que simplesmente Just-in-Time**. 1995. 5 v. Tese - Curso de Engenharia de Produção, Ppgep/ufrgs, São Paulo, 1995.

GOLDENSTEIN, Marcelo *et al.* A indústria de implementos rodoviários e sua importância para o aumento da eficiência do transporte de cargas no Brasil. **Produção Bndes - Artigos**. Rio de Janeiro, p. 241-260. set. 2006.

GOLDRATT, Eliyahu M.. **A Meta: um processo de melhoria contínua**. Barueri: Nobel, 2015. 400 p.

GOMES, J. H. F. **Análise e Otimização da Soldagem de Revestimento de Chapas de Aço ABNT 1020 com Utilização de Arame Tubular Inoxidável Austenítico**. UNIFEI. Itajubá, p. 120. 2010.

HYPERTHERM. **Problemas de vida útil da peça**. Disponível em: <https://www.hypertherm.com/pt/resources/system-support/maintenance-and-use/consumable-care-and-optimization/extending-parts-and-consumables-life/>. Acesso em: 28 dez. 2022.

JOAQUIM, Roberto; RAMALHO, José. **PLASMA**. 2013. Disponível em: <https://infosolda.com.br/329-plasma>. Acesso em: 27 dez. 2022.

JOINVILLE. Site da empresa. Disponível em: <http://www.joinvilleimplementos.com.br/>. Acesso em: 06 nov. 2022.

KOENIGSAECKER, George. **Liderando a Transformação Lean nas Empresas**. Porto Alegre: Bookman, 2011. 167 p.

KONDRASOVAS, Igor. **5 Dicas Para Melhorar o Resultado no Corte de Chapa**. Disponível em: <https://www.otimizenesting.com.br/post/2016/09/19/corte-de-chapa>. Acesso em: 30 dez. 2022.

KASHIWAGI, Fabio Norikazu. **Estudos em corte por plasma usando delineamento de experimentos**. 2016. 104 f. Dissertação (Mestrado) - Curso de Engenharia de Produção, Programa de Pós-Graduação, Universidade Federal de Itajubá, Itajubá, 2016.

LAUBE, Daniel; LOURENÇO, Lucas Felipe. **AVALIAÇÃO DO EFEITO DA VARIÇÃO DOS PARÂMETROS NO PROCESSO E NA QUALIDADE DO CORTE A PLASMA EM CHAPAS ASTM A36 ESPESSURA DE 19MM**. 2022. 26 f. TCC (Graduação) - Curso de Engenharia Mecânica, Unisociesc, Jaraguá do Sul, 2022.

LIMA, E. G. Corte a plasma. **Revista da Soldagem**, v. II, n. 9, 2009.

LEANDRO, Vinicius Mazetto. **ANÁLISE ESTRUTURAL DE UM CHASSI DE SEMIRREBOQUE PELO MÉTODO DE ELEMENTOS FINITOS**. 2019. 84 f. TCC (Graduação) - Curso de Engenharia Automotiva, Universidade Federal de Santa Catarina, Joinville, 2019.

LIKER, Jeffrey K.; MEIER, David. **O modelo Toyota**: manual de aplicação. Porto Alegre: Bookman, 2007.

MACHADO, João André de Jesus Rocha. **Total Flow Management na Indústria**. 2008. 83 f. Dissertação (Mestrado) - Curso de Mestrado Integrado em Engenharia Mecânica, Universidade do Porto, Porto, 2008.

MARCELINO, Yane Agata Ribeiro. **CONTROLE DE PRODUÇÃO**: o caso do apontamento de linha numa indústria de implementos rodoviários em Chapecó-sc. 2017. 89 f. TCC (Graduação) - Curso de Curso de Administração, Universidade Federal da Fronteira Sul, Chapecó, 2017.

MARCHWINSKI, Chet. **LÉXICO LEAN**: glossário ilustrado para praticantes do pensamento lean. 2. ed. São Paulo: Lean Institute Brasil, 2007.

MARCONI, Marina de Andrade; LAKATOS, Eva Maria. **Fundamentos de Metodologia Científica**. 5. ed. São Paulo: Atlas S.A., 2003. 310 p.

MARQUES, Paulo Villani *et al.* **SOLDAGEM**: fundamentos e tecnologia. Belo Horizonte: Ufmg, 2011.

MARTICHENKO, Robert O.. **Tudo que sei sobre lean aprendi no 1º ano da escola**. São Paulo: Lean Institute Brasil, 2008. 142 p.

MOREIRA, D. A. **Administração da produção e operações**. 2. ed. São Paulo: Cengage Learning, 2014.

MOURA, Reinaldo Aparecido. **Kanban**: a simplicidade do controle da produção. São Paulo: Imam, 2003. 256 p.

OHNO, Taiichi. **O sistema Toyota de produção**: além da produção em larga escala. Porto Alegre: Bookman, 1997. 150 p.

PACHECO, Diego Augusto de Jesus. Teoria das Restrições, Lean Manufacturing e Seis Sigma: limites e possibilidades de integração. **Production**, [S.L.], v. 24, n. 4, p. 940-956, 11 mar. 2014. FapUNIFESP (SciELO)

PEINADO, Jurandir; GRAEML, Alexandre Reis. **Administração da Produção: operações industriais e de serviços**. Curitiba: Unicenp, 2007.

PERGORARO, Fabio. APLICAÇÃO DOS CINCO PASSOS DA MELHORIA CONTÍNUA DA TEORIA DAS RESTRIÇÕES (TOC): um estudo em uma indústria de cal. **Revista Cereus**, [S.L.], v. 9, n. , p. 80-97, 10 dez. 2017. Revista Cereus.

PIMENTA, Salvador Walter. **ESTUDO COMPARATIVO ENTRE OS PROCESSOS DE CORTE PLASMA E JATO DE ÁGUA PARA CHAPA DE AÇO INOXIDÁVEL DE 1” UTILIZADO NA CONSTRUÇÃO DE MÁQUINAS ESPECIAIS**. 2013. 49 f. Monografia (Especialização) - Curso de Pós Graduação em Engenharia de Soldagem, Centro Universitário do Instituto Mauá de Tecnologia, São Caetano do Sul, 2013.

PIRES, S.R.I.; **Gestão Estratégica da Manufatura**, Editora UNIMEP, 1995.

ROTHER, Mike; SHOOK, John. **Aprendendo a enxergar: mapeando o fluxo de valor para agregar valor e eliminar o desperdício**. São Paulo: Lean Institute Brasil, 2003.

SILBER DO BRASIL. **SILBER CUTTER BLANK 8000**. Disponível em: <https://silberdobrasil.com.br/maquinas/silber-cutter-blank-8000>. Acesso em: 15 jan. 2023.

SILVA, Edna Lúcia da; MENEZES, Estera Muszkat. **Metodologia da Pesquisa e Elaboração de Dissertação**. 4. ed. Florianópolis: Ufsc, 2005. 138 p.

SLACK, Nigel. **Administração da produção**. São Paulo: Atlas, 1997.

SHINGO, Shigeo. **O sistema Toyota de produção**. Porto Alegre: Bookman, 1996. 291 p.

SILVA, Renan Severgnini. **PROPOSTA DE OTIMIZAÇÃO NA DISTRIBUIÇÃO DE COMPONENTES EM CHAPAS METÁLICAS NO PROCESSO DE CORTE A PLASMA ATRAVÉS DO USO DE SOFTWARE COMERCIAL**. 2018. 78 f. TCC (Graduação) - Curso de Engenharia Mecânica, Universidade Tecnológica Federal do Paraná, Ponta Grossa, 2018.

TUBINO, Dalvino Ferrari. **Manual de Planejamento e Controle da Produção**. São Paulo: Atlas, 1997.


TUBINO, Dalvino Ferrari. **Planejamento e Controle da Produção: Teoria e Prática**. 2.ed. São Paulo: Atlas, 2009.

WOMACK, James P. *et al.* **A máquina que mudou o mundo**. São Paulo: Elsevier, 2004.

WOMACK, J. P.; JONES, D. T. **A mentalidade enxuta nas empresas**. 5. ed. Rio de Janeiro: Campus, 1998.

APÊNDICE A – ORDEM DE COMPRA

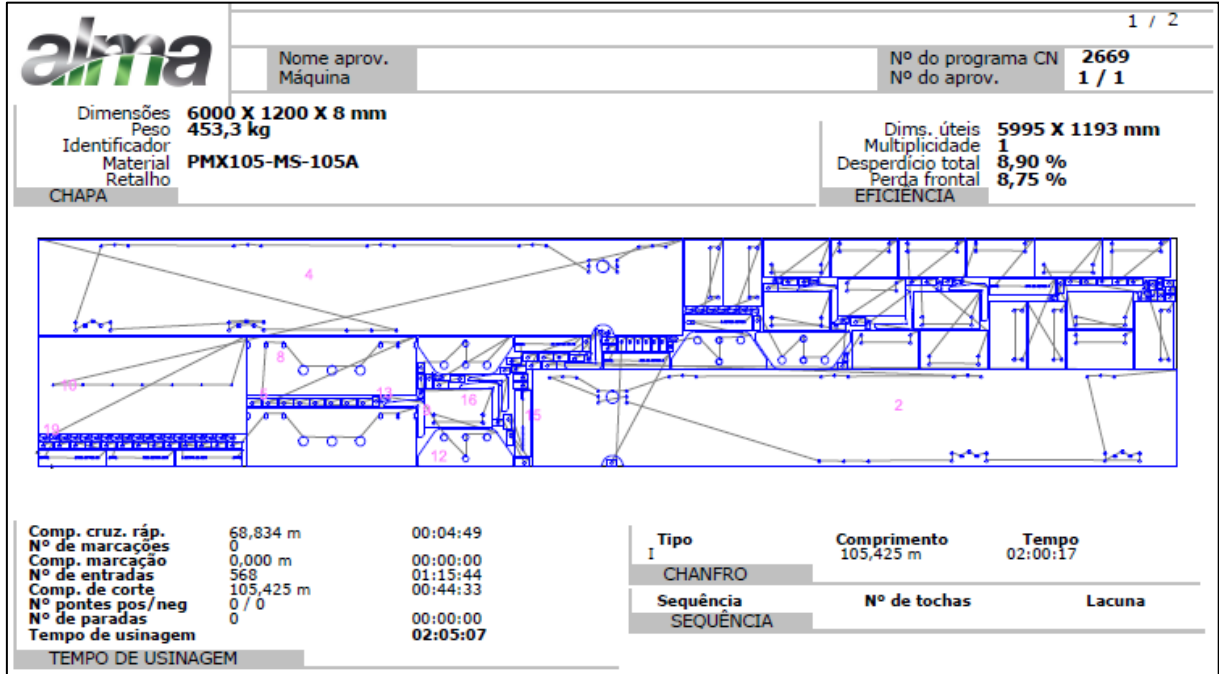
Figura 42 – Ordem de compra dos consumíveis novembro/2022

		FURGOES JOINVILLE LTDA. AV. CELSO RAMOS, 4821 - URUBUQUARA GARUVA/SC - 89248.000 CNPJ: 80.676.497/0001-00		Folha: 1 de 1 Emissão: 20/01/2023 Previsão Entrega: 30/11/2022				
Ordem de Compra: 10511								
Fornecedor: SILBER - FABRICACAO DE MAQUINAS INDUSTRIAIS EIRELI Endereço: ROD RS-118 KM 16 Cidade: GRAVATAI - RS CNPJ: 07.654.609/0001-23		CEP: 94100.420 I.E.: ISENTO		FONE: E-mail: Contato:				
Tipo Frete: FOB Cond. Pagamento: COMPRA 03 X - 30/60/90 DD		Transportadora: - Forma de Pagamento:		Fone: Responsável:				
Item	Código	Descrição	Qtde	UM	Preço Unit.	%ICMS	%IPI	Preço Total
1	082000225	ELETRODO 45/105A - 220842	100,00	UN	57,07	4,00%	0,00%	5.707,00
2	082000211	BICO 105A - 220990	50,00	UN	43,28	4,00%	0,00%	2.164,00
3	082000161	DIFUSOR DE GAS - 220994	3,00	UN	131,00	12,00%	0,00%	393,00
4	082000213	CAPA DE PROTEÇÃO 45/105A - 220854	2,00	UN	232,00	4,00%	0,00%	464,00
5	082000220	BOCAL 105A/100A - 220993	30,00	UN	114,31	4,00%	0,00%	3.429,30
OBSERVAÇÃO: SOLICITAÇÃO BRUNO PLASMA EMBARQUE IMEDIATO							Total Produtos:	11.700,00
							Total do Frete:	0,00
							Total IPI:	0,00
							Valor Total:	11.700,00

Fonte: Autor (2023)

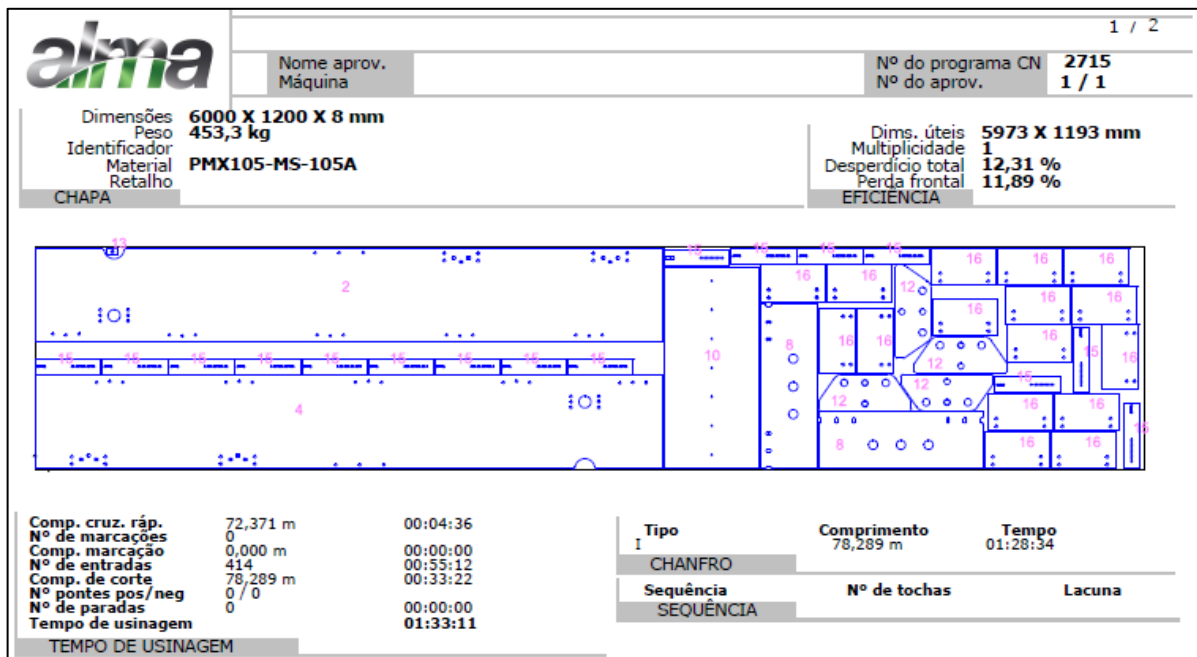
APÊNDICE B – SIMULAÇÕES

Figura 43 – Simulação chapa #8,00mm com adicional de peças



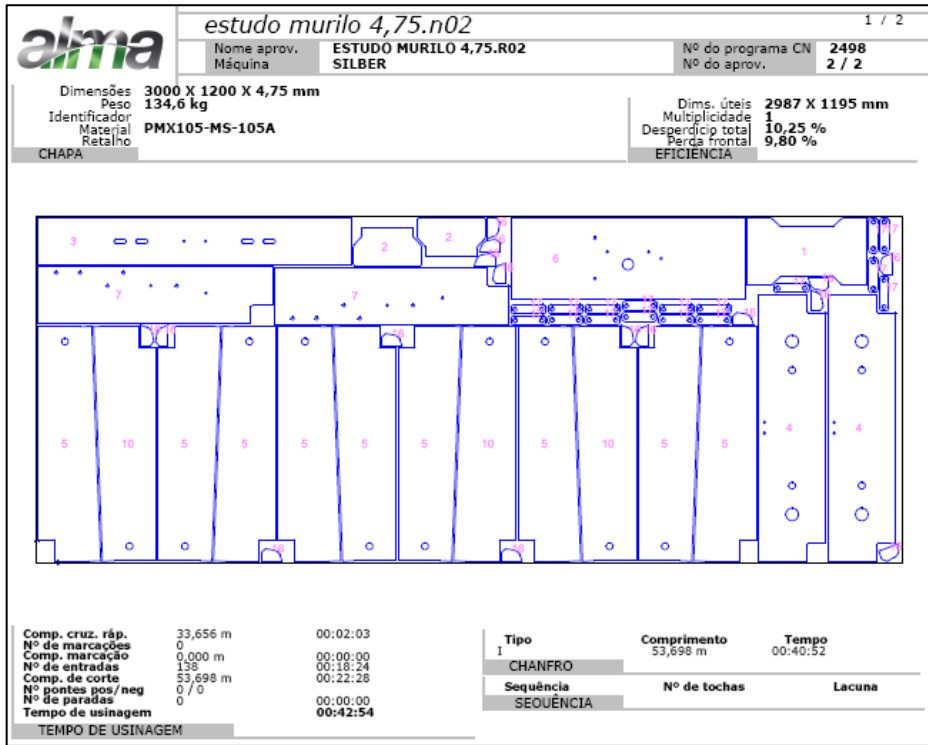
Fonte: Autor (2023)

Figura 44 – Simulação chapa #8,00mm sem adicional de peças



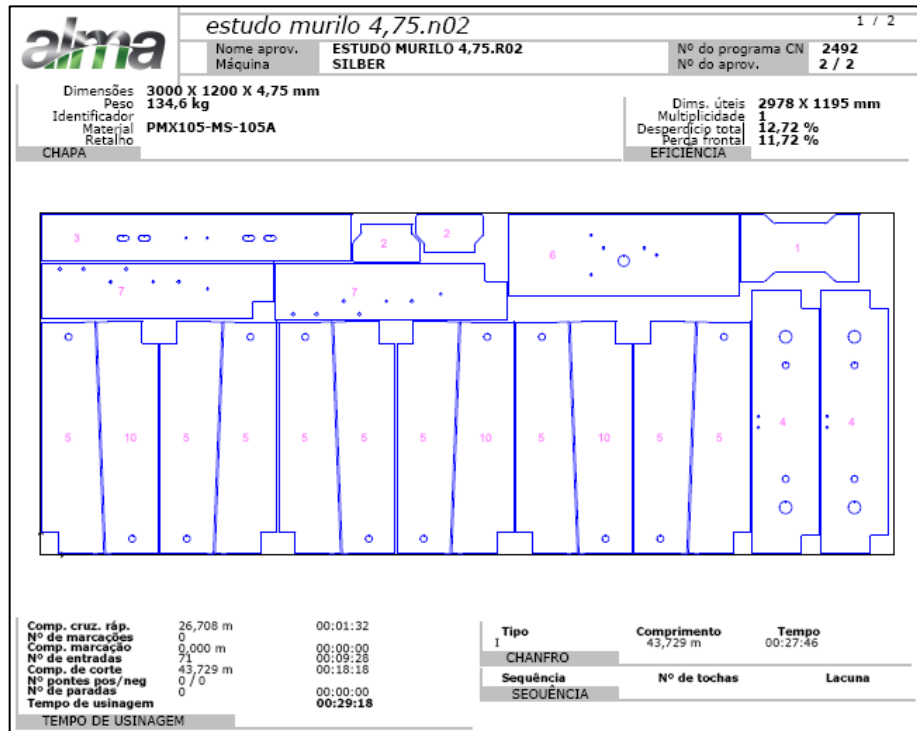
Fonte: Autor (2023)

Figura 45 – Simulação chapa #4,75mm com adicional de peças



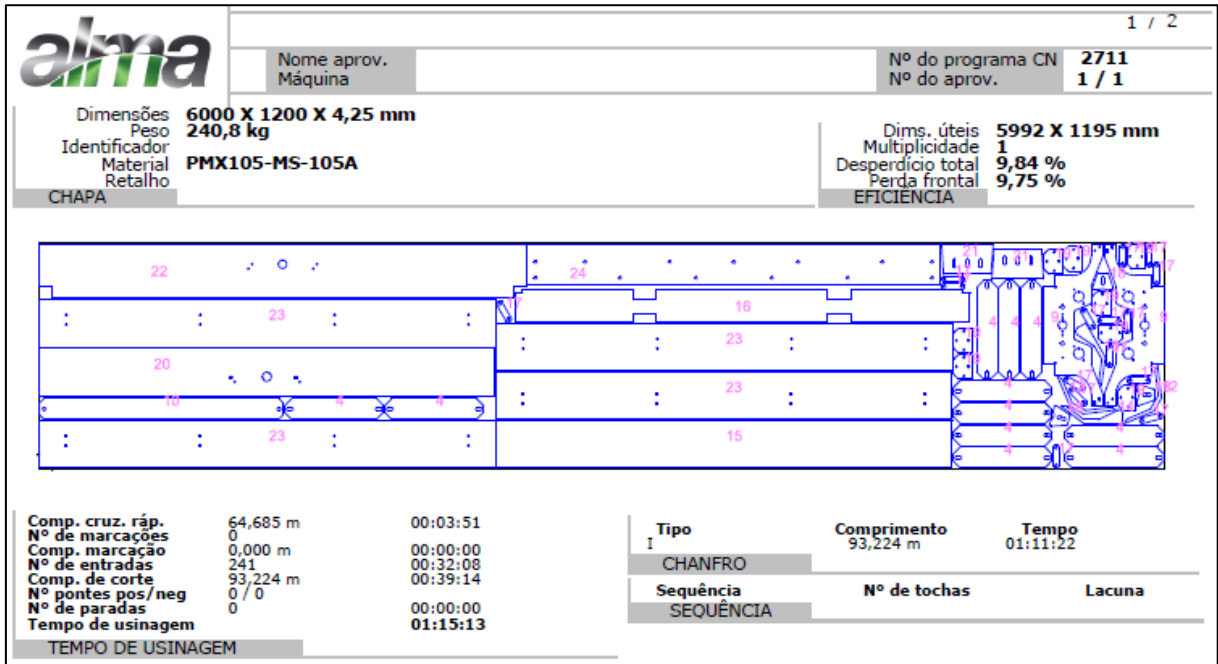
Fonte: Autor (2023)

Figura 46 – Simulação chapa #4,75mm sem adicional de peças



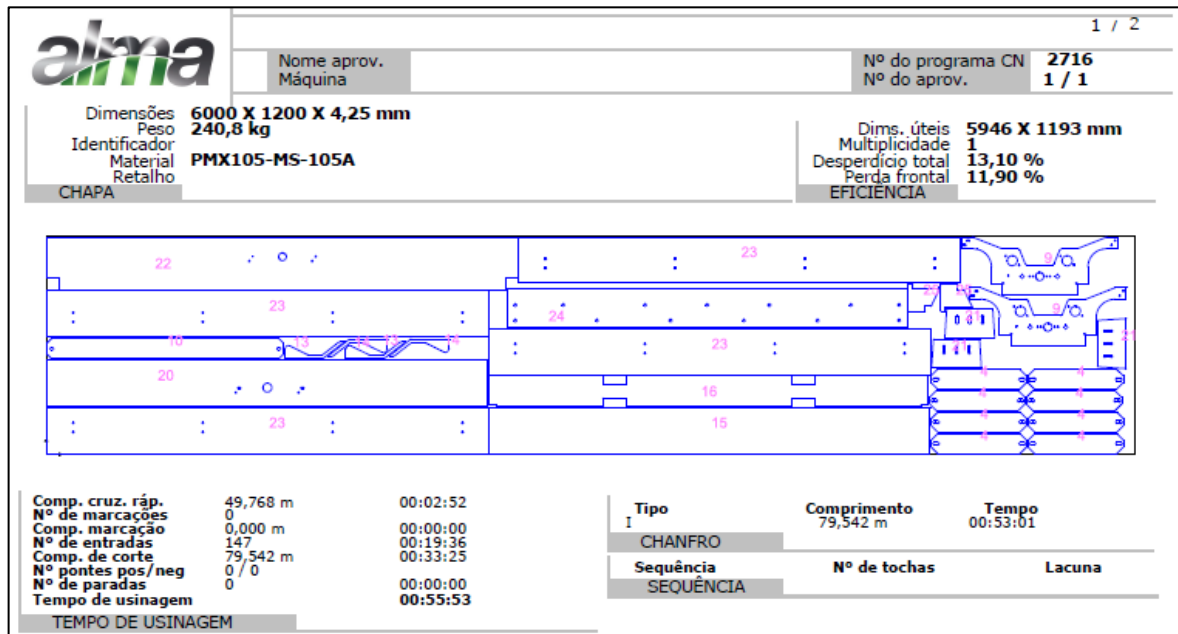
Fonte: Autor (2023)

Figura 47 – Simulação chapa #4,25mm com adicional de peças



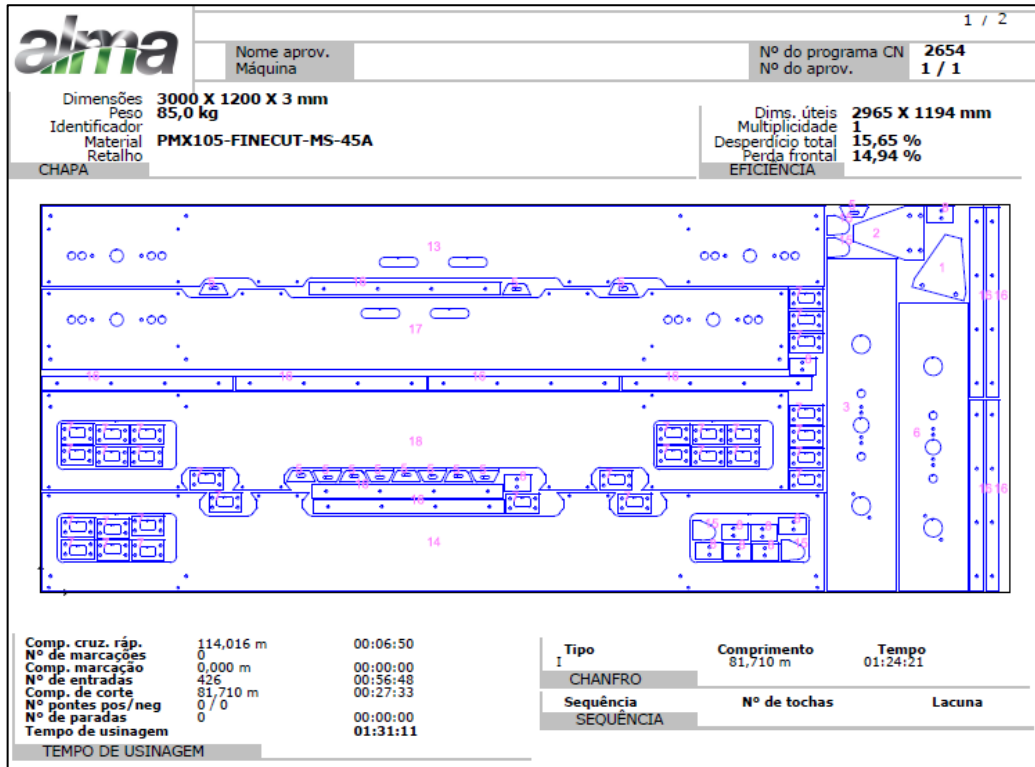
Fonte: Autor (2023)

Figura 48 – Simulação chapa #4,25mm sem adicional de peças



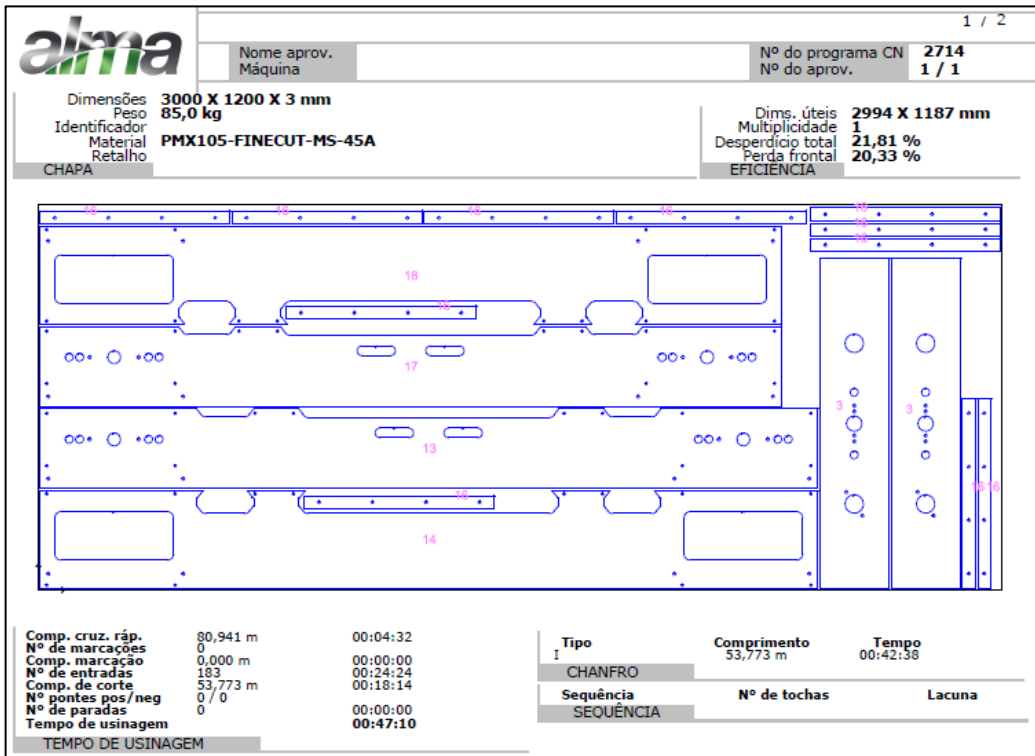
Fonte: Autor (2023)

Figura 49 – Simulação chapa #3,00mm com adicional de peças



Fonte: Autor (2023)

Figura 50 – Simulação chapa #3,00mm sem adicional de peças



Fonte: Autor (2023)

APÊNDICE C – IMAGENS DO PROCESSO

Figura 51 – Separação dos kits de peças cortadas



Fonte: Autor (2023)

Figura 52 – Volume de consumíveis para descarte



Fonte: Autor (2023)