



Universidade Estadual Paulista "Júlio de Mesquita Filho"
Faculdade de Engenharia de Ilha Solteira
Departamento de Engenharia Mecânica

Área de Materiais e Processos de Fabricação

**Estudo de Caso: Implementação da Linha
Automatizada para Fabricação de Cestos
Verticais de Aço Inoxidável para lavadoras**

Augusto Hamamura Polo

R.A.: 191051756

Professor Doutor Miguel Ângelo Menezes

Ilha Solteira, SP

Outubro de 2025

Augusto Hamamura Polo

Estudo de Caso: Implementação da Linha
Automatizada para Fabricação de Cestos
Verticais de Aço Inoxidável para lavadoras

TCC apresentada à
Universidade Estadual Paulista (UNESP), Ilha Solteira,
para obtenção do título de Grau
acadêmico (Bacharel) em Engenharia Mecânica.

Orientador(a): Prof. Dr. Miguel Ângelo Menezes

Ilha solteira
2025

FICHA CATALOGRÁFICA
Desenvolvida pela Diretoria Técnica de Biblioteca e Documentação

P778e Polo, Augusto Hamamura.
Estudo de caso: implementação da linha automatizada para fabricação de cestos verticais de aço inoxidável para lavadoras / Augusto Hamamura Polo. -- Ilha Solteira: [s.n.], 2025
81 f. : il.

Trabalho de conclusão de curso (Graduação em Engenharia Agrônoma) - Universidade Estadual Paulista. Faculdade de Engenharia de Ilha Solteira, 2025

Orientador: Miguel Ângelo Menezes
Inclui bibliografia


1. Automação indústria. 2. Indústria 4.0. 3. Eficiência operacional. 4. Produtividade. 5. Flexibilidade. 6. Inovação tecnológica.

ATA DE DEFESA DO TRABALHO DE GRADUAÇÃO

Aos 18 dias do mês de Dezembro do ano de dois mil e vinte e cinco, as 18h30min, por videoconferência, no Departamento de Engenharia Mecânica, do Campus da UNESP, da Faculdade de Ilha Solteira, o discente **Augusto Hamamura Polo**, matriculada sob o número 191051756, tendo como banca examinadora, o orientador Prof. Ph.D. Miguel Ângelo Menezes, o Prof. D.Sc. Ricardo Kazuo Itikava (Faculdade Anhanguera – São José dos Campos) e o Engenheiro Mecânico Gustavo Marques Pereira (Siemens Energy), apresentou o Trabalho de Graduação intitulado: “*Estudo de Caso: Implementação da Linha Automatizada para Fabricação de Cestos Verticais de Aço Inoxidável*”, obtendo o CONCEITO Aprovado e NOTA FINAL: (9,5) Nove e Meio.

Por ser verdade, os membros da banca examinadora e a discente assinam em seguida.


Prof. Ph.D. Miguel Ângelo Menezes (Orientador)


Prof. D.Sc. Ricardo Kazuo Itikava (Faculdade Anhanguera)

Eng. Mec. Gustavo Marques Pereira (Siemens Energy)

Pereira Gustavo
Marques

Digitally signed by Pereira Gustavo
Marques
DN: cn=Pereira Gustavo Marques,
o=Siemens,
email=gustavo.pereira@siemens-
energy.com
Date: 2025.12.18 20:12:07 -0300

Augusto Hamamura Polo (Discente)

Documento assinado digitalmente

gov.br

AUGUSTO HAMAMURA POLLO
Data: 16/12/2025 21:14:12-0300
verifique em <https://validar.iti.gov.br>

Agradecimento

Este trabalho é a culminação de uma jornada que não teria sido possível sem o apoio incondicional e o suporte de pessoas essenciais em minha vida.

Aos meus amados pais, Pedro Polo e Celia Hamamura, por serem meu alicerce inabalável. O apoio, os ensinamentos e o amor incondicional de vocês foram a força motriz que me impulsionou a enfrentar e a concluir esta etapa. Cada conquista reflete o sacrifício e a dedicação que investiram na minha formação.

Aos meus padrinhos, por todo o suporte oferecido, não apenas material, mas, principalmente, pelo encorajamento e confiança depositada ao longo de toda a minha trajetória universitária. A presença de vocês foi um porto seguro fundamental.

Aos grandes amigos e companheiros de jornada: Hugo Petrone, Victor Marchirio, Daniel Pavan e Guilherme Plácido. Vocês não apenas tornaram estes cinco anos muito mais rápidos, mas trouxeram leveza e alegria a cada desafio e a cada obstáculo. A camaradagem, as risadas e o suporte mútuo foram inestimáveis, transformando o peso da graduação em uma experiência memorável e construtiva. A amizade de vocês é um dos grandes presentes que a faculdade me proporcionou.

Por fim, a todos que, direta ou indiretamente, contribuíram para a realização deste trabalho e para o meu desenvolvimento profissional e pessoal.



Resumo

O presente trabalho apresenta um estudo de caso técnico sobre a implantação de uma linha automatizada para a fabricação de cestos de aço inoxidável destinados a lavadoras de roupas com eixo vertical, desenvolvida pela Empresa X. Inserido no contexto da Indústria 4.0, o projeto visa modernizar processos produtivos, promover a eficiência operacional e garantir maior qualidade e segurança. A nova linha foi concebida com foco em modularidade, flexibilidade e rastreabilidade, substituindo métodos obsoletos e otimizando a produtividade. A pesquisa, fundamentada na filosofia Lean Manufacturing e em indicadores de desempenho (KPIs) como OEE e Cpk, demonstrou que o projeto alcançou um avanço significativo na confiabilidade, flexibilidade e eficiência operacional da empresa, respondendo ao objetivo de elevar a competitividade do setor. O estudo abrange o layout da linha, os postos de trabalho, os critérios de desempenho (KPIs), e os requisitos técnicos e de qualidade. Fundamentado na engenharia de produção e nas boas práticas de automação industrial, o trabalho contribui para o aprimoramento contínuo dos sistemas fabris e para a consolidação da inovação no setor de eletrodomésticos.

Palavras-chave: *automação industrial, Indústria 4.0, eficiência operacional, produtividade, flexibilidade, cestos de aço inoxidável, lavadoras de roupas top load, inovação tecnológica, layout de linha de produção.*



Abstract

This paper presents a technical case study on the implementation of an automated line for the manufacturing of stainless steel baskets intended for vertical axis washing machines, developed by Company X. Inserted into the context of Industry 4.0, the OLIMPO project aims to modernize production processes, promote operational efficiency, and ensure greater quality and safety. The new line was conceived with a focus on modularity, flexibility, and traceability, replacing obsolete methods and optimizing productivity. The study covers the line layout, the work stations, the performance criteria (KPIs), and the technical and quality requirements. Based on production engineering and good practices in industrial automation, the work contributes to the continuous improvement of factory systems and the consolidation of innovation in the home appliance sector.

Keywords: Industrial automation, Industry 4.0, operational efficiency, productivity, flexibility, stainless steel baskets, top load washing machines, technological innovation, production line layout.



LISTA DE FIGURAS

Figura 1 – A Casa do Sistema Toyota de Produção	18
Figura 2 – Separação do homem x máquina (Jidoka)	21
Figura 3 – Tridimensionalidade do OEE	24
Figura 4 – Corte	28
Figura 5 – Entalhe	28
Figura 6 – Puncionamento	29
Figura 7 – Dobra	29
Figura 8 – Repuxo	30
Figura 9 – Componentes de estampo	31
Figura 10 – Estampo Progressivo	33
Figura 11 – Sistema de Automação na Estampagem Progressiva	34
Figura 12 – Desbobinador	34
Figura 13 – Endireitador	35
Figura 14 – Alimentador	35
Figura 15 – Flexibilização: larguras das bobinas x diâmetro calandra	38
Figura 16 – Restrição do Volume.	39
Figura 17 – Core Itens para fabricação de um cesto.	40
Figura 18 – Descrição do processo.	41
Figura 19 – Atributos mandatórios para o decoiler/feeder	41
Figura 20 – Teoria de corte com matriz	46
Figura 21 – Possíveis falhas na estação de corte	47
Figura 22 – Design da matriz	48
Figura 23 – Ângulo de inclinação do Punção Próprio Autor	48
Figura 24 – Sistema de prensão por vácuo com ventosas	50
Figura 25 – Separador magnético	51
Figura 26 – Estação de Enrolamento e Crimpagem	52
Figura 27 – Exemplo de cestos VA com travamento mecânico finalizado	53
Figura 28 – Pre bending	53
Figura 29 – Seam Lock and Coinning	54
Figura 30 – Estação de Spinforming (Grooving)	55
Figura 31 – Polias do grooving	56
Figura 32 – Formato “C”	57
Figura 33 – Estação de Fechamento	61
Figura 34 – Funcionamento das polias na estação de fechamento	62
Figura 35 – Desalinhamento da base plástica e do anel de balanceamento em relação ao eixo central do cesto	64
Figura 36 – Cubo chanfrado fundido e sobremoldado	64

Figura 37 – Estação de Usinagem65



Lista de Símbolo e Siglas

- BoP** *Best of Practices*
- Cpk** *Índice de Capacidade do Processo*
- CLPs** Controladores Lógicos Programáveis
- GBO** Gráfico de Balanceamento de Operadores
- HMI** *Interface Homem-Máquina*
- I/O** Entradas/Saídas (*Inputs/Outputs*)
- JIT** *Just in Time*
- KPIs** *Key Performance Indicators* (Critérios de Desempenho)
- MES** Sistema de Execução de Manufatura (*Manufacturing Execution System*)
- MTBF** *Mean Time Between Failures*
- MTTR** *Mean Time to Repair*
- NR-12** Norma Regulamentadora nº 12 – Segurança no Trabalho em Máquinas e Equipamentos
- OEE** Eficiência Global do Equipamento (*Overall Equipment Effectiveness*)
- PFMEA** *Process Failure Mode and Effect Analysis*
- RFQ** *Request for Quotation*
- SMED** *Single Minute Exchange of Die* (ver **TRF**)
- STP** Sistema Toyota de Produção
- TI** Tecnologia da Informação
- TO** Tecnologia Operacional
- TRF** Troca Rápida de Ferramenta



Sumário

1	Introdução	10
1.1	Justificativa	10
2	Objetivo	12
3	Revisão Teórica	13
3.1	Lean Manufacturing	13
3.2	O Pensamento Enxuto	14
3.3	Os cinco princípios da mentalidade <i>Lean</i>	14
3.4	Os sete desperdícios combatidos no <i>Lean</i>	16
3.5	A Casa do Sistema Toyota de Produção	17
3.6	<i>Just in Time</i>	18
3.7	Jidoka (Autonomação)	19
3.8	As Ferramentas do <i>Lean</i>	21
3.9	TRF - Troca Rápida de Ferramenta (SMED)	21
3.10	Gráfico de Balanceamento de Operadores (GBO)	22
3.11	<i>Poka-Yoke</i>	23
3.12	Eficiência Global do Equipamento (OEE)	23
3.13	PFMEA	25
3.14	Cronoanálise	25
3.15	Estampagem	26
3.16	Tipos de Estampagem	27
3.16.1	Corte	28
3.16.2	Entalhe	29
3.16.3	Puncionamento	29
3.16.4	Dobra	30
3.16.5	Repuxo	31
3.17	Ferramentas	31
3.18	Prensas	33
3.18.1	Prensas Progressivas	34
3.18.2	Norma Regulamentadora no Trabalho em Prensas	38
4	Metodologia	40
5	Estudo do Caso	41
5.1	Procedimentos Metodológicos	41
5.2	Justificativa Metodológica	41

5.2.1	Empresa X	42
5.2.2	Motivo	42
5.2.3	Descrição dos Postos de Trabalho da Linha de Produção	43
5.2.3.1	Materia Prima	44
5.2.3.2	Descrição do processo.	45
5.2.3.3	Manufatura Ágil (Agile Manufacturing)	46
5.2.3.4	Requisitos da Indústria 4.0	47
6	Análise de resultado e discussões	49
6.1	<i>Análise da estação a estação do processo de fabricação:Decoiler e Feeder Straightener</i>	49
6.1.1	Atributos Obrigatórios do <i>Decoiler/Feeder</i>	50
6.1.2	Atributos Obrigatórios do <i>Decoiler/Feeder</i> - Controles Elétricos	51
6.1.3	Estação de Corte a Comprimento	51
6.1.4	Impacto do <i>Design</i> da Matriz na Criação de <i>Blanks</i> Retangulares sem Rebarba	53
6.1.4.1	Impacto do <i>Design</i> da Matriz na Criação de <i>Blanks</i> Retangulares sem Rebarba	54
6.1.5	Mecanismo de Deslocamento Lateral e <i>Buffer</i>	55
6.1.6	Ferramenta de extremidade do robô (<i>End of Arm Tooling</i>)	55
6.1.7	Mesa de Buffer	56
6.1.8	Requisitos obrigatórios – Estação de <i>Side Shift e Buffer</i>	57
6.1.8.1	Estação de Enrolamento e Crimpagem	57
6.1.9	Pré-formação da aba para o travamento	59
6.1.10	Ferramental	59
6.1.11	Características de troca de modelo	60
6.1.12	Análise em processo da qualidade da costura	60
6.1.13	Estação de <i>Spinforming (Grooving)</i>	61
6.1.14	Projeto das Ferramentas	62
6.1.15	Diretrizes para o projeto de ferramentas na estação de <i>spinforming</i> :	63
6.1.16	Monitoramento de Desgaste e Lubrificação	64
6.1.17	Lubrificante de Conformação	65
6.1.18	Requisitos Técnicos Obrigatórios da Estação de <i>Spinforming</i>	65
6.1.19	Estação de Fechamento	66

<i>Implantação da Linha Automatizada para Fabricação de Cestos Verticais de Aço Inoxidável</i>	9
6.1.20 Projeto de Ferramentas	67
6.1.21 Projeto da Máquina	69
6.1.22 Atributos Mecânicos Obrigatórios da Estação . .	69
6.1.23 Estação de Usinagem	70
6.1.24 Projeto da ferramenta	72
6.1.25 Projeto da máquina	73
6.1.26 Atributos mecânicos obrigatórios da estação de alargamento	74
6.1.27 Atributos elétricos obrigatórios da estação de alargamento	75
6.2 Impacto Estratégico e Ganhos de Capacidade	76
6.3 Análise de Desempenho Operacional: KPIs da Máquina	76
6.4 Performance e Otimização Logística	76
6.4.1 Sincronismo de Abastecimento:	76
6.4.2 Otimização de Rotas (Lean Manufacturing):	76
6.4.3 Disponibilidade e Flexibilidade:	77
6.5 Controle e Capacidade de Qualidade (Cpk):	77
6.5.1 Análise de Risco e Controles Críticos:	77
7 Conclusão	78
7.1 Sugestão para futuros projetos	78
Referências	79



1 Introdução

O avanço tecnológico e a intensificação da concorrência global têm impulsionado a transformação das práticas produtivas na indústria de eletrodomésticos. Nesse cenário, a busca por maior eficiência operacional, redução de custos e aumento da qualidade dos produtos tornou-se uma exigência estratégica. A automação industrial, nesse contexto, destaca-se como elemento essencial para garantir competitividade, flexibilidade e padronização em ambientes de produção cada vez mais dinâmicos e orientados à excelência (SLACK et al., 2019).

A Empresa X, reconhecida por sua liderança no setor de eletrodomésticos, tem investido continuamente em inovação e modernização de suas plantas fabris. Dentre as iniciativas recentes, destaca-se o projeto OLIMPO, que visa à implantação de uma nova linha automatizada para fabricação de cestos de aço inoxidável destinados a lavadoras de roupas com eixo vertical (top load). A proposta integra tecnologias de ponta em automação, controle de qualidade e segurança do trabalho, alinhadas às diretrizes da Indústria 4.0. A relevância do projeto está associada à necessidade de substituir processos obsoletos, reduzir falhas de montagem e aumentar a produtividade por meio de soluções mais robustas e flexíveis. A nova linha foi concebida com foco na modularidade, repetibilidade e capacidade de adaptação a diferentes modelos de cestos, promovendo ganhos em eficiência energética, ergonomia e rastreabilidade dos produtos.

Este trabalho tem como objetivo principal apresentar um estudo de caso técnico sobre a concepção, especificação e benefícios esperados da nova máquina de fabricação de cestos. Para isso, serão explorados o layout da linha, os postos de trabalho, os critérios de desempenho (KPIs), os requisitos de qualidade e as soluções técnicas adotadas.

Como objetivos específicos, pretende-se: (i) descrever o fluxo produtivo e o detalhamento das estações da nova linha; (ii) identificar os principais requisitos críticos de qualidade, segurança e desempenho; e (iii) analisar os resultados esperados em termos de produtividade, confiabilidade e flexibilidade do sistema.

A abordagem adotada é fundamentada na engenharia de produção, na gestão da inovação e nas boas práticas de automação industrial. O presente estudo contribui não apenas para o avanço do conhecimento técnico na área de manufatura, mas também para a consolidação de diretrizes estratégicas de engenharia aplicadas à melhoria contínua em ambientes fabris.

1.1 Justificativa

As empresas buscam constantemente se diferenciar em aspectos estratégicos para atender às exigências de seus clientes e aprimorar a qualidade de seus produtos. A implementação da melhoria contínua destaca-se como um meio eficaz para tornar os processos produtivos mais enxutos, contribuindo para a fidelização dos clientes atuais, a atração

de novos consumidores e, conseqüentemente, o crescimento sustentável da organização no mercado competitivo. Este trabalho justifica-se pela relevância de demonstrar como a aplicação da melhoria contínua torna a empresa mais eficiente, flexível e competitiva, ao agregar valor aos produtos, eliminar desperdícios e otimizar seus sistemas produtivos. Além disso, busca apresentar soluções práticas voltadas à elevação da eficiência no processo de estampagem metálica.



2 **Objetivo**

Este trabalho tem como objetivo geral demonstrar como a otimização do sistema de produção, por meio da automação industrial e da aplicação dos princípios da Produção Enxuta, pode contribuir significativamente para o aumento da produtividade, a redução de desperdícios e a elevação da competitividade da empresa. O estudo está inserido no contexto da modernização da linha de fabricação de cestos de aço inoxidável da Empresa X, como parte do projeto, que visa à implantação de soluções tecnológicas alinhadas aos conceitos da Indústria 4.0.

O objetivo final é aplicar, de forma prática, os conceitos apresentados ao longo do trabalho, por meio da elaboração de uma proposta de melhoria para o processo de fabricação metálica de componentes do segmento de linha branca. Essa proposta busca promover a padronização das operações, a eliminação de perdas e a melhoria do desempenho fabril.

Para alcançar esse propósito, os objetivos específicos são: analisar o fluxo produtivo e descrever as etapas e estações da nova linha automatizada; identificar os principais requisitos críticos relacionados à qualidade, segurança e desempenho; avaliar os impactos da automação e da Produção Enxuta sobre a confiabilidade, flexibilidade e eficiência operacional do sistema; e, por fim, propor ações de melhoria fundamentadas em dados reais do processo de estampagem metálica.



3 Revisão Teórica

Neste capítulo, são apresentados os princípios da filosofia Lean, com ênfase em seus fundamentos, pilares, ferramentas e práticas associadas à Produção Enxuta. Além disso, são abordados os conceitos teóricos relacionados ao processo de estampagem metálica, incluindo o funcionamento das prensas utilizadas na fabricação de peças e as normas regulamentadoras aplicáveis a esse tipo de equipamento industrial.

3.1 Lean Manufacturing

A Produção Enxuta (Lean Manufacturing) revolucionou a gestão da cadeia de suprimentos ao propor uma integração mais eficiente entre fornecedores e clientes, com base em cinco princípios fundamentais: valor, fluxo de valor, fluxo contínuo, sistema puxado e busca pela perfeição (WOMACK; JONES, 1998).

Esses princípios estruturam uma abordagem sistemática para eliminar desperdícios e maximizar o valor entregue ao cliente, sendo amplamente adotados em diferentes setores industriais.

(OHNO, 1997), considerado um dos principais idealizadores do Sistema Toyota de Produção (STP), desenvolveu o conceito de produção enxuta a partir da observação direta do funcionamento das fábricas da Toyota. Em suas análises no chão de fábrica, Ohno identificou ineficiências e definiu prioridades claras para reestruturar os processos produtivos.

O objetivo central do STP, segundo o autor, é alcançar a perfeição por meio da eliminação de desperdícios, aumento da produtividade e foco exclusivo em atividades que agregam valor ao produto.

(SHINGO, 1996), outro importante colaborador do desenvolvimento do STP, destaca que o sistema é fruto da combinação de diversas técnicas de produção, cujo diferencial está na capacidade de gerar mais com menos — isto é, aumentar a eficiência utilizando menos recursos.

Para Shingo, a essência do Sistema Toyota reside na eliminação sistemática de todas as formas de perdas e desperdícios que comprometem os resultados financeiros e operacionais da empresa.

O termo "Lean" surgiu no final da década de 1980, como resultado de uma extensa pesquisa conduzida pelo Massachusetts Institute of Technology (MIT) sobre a indústria automobilística global.

A pesquisa, consolidada na obra *A Máquina que Mudou o Mundo* (WOMACK; JONES; ROOS, 2004), revelou que a Toyota havia desenvolvido um modelo de gestão significativamente mais eficiente que os paradigmas ocidentais vigentes, destacando-se em áreas como manufatura, desenvolvimento de produtos e relacionamento com clientes e fornecedores.

Na época, a proposta da Toyota parecia ousada: criar um sistema de produção capaz de eliminar perdas e, simultaneamente, tornar a empresa mais competitiva que as grandes montadoras norte-americanas.

No entanto, graças à visão estratégica e à disciplina operacional de seus idealizadores, esse sistema se consolidou como um modelo de excelência global, elevando a Toyota ao status de referência em eficiência, qualidade e inovação na indústria automobilística.

3.2 O Pensamento Enxuto

Atualmente, adotar a filosofia Lean significa aplicar, de forma consistente, valores que permitam à empresa atender melhor seus clientes, com menores custos e maior eficiência.

Essa abordagem está estruturada em três pilares essenciais: Propósito, que representa o uso estratégico de recursos para satisfazer as necessidades dos clientes; Processos, que envolvem a identificação e sustentação de melhorias contínuas nos fluxos de valor primários e secundários; e Pessoas, que se refere ao engajamento de profissionais qualificados, motivados e proativos no processo de transformação organizacional (WOMACK; JONES, 1998).

É fundamental destacar que a implementação do Lean deve ser guiada pelas reais necessidades do negócio, e não pela simples adoção de ferramentas isoladas, sem conexão com os objetivos estratégicos da empresa.

O pensamento enxuto também contribui para tornar o ambiente de trabalho mais gratificante, uma vez que proporciona feedback imediato sobre os esforços realizados para converter o desperdício em valor.

Essa transparência nos resultados reforça o engajamento dos colaboradores e promove um ciclo contínuo de aprendizado e melhoria (WOMACK; JONES, 1998).

Embora originado na manufatura, o pensamento Lean evoluiu e passou a ser difundido em diversas áreas dentro das organizações, abrangendo desde o desenvolvimento de produtos até a gestão de serviços.

Essa evolução transformou o Lean em uma verdadeira filosofia de gestão e cultura empresarial, adotada por empresas de diferentes portes e setores, ainda que poucas tenham conseguido replicar com total sucesso a eficiência operacional alcançada pela Toyota.

Os resultados obtidos por empresas que internalizam a mentalidade Lean costumam ser significativos: maior capacidade de atender às expectativas dos clientes com qualidade superior, no momento certo e a preços competitivos; redução de custos; diminuição dos lead times; e, conseqüentemente, aumento da rentabilidade e sustentabilidade do negócio.

3.3 Os cinco princípios da mentalidade *Lean*

Segundo (WOMACK; JONES; ROOS, 2004), ser Lean significa adotar um modelo que facilite a disseminação e a implantação da Produção Enxuta em todos os níveis organiza-

cionais.

Para isso, os autores estabeleceram cinco princípios fundamentais, já delineados anteriormente por Ohno e Shingo, que formam a base da mentalidade enxuta: Valor, Fluxo de Valor, Fluxo Contínuo, Produção Puxada e Perfeição.

Esses princípios também são enfatizados pelo (Lean Institute Brasil, 2015), que reforça a importância de segui-los corretamente para que uma empresa se torne verdadeiramente enxuta.

Valor: É o ponto de partida da mentalidade enxuta. O valor não é definido pela empresa, mas sim pelo cliente, com base em suas necessidades e expectativas. A empresa, por sua vez, deve buscar atender a esse valor por meio de melhorias contínuas nos processos e produtos, com foco na redução de custos e no aumento da qualidade (OHNO, 1997).

Fluxo de Valor: Consiste em mapear todas as etapas da cadeia produtiva, classificando os processos em três categorias: aqueles que agregam valor ao produto final, os que não agregam valor mas são necessários para manter o processo (como controles de qualidade), e os que não agregam valor e devem ser eliminados.

Fluxo Contínuo: Refere-se à criação de um fluxo ininterrupto de produção, onde os materiais e informações circulam de forma eficiente, com redução de estoques, prazos de fabricação e tempos de espera. Isso resulta em maior agilidade no atendimento ao cliente (OHNO, 1997).

Produção Puxada: Nesse princípio, a produção é guiada pela demanda real do cliente, ou seja, os produtos são fabricados conforme são solicitados, evitando excesso de estoque e promovendo uma resposta mais ágil ao mercado.

Perfeição: É o objetivo final da Produção Enxuta. Por meio da filosofia Kaizen (melhoria contínua), a empresa busca constantemente eliminar desperdícios, aprimorar processos e se aproximar do ideal de excelência operacional.

A partir desses princípios, compreende-se que toda a organização — gestores, operadores e demais colaboradores — deve concentrar seus esforços em entregar valor ao cliente utilizando menos recursos, menos tempo e menos espaço, ao mesmo tempo em que aproxima e integra cada etapa do processo produtivo. Essa integração contínua e orientada à eficiência constitui o que se denomina Mentalidade Enxuta (WOMACK; JONES, 1998). Assim, os cinco princípios mencionados tornam-se a base conceitual do pensamento Lean, cuja essência está na eliminação de desperdícios.

Essa abordagem é essencial para empresas que desejam melhorar continuamente seus processos e se manter competitivas frente às exigências do mercado.

De acordo com (WOMACK; JONES, 1998), adotar esses princípios permite à empresa melhorar significativamente seu desempenho, oferecendo aos clientes exatamente o que desejam: atendimento eficaz, produtos de alta qualidade e prazos de entrega reduzidos.

3.4 Os sete desperdícios combatidos no *Lean*

De acordo com (SHINGO, 1996), as atividades que não agregam valor ao produto final devem ser consideradas como desperdícios e, portanto, eliminadas sempre que possível.

Esses desperdícios representam barreiras à eficiência operacional e à criação de valor para o cliente. (CORRÊA; CORRÊA, 2008) classificam os sete principais tipos de desperdício, comumente combatidos no modelo Lean, da seguinte forma: Superprodução: Consiste em produzir além da demanda real ou antes do tempo necessário, resultando no acúmulo de estoques desnecessários. Esse é considerado o mais grave dos desperdícios, pois gera uma cadeia de ineficiências subsequentes.

Defeitos: Refere-se à produção de itens com problemas de qualidade, que exigem retrabalho, inspeção ou descarte (refugo), acarretando atrasos, aumento de custos e insatisfação do cliente.

Estoque excessivo: Armazenagem de produtos além do necessário, gerando altos custos de fabricação e de inventário. Na filosofia Lean, o sistema de produção puxada elimina estoques intermediários, produzindo apenas o que é requisitado pelo cliente, no momento e na quantidade certa.

Superprocessamento: Representa a realização de atividades que não agregam valor ao produto, como o uso de ferramentas inadequadas ou etapas desnecessárias, desperdiçando matéria-prima, tempo e energia.

Transporte excessivo: Movimentações frequentes e desnecessárias de materiais ou pessoas, que aumentam os custos e o tempo de produção. O Lean busca reduzir essas perdas por meio do redesenho do layout e da adoção de tecnologias que otimizem os fluxos internos.

Espera: Refere-se ao tempo ocioso de operadores ou máquinas, geralmente causado pela ausência de materiais, informações ou instruções. Esse desperdício compromete o fluxo contínuo e a produtividade.

Movimentos desnecessários: Movimentações corporais improdutivas ou mal planejadas, decorrentes de má organização do posto de trabalho, podendo causar perda de tempo, fadiga, falhas operacionais e problemas ergonômicos.

A identificação e eliminação desses sete desperdícios são fundamentais para tornar os processos produtivos mais eficientes e orientados ao valor. Quando combinada aos cinco princípios da Produção Enxuta — valor, fluxo de valor, fluxo contínuo, produção puxada e perfeição —, essa prática fortalece a mentalidade Lean dentro da organização.

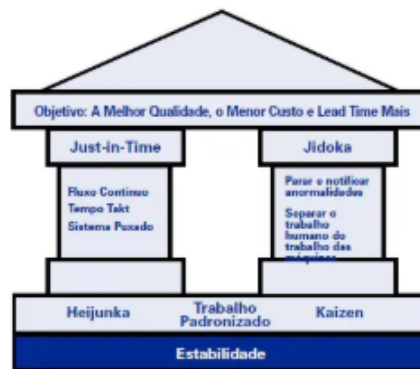
Além disso, a aplicação de ferramentas Lean específicas auxilia na operacionalização desses conceitos, permitindo que a empresa atinja seus objetivos de eliminar desperdícios, agregar valor aos produtos e aumentar sua competitividade no mercado.

3.5 A Casa do Sistema Toyota de Produção

Ao idealizar o Sistema Toyota de Produção (STP), (OHNO, 1997) tinha como objetivo principal promover melhorias significativas no sistema produtivo da empresa. Para facilitar a compreensão de sua proposta, Ohno utilizou a metáfora da "Casa do STP", representada na Figura 1, a fim de ilustrar a robustez e a solidez da estrutura produtiva que pretendia construir.

Assim como uma casa necessita de uma fundação firme e pilares resistentes, o STP foi concebido como um sistema sustentado por elementos fundamentais que garantem sua estabilidade e eficiência. O modelo é sustentado por dois pilares principais: Just-in-Time

Figura 1 – A Casa do Sistema Toyota de Produção



Fonte: Liker(2005)

(JIT) e Jidoka. O Just-in-Time refere-se à produção e entrega de produtos na quantidade exata e no momento certo, evitando estoques excessivos e atrasos no atendimento ao cliente. Já o Jidoka está relacionado à qualidade incorporada ao processo, permitindo que as máquinas e operadores interrompam a produção ao identificar anomalias, promovendo a resolução imediata de problemas e a eliminação de desperdícios (Lean Institute Brasil, 2015). Para que esses pilares funcionem de forma eficaz, é essencial que estejam apoiados em uma base sólida composta por três elementos fundamentais: melhoria contínua (Kaizen), trabalho padronizado e nivelamento da produção (Heijunka). Esses componentes proporcionam a estabilidade necessária para que o sistema produtivo opere de forma eficiente e previsível (SHINGO, 1996).

Além dos princípios estruturais, o STP conta com um conjunto abrangente de ferramentas e métodos desenvolvidos no contexto da qualidade total e da eficiência operacional. Dentre essas ferramentas, destacam-se: Kanban, PDCA, 5S, os 5 Porquês, Poka-Yoke, Takt Time, Heijunka Box, Mapeamento do Fluxo de Valor (VSM), TPM (Manutenção Produtiva Total), Cell Design e Milk Run, entre outras. Essas práticas são integradas ao sistema como instrumentos de suporte à melhoria contínua, padronização dos processos e eliminação sistemática de desperdícios.

Dessa forma, o Sistema Toyota de Produção não se resume apenas a um modelo de

manufatura, mas representa uma filosofia organizacional orientada à excelência, onde todos os elementos trabalham em sinergia para atender às necessidades dos clientes com qualidade, eficiência e flexibilidade.

3.6 *Just in Time*

De acordo com (SHINGO, 1996), para que a implantação do sistema Just in Time (JIT) seja bem-sucedida, é necessário, inicialmente, promover uma mudança comportamental e cultural dentro da organização.

Após essa etapa de conscientização, deve-se iniciar a implementação prática, baseada em treinamentos, capacitação técnica e aplicação funcional dos conceitos, com foco na mitigação de perdas ao longo do sistema produtivo.

O JIT é sustentado por diversas técnicas complementares que integram a filosofia Lean, tais como: Kaizen (melhoria contínua), 5S (organização do ambiente de trabalho), TRF (Troca Rápida de Ferramentas), TQC (Controle da Qualidade Total), TPM (Manutenção Produtiva Total) e o sistema Kanban, que auxilia no controle da produção e dos estoques de maneira visual e eficiente (OHNO, 1997).

O princípio central do JIT está na produção puxada, ou seja, a fabricação dos produtos ocorre em função da demanda real do cliente, ao contrário do sistema de produção empurrada, que se baseia em previsões e demanda de vendas. Na produção puxada, cada etapa do processo só é iniciada quando a etapa subsequente sinaliza a necessidade, evitando assim a superprodução e a formação de estoques desnecessários.

Segundo (HEIZER; RENDER, 2001), o Just in Time é uma filosofia voltada à solução contínua de problemas, na qual suprimentos e componentes são puxados pelo sistema produtivo, de forma a estarem disponíveis exatamente quando e onde forem necessários, e na quantidade exata.

Em outras palavras, o JIT busca produzir apenas o necessário, no momento necessário e na quantidade necessária, promovendo um fluxo de produção enxuto e eficiente. Com a adoção do STP e do JIT, a relação entre cliente e fornecedor também se transforma.

De acordo com (MONDEN, 1984), os fornecedores passam a entregar os materiais em pequenas quantidades e com alta frequência, alinhando-se ao ritmo de produção do cliente. Essa dinâmica evita a formação de estoques excessivos de matéria-prima e produtos em processo, favorecendo o fluxo contínuo e sincronizado com a demanda. Além de contribuir para a redução de estoques, o JIT é uma ferramenta estratégica para os gerentes de operações agregarem valor ao produto e eliminar desperdícios e variabilidades indesejáveis. Como não há excessos de inventário nem longos tempos de espera, os custos operacionais são reduzidos, e o desempenho do sistema produtivo é aprimorado. Consequentemente, o JIT oferece suporte essencial a estratégias de resposta rápida e aumento da competitividade organizacional (HEIZER; RENDER, 2001).

3.7 Jidoka (Autonomação)

O Jidoka, também conhecido como autonomação, constitui um dos pilares fundamentais do Sistema Toyota de Produção (STP). Esse conceito refere-se à junção entre automação e autonomia, permitindo que as máquinas operem de forma inteligente e autônoma, com a capacidade de detectar anomalias e interromper automaticamente o processo sempre que for identificado um problema. Como destaca (OHNO, 1997), trata-se da separação entre homem e máquina, onde o operador deixa de exercer funções repetitivas e passa a atuar de forma mais estratégica no controle da qualidade e resolução de problemas.

Embora frequentemente confundido com automação convencional, o conceito de Jidoka vai além da simples mecanização. No contexto do STP, a autonomação também se aplica a linhas de produção manuais, sendo mais próxima da ideia de autonomia inteligente do que da automação propriamente dita. O objetivo central é impedir a geração e propagação de defeitos, promovendo a qualidade na fonte e interrompendo imediatamente o processo ao menor sinal de falha (OHNO, 1997).

A autonomação pode ser entendida como um sistema de controle autônomo de qualidade, onde operadores e máquinas compartilham a responsabilidade pela identificação e correção de problemas. Um dos recursos amplamente utilizados nesse processo é o Poka-Yoke, um dispositivo à prova de erros que detecta defeitos automaticamente e contribui para evitar retrabalhos e desperdícios (MONDEN, 1984).

Essa filosofia permite que os trabalhadores tenham autonomia para parar a linha de produção sempre que identificarem anormalidades, promovendo um ambiente de melhoria contínua e aprendizado constante. Nesse sentido, o Jidoka complementa o Just in Time, impedindo que produtos defeituosos avancem na linha de produção, eliminando desperdícios e reduzindo a superprodução. Quando ocorre uma falha, a linha é parada automaticamente, possibilitando que a causa do problema seja investigada e corrigida antes da retomada da operação.

Uma das grandes vantagens do Jidoka é permitir que um único operador possa controlar várias máquinas simultaneamente, já que estas são capazes de parar sozinhas em caso de erro. Com isso, há um uso mais eficiente da mão de obra e um foco maior na prevenção de falhas, em vez da simples detecção posterior de defeitos.

Para (BLACK, 1998), a interface homem-máquina pode ser compreendida como o meio pelo qual dados e comandos são trocados entre operador e sistema automatizado. Nesse contexto, recursos visuais, como gráficos e painéis de controle, tornam-se ferramentas eficazes de comunicação, facilitando a detecção e interpretação de anormalidades em tempo real.

(SHINGO, 2000) complementa essa visão ao afirmar que a autonomação é uma espécie de pré-automação, onde a inteligência do processo é aplicada de forma gradual. Segundo

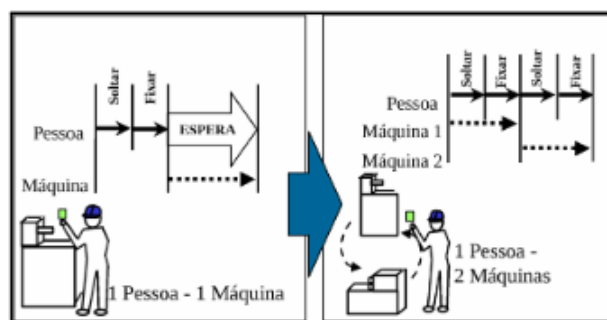
ele, há 23 estágios entre o trabalho manual puro e a automação total, sendo que 90% dos benefícios da automação completa podem ser alcançados por meio da automação, com menor custo e maior flexibilidade.

(OHNO, 1997) relata que, nas primeiras experiências com o Jidoka, as linhas de produção paravam frequentemente, justamente com o propósito de identificar e corrigir falhas. Com o tempo, à medida que os problemas eram resolvidos, o número de paradas foi reduzido drasticamente. Atualmente, as linhas da Toyota operam com rendimento próximo a 100%, praticamente sem interrupções, como destaca (GHINATO, 2004).

Portanto, a separação entre homem e máquina, característica central do Jidoka, não significa distanciamento, mas sim uma nova forma de interação: a máquina detecta o problema, e o operador atua diretamente na solução e prevenção.

Isso permite que o trabalhador desempenhe múltiplas funções com maior eficiência, conforme ilustrado na Figura 2.

Figura 2 – Separação do homem x máquina (Jidoka)



Fonte:GHINATO, (2004)



No Sistema Toyota de Produção (STP), o foco não está apenas no fato de as máquinas realizarem funções de fixação ou remoção de peças e de acionamento automaticamente. O aspecto crucial é que, antes dessas operações, as máquinas devem possuir a capacidade de detectar anomalias no processo e interromper imediatamente a produção para reparos, sem comprometer o fluxo contínuo da linha de produção. Esse mecanismo de auto detecção e parada automática é essencial para manter a qualidade do produto e evitar a propagação de defeitos, assegurando que os problemas sejam corrigidos antes que impactem negativamente a produção em larga escala.

3.8 As Ferramentas do *Lean*

Segundo (MARTINS; LAUGENI, 2005), o Sistema Toyota de Produção (STP) incorpora diversas ferramentas e técnicas que visam promover uma produção flexível e adaptável às necessidades do produto, permitindo que a empresa se torne mais enxuta (*lean*). Dentre essas ferramentas, destacam-se o Kanban, círculos de qualidade, células de trabalho ou de produção, Kaizen, 5S, manutenção planejada, entre outras. Contudo, para fins deste estudo de caso, serão abordadas apenas as técnicas fundamentais, que servem como base teórica para a análise.

3.9 TRF - Troca Rápida de Ferramenta (SMED)

A Troca Rápida de Ferramentas (SMED - Single Minute Exchange of Die) foi idealizada por (SHINGO, 1996) e representa uma ferramenta crucial dentro do Sistema de Manufatura Enxuta.

O SMED visa reduzir o tempo de setup das operações, ou seja, o tempo necessário entre a produção da última peça de um lote até a produção da primeira peça do lote seguinte. Essa técnica tem como objetivo melhorar a eficácia e a eficiência do equipamento, contribuindo para a implementação de programas de nivelamento de produção e ajudando a reduzir o inventário de produtos finais.

O SMED é um dos pilares do fluxo contínuo de produção, uma vez que contribui para a eliminação de perdas e desperdícios, aumenta a capacidade de produção das máquinas e melhora a qualidade dos produtos (SHINGO, 2000).

A definição de setup, conforme (MOURA; BANZATO, 1996), refere-se a todas as tarefas necessárias entre a conclusão da última peça de um lote e a produção da primeira peça do lote subsequente, dentro dos parâmetros normais de produtividade. Para M(MOURA; BANZATO, 1996), perda é qualquer recurso adicional de materiais, máquinas ou mão-de-obra que não agregue valor ao produto.

A eliminação dessas perdas é um passo fundamental para melhorar o processo produtivo e reduzir o tempo de setup. O setup, considerado uma perda em termos de produção, só

pode ser efetivamente reduzido quando reconhecido como tal, o que possibilita a aplicação do SMED.

O Sistema de Troca Rápida de Ferramentas (TRF) foi desenvolvido por Shingo na década de 1950, inicialmente para otimizar as prensas de estampagem na empresa Mazda da Toyo Kogyo, em Hiroshima.

O objetivo do estudo foi melhorar a eficiência das máquinas, que eram consideradas um gargalo no processo produtivo na época. Shingo propôs, então, mudanças no processo para reduzir o tempo de setup e, conseqüentemente, aumentar a eficiência das operações. (MOURA; BANZATO, 1996) explicam que o tempo de valor agregado é aquele utilizado diretamente para adicionar valor ao produto, como a produção, montagem, manutenção, treinamento e reuniões produtivas.

Já o tempo não agregado ao valor inclui atividades como tempo ocioso, estocagem excessiva, reuniões improdutivas, superprodução, setup e transporte — todas elas que não contribuem diretamente para o produto final e são consideradas desperdícios. De acordo com (SHINGO, 2000), a adoção do SMED pode gerar os seguintes benefícios: Redução dos tempos de setup, o que resulta em um aumento nas taxas de operação das máquinas; A produção em pequenos lotes que reduz significativamente os estoques de produtos acabados e a formação de estoques entre os processos intermediários; Resposta rápida às flutuações da demanda, permitindo ajustes eficientes para adaptar-se às mudanças nas exigências de modelo e nos tempos de entrega.

3.10 Gráfico de Balanceamento de Operadores (GBO))

O Gráfico de Balanceamento de Operadores (GBO) é uma ferramenta utilizada para determinar as tarefas atribuídas a cada operador em seu posto de trabalho.

As atividades executadas pelos operadores são divididas em operações que agregam valor ao produto e em operações que não agregam valor. A principal referência para o balanceamento de tarefas é o tempo Takt, que estabelece o ritmo de produção de acordo com a demanda exigida pelo cliente (Léxico Lean, 2015). A primeira etapa para criar um fluxo unitário é o balanceamento da linha de produção. Para isso, é essencial calcular o tempo Takt, que pode ser determinado pela seguinte fórmula:

$$\text{TempoTAKT} = \text{TempoDisponível} / \text{Demanda} \quad (1)$$

O Gráfico de Balanceamento de Operações (GBO) auxilia na distribuição das tarefas entre os operadores, sendo construído a partir da cronometragem de cada operador de forma separada, além de analisar toda a sequência de trabalho executada.

A linha do tempo Takt serve como referência para a alocação adequada das tarefas, garantindo que cada operador execute suas funções dentro dos parâmetros de tempo necessários para atender à demanda (Lean Institute Brasil, 2015).

3.11 *Poka-Yoke*

O termo Poka-Yoke, originado do japonês, significa literalmente "prova de erros" e refere-se a um conceito de design de processos e produtos que visa eliminar qualquer possibilidade de erro humano.

A ideia central do Poka-Yoke é que todo processo ou produto deve ser projetado de maneira a prevenir erros antes que estes ocorram. Por exemplo, em um conjunto que tenha duas possibilidades de montagem, uma correta e outra incorreta, o design deve garantir que apenas a montagem correta seja possível (MARTINS; LAUGENI, 2005).

Os sistemas Poka-Yoke incluem equipamentos automáticos de teste que podem ser reprogramados para interromper a produção imediatamente sempre que um defeito for detectado, evitando que uma peça defeituosa siga para a próxima etapa do processo. Com o uso de Poka-Yoke, as empresas podem atingir o Zero Defeito na produção, ou seja, erradicar os defeitos antes que eles impactem o produto final (MARTINS; LAUGENI, 2005).

O Poka-Yoke é uma ferramenta simples, mas extremamente eficiente, para a eliminação de falhas humanas no ambiente de trabalho. Usando dispositivos de baixo custo, que podem ser desenvolvidos diretamente no chão de fábrica, o Poka-Yoke contribui para melhorias significativas na qualidade ao prevenir falhas, reduzir quebras de equipamentos e evitar outros problemas operacionais.

Assim, ao ser implementado, o Poka-Yoke permite que a empresa avance em direção ao Zero Defeito, eliminando a necessidade de inspeções adicionais e promovendo uma produção mais eficiente e confiável shingo1996.

3.12 **Eficiência Global do Equipamento (OEE)**

De acordo com (NAKAJIMA, 1989), a Eficiência Global do Equipamento (OEE - Overall Equipment Efficiency) é um indicador-chave utilizado para medir o desempenho dos equipamentos dentro do contexto do Total Productive Maintenance (TPM).

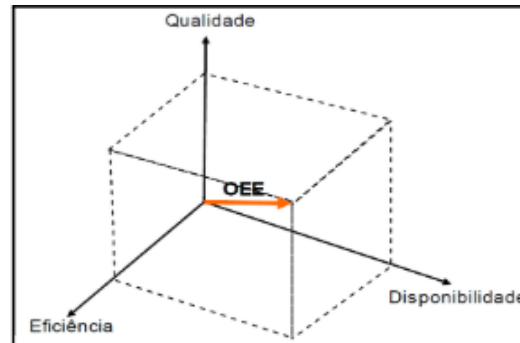
Desenvolvido inicialmente como uma métrica para quantificar não apenas o desempenho dos equipamentos, mas também a melhoria contínua dos processos produtivos, o OEE permite que as empresas analisem as condições reais de utilização de seus ativos. Com essa análise, é possível identificar áreas que necessitam de melhorias e otimizar a utilização dos equipamentos no processo produtivo.

O OEE é um indicador tridimensional, como ilustrado na Figura 3, e considera três fatores principais: Disponibilidade: Mede o tempo efetivo de funcionamento do equipamento, ou seja, o quanto do tempo planejado o equipamento está disponível para produzir.

Eficiência: Refere-se ao desempenho do equipamento durante seu tempo de operação, ou seja, a capacidade de produzir na velocidade nominal estabelecida.

Qualidade: Mede a qualidade dos produtos gerados pelo equipamento, considerando o número de produtos produzidos sem defeitos.

Figura 3 – Tridimensionalidade do OEE



Fonte:Silva, (2009, p. 2)

(NAKAJIMA, 1989) descreve o conceito do OEE de uma maneira simples através da definição de "Máquina Perfeita". Segundo ele, se durante um determinado período não houver nenhuma perda de qualquer tipo — ou seja, se o equipamento estiver sempre disponível para produção, produzir produtos sem defeitos na primeira tentativa e na velocidade máxima definida —, então o equipamento terá operado com 100% de eficácia global.

O OEE é um dos indicadores principais para medir a eficácia da aplicação do Total Productive Maintenance (TPM) e foi primeiramente sugerido por Seiichi Nakajima em seu livro Introdução à (NAKAJIMA, 1991). A fórmula do OEE, como descrita por (NAKAJIMA, 1991);, é a multiplicação da disponibilidade, eficiência e taxa de qualidade, conforme a equação abaixo:

$$OEE = Disponibilidade \times Eficiência \times Taxa\ de\ Qualidade \quad (2)$$

(NAKAJIMA, 1991) também destaca as diversas perdas que ocorrem durante o processo produtivo e que reduzem a eficiência dos equipamentos e sua capacidade de produção. Estas perdas incluem: Falhas no equipamento; Preparação e ajustes da máquina; Inatividade e paradas menores; Redução da velocidade de operação; Defeitos no processo de produção; Redução do rendimento.

O OEE é, portanto, uma ferramenta de grande importância para identificar as principais fontes de variação em um processo de manufatura.

Ele também auxilia na determinação do melhor ajuste do processo, permitindo que as empresas otimizem o desempenho de seus equipamentos e melhorem sua produção de maneira eficiente.

3.13 PFMEA

O PFMEA (Process Failure Mode and Effects Analysis) tem como objetivo auxiliar na análise de novos processos produtivos, identificando as falhas potenciais e os efeitos dessas falhas no cliente. Por meio dessa análise, é possível identificar variáveis críticas do processo que devem ser monitoradas de forma especial.

Isso resulta em controles específicos que destacam as características importantes do processo e estabelecem prioridades para ações corretivas, sempre documentando as mudanças e as razões para essas modificações no processo.

O PFMEA é uma técnica preventiva que visa definir, identificar e eliminar falhas, problemas ou erros potenciais que possam surgir durante a produção, antes que estes impactem o usuário final. A análise tem como foco as etapas de fabricação, montagem, recebimento, transporte, estocagem, identificação e entrega, sendo fundamental para garantir que as falhas sejam identificadas e tratadas antes que cheguem ao cliente.

O desenvolvimento do PFMEA começa com a identificação das etapas (ou operações) do processo, que devem ser detalhadas em seus respectivos requisitos. Esses requisitos estabelecem o que cada etapa do processo deve agregar ao produto ou serviço. Quando um requisito não é cumprido, ele se torna um modo potencial de falha.

Portanto, é crucial que esses requisitos sejam identificados em todas as etapas do processo, pois, caso algum requisito seja negligenciado, ele não será incluído no Planejamento da Qualidade.

Consequentemente, o modo de falha, os efeitos dessa falha, suas causas e os controles de prevenção e detecção necessários não serão adequadamente definidos.

Se um requisito não for considerado durante a análise do processo, não será possível determinar as etapas do processo em que ele será agregado, os potenciais efeitos de falha, as causas que contribuem para a ocorrência da falha, nem os controles que devem ser aplicados para evitar que o produto não conforme siga para as etapas subsequentes ou para os clientes. Assim, o PFMEA é uma ferramenta essencial para garantir que falhas sejam prevenidas desde as fases iniciais da produção, mantendo o controle de qualidade ao longo do processo e assegurando a entrega de produtos conformes.

3.14 Cronoanálise

A cronoanálise é uma técnica utilizada para medir o tempo e a taxa de um processo produtivo específico, realizado sob condições determinadas, com o objetivo de calcular o tempo necessário para a execução de uma tarefa de acordo com um nível de especificação pré-definido. Segundo (ALMEIDA, 2009), a cronoanálise é essencial para entender e

otimizar os tempos envolvidos em um processo. Para (BARNES, 1977), a cronoanálise pode ser definida em sete etapas principais:

- Obter e registrar informações sobre a operação e o operador em estudo;
- Dividir a operação em elementos distintos;
- Observar e registrar o tempo gasto pelo operador em cada elemento da operação;
- Determinar o número de ciclos a serem cronometrados;
- Avaliar o ritmo de trabalho do operador;
- Determinar as tolerâncias aplicáveis ao processo;
- Determinar o tempo padrão para a operação, considerando todas as variáveis envolvidas.

Segundo (BARNES, 1977), o estudo de tempos desenvolvido por Frederick Taylor foi a base para a formulação do conceito de tempo padrão, enquanto o estudo de movimentos realizado pelos Gilbreth.

contribuiu para a melhoria dos métodos de trabalho. No entanto, esses estudos, apenas após 1930, começaram a ser combinados, formando o que ficou conhecido como "estudos de tempos e movimentos", com o objetivo de aprimorar os métodos de trabalho existentes.

Com o tempo, e com a adaptação de novas ideias a esses conceitos, passou-se a enxergar não apenas a melhoria de métodos já existentes, mas a determinação do método ideal ou o mais próximo possível do ideal para ser utilizado.

O estudo de tempos e movimentos pode ser definido como um estudo sistemático dos métodos de trabalho, com o objetivo de desenvolver o método mais eficiente, padronizá-lo, determinar o tempo padrão necessário e treinar os operadores para seguir esses métodos de maneira consistente e otimizada.

3.15 Estampagem

Desde a pré-história, os seres humanos já utilizavam metais como ouro, cobre e ferro para fabricar utensílios, como armas e objetos de adorno. Esses metais eram martelados para adquirir a forma desejada (SCHAEFFER, 2004).

Os primeiros produtos de chapa metálica foram produzidos na Mesopotâmia e no Egito, por volta de 4000 a.C ... Entre os itens fabricados, destacam-se copos de ouro e prata, que eram produzidos através do processo de embutimento manual, utilizando martelos de pedra como ferramentas.

Com o passar do tempo, martelos de embutir feitos de ferro e equipados com cabos

foram desenvolvidos e começaram a ser utilizados como ferramentas, a partir de 900 a.C. (SCHAEFFER, 2004).

O desenvolvimento do processo de laminação e a fabricação das primeiras chapas finas de aço ocorreram somente no século XVIII, o que possibilitou a produção em série de peças metálicas.

No final do século XIX, surgiram as primeiras prensas e ferramentas de corte e embutimento profundo, o que marcou o início da fabricação em série de produtos estampados (SCHAEFFER, 2004). De acordo com (SCHAEFFER, 2004), o rápido desenvolvimento industrial, especialmente da indústria automobilística, no início do século XX, e o aparecimento de novas tecnologias, impulsionaram significativamente o surgimento de novas máquinas e ferramentas para os processos de estampagem de chapas.

A estampagem é um processo de fabricação mecânica no qual uma chapa plana é conformada e transformada para adquirir uma nova forma geométrica.

Segundo (CHIAVERINI, 1986), a estampagem é uma deformação plástica do metal, ou seja, uma modificação permanente da forma do material, sem que haja remoção de material. Para (SCHAEFFER, 2004), muitos produtos são fabricados por meio da estampagem de aço, como talheres, autopeças, eletrodomésticos e embalagens, impulsionando a economia industrial.

Nos dias atuais, com o auxílio de equipamentos e ferramentas especializadas, cada etapa do processo de estampagem pode ser realizada em poucos segundos e, em alguns casos, a produção ocorre em série, sem interrupções.

Esse aumento de velocidade no processo de fabricação resulta em uma economia significativa, especialmente quando comparado a outros processos de fabricação.

Os processos de estampagem são particularmente vantajosos para a produção em grande escala, permitindo a fabricação de grandes quantidades de peças com alta eficiência e baixo custo unitário (YOSHIDA, 1979).

3.16 Tipos de Estampagem

No contexto da estampagem, a conformação da peça é determinada pelo tipo de ferramenta utilizada, que pode variar conforme a geometria da ferramenta, matriz ou molde.

O processo de estampagem pode envolver uma ou várias operações para transformar uma chapa metálica em um produto final. As operações de estampagem podem ser divididas em duas grandes categorias: operações de corte (que envolvem a separação total ou parcial do material) e operações de deformação (onde não há remoção de material, apenas alteração na geometria da peça).

A seguir, são apresentados os principais tipos de estampagem.

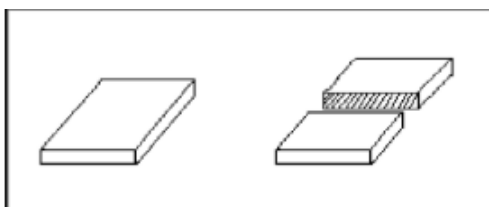
3.16.1 Corte

O corte é uma das operações mais básicas no processo de estampagem, sendo fundamental para a separação de chapas metálicas.

Nesse processo, a peça é separada de uma chapa maior mediante o impacto de um punção sobre o material, utilizando uma prensa.

O corte pode ser realizado com precisão, removendo porções do material de acordo com o contorno ou perfil determinado pela matriz da ferramenta (YOSHIDA, 1979). O processo de corte é essencial para definir o contorno das peças, como mostrado na Figura 4.

Figura 4 – Corte



Fonte: BENAZZI JUNIOR e CAVERSAN, (2012, apostila Fatec Tecnologia de Estampagem)



No corte, o material é segregado completamente, com os punções geralmente tendo formato de lâmina.

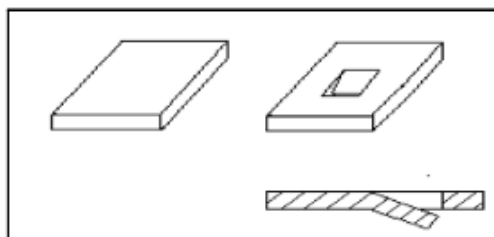
Essa operação é particularmente útil quando se deseja definir o contorno das peças, ou quando se precisa fabricar tiras ou chapas, como é comum em processos de laminação ou corte de chapas para componentes industriais.

Do ponto de vista técnico, a eficiência do corte depende da precisão do design da ferramenta e da capacidade da prensa. A utilização de tecnologias como prensas de alta velocidade e matrizes de alta precisão pode minimizar os desperdícios e melhorar a eficiência produtiva.

3.16.2 Entalhe

O entalhe é uma operação de corte em que não ocorre a separação completa do material, mas sim uma segregação parcial, o que resulta em uma leve deformação da parte recortada. Essa técnica é utilizada principalmente em aplicações onde a peça final precisa ter cavidades ou recortes específicos, mas sem a remoção completa do material. A Figura 5 exemplifica um processo de entalhe. No entalhe, a operação é aplicada para a criação

Figura 5 – Entalhe



Fonte: BENAZZI JUNIOR e CAVERSAN, (2012, apostila Fatec Tecnologia de Estampagem)

de aberturas e cavidades em peças sem alterar significativamente a integridade estrutural do material.

Em geral, os entalhes são realizados em peças que exigem funções estéticas, como ventilação ou troca de calor, como em gabinetes de equipamentos, ou quando são necessários recortes específicos para montagem em sistemas mecânicos.

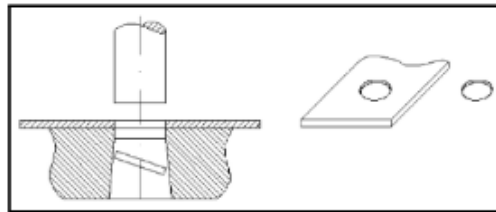
O processo de entalhe pode ser otimizado com o uso de matrizes de precisão e o controle adequado de temperatura e velocidade de prensagem para garantir a qualidade do produto final.

3.16.3 Puncionamento

O puncionamento envolve a remoção de uma parcela do material, com base na geometria da matriz e do punção da ferramenta. O processo ocorre por impacto, onde o punção perfura a chapa metálica, removendo a porção correspondente ao furo desejado.

Como ilustrado na Figura 6, o puncionamento é amplamente utilizado para criar furos e aberturas em diversas aplicações, desde componentes automotivos até eletrônicos.

Figura 6 – Puncionamento



Fonte: BENAZZI JUNIOR e CAVERSAN, (2012, apostila Fatec Tecnologia de Estampagem)

Neste processo, o material removido é segregado do restante da peça, sendo descartado como refugo (cavaco).

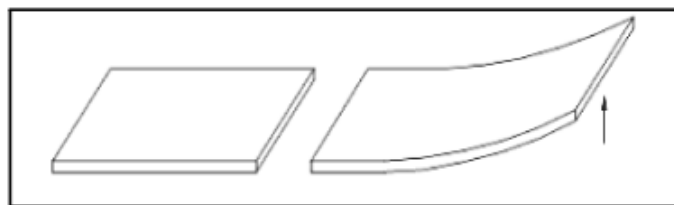
O puncionamento é uma operação crucial quando se deseja produzir furos precisos em peças, como em autopeças, embalagens metálicas e outros componentes industriais.

A precisão do diâmetro do furo e a qualidade da superfície do furo dependem do tipo de punção utilizado, da pressão aplicada e da velocidade de operação. Técnicas modernas, como o uso de punções com revestimento especial, podem aumentar a vida útil da ferramenta e melhorar a qualidade do furo, reduzindo a necessidade de retrabalho.

3.16.4 Dobra

A dobra é um processo de estampagem onde uma chapa plana é deformada permanentemente através do uso de uma prensa e uma ferramenta chamada estampo de dobra (YOSHIDA, 1979). Esse processo é utilizado para modificar a orientação da chapa, criando ângulos e geometrias específicas, como mostrado na Figura 7. A dobra gera uma

Figura 7 – Dobra



Fonte: BENAZZI JUNIOR e CAVERSAN, (2012, apostila Fatec Tecnologia de Estampagem)

deformação plástica na peça, alterando a sua forma sem remoção de material. Este processo é utilizado para criar peças com geometrias complexas, como componentes de caixas, gabinetes ou estruturas metálicas, que necessitam de dobras precisas para o encaixe de outras peças ou para garantir a integridade estrutural da peça.

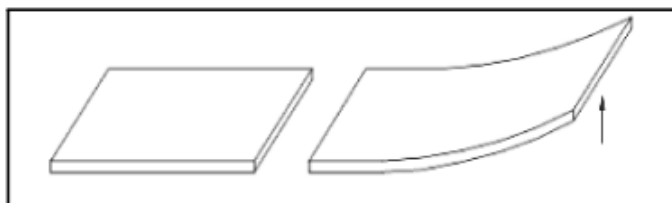
A dobra exige controle rigoroso do raio de curvatura e da força aplicada durante o processo. O controle desses parâmetros é essencial para evitar trincas ou falhas no

material, especialmente quando se trabalha com chapas finas ou materiais com baixa ductilidade.

3.16.5 Repuxo

O repuxo é uma operação de conformação onde uma chapa metálica é transformada em um recipiente ou peça de formato complexo, como canecas, caixas ou tubos, sem alteração significativa de espessura. A Figura 8 exemplifica a aplicação do repuxo em uma chapa metálica.

Figura 8 – Dobra



Fonte: BENAZZI JUNIOR e CAVERSAN, (2012, apostila Fatec Tecnologia de Estampagem)

Durante o processo de repuxo, a chapa é deformada até atingir a forma desejada, com a espessura do material sendo mantida. A força aplicada no repuxo atinge o limite plástico do material, resultando em uma deformação permanente. O repuxo é usado principalmente para gerar relevés e formas complexas em peças, sendo comum em indústria automobilística, eletrodomésticos e embalagens.

A qualidade do repuxo depende de fatores como a forma de punção, a matriz utilizada e a pressão aplicada. Processos de repuxo bem executados garantem a uniformidade da espessura e a qualidade dimensional da peça, sem comprometer sua resistência mecânica.

3.17 Ferramentas

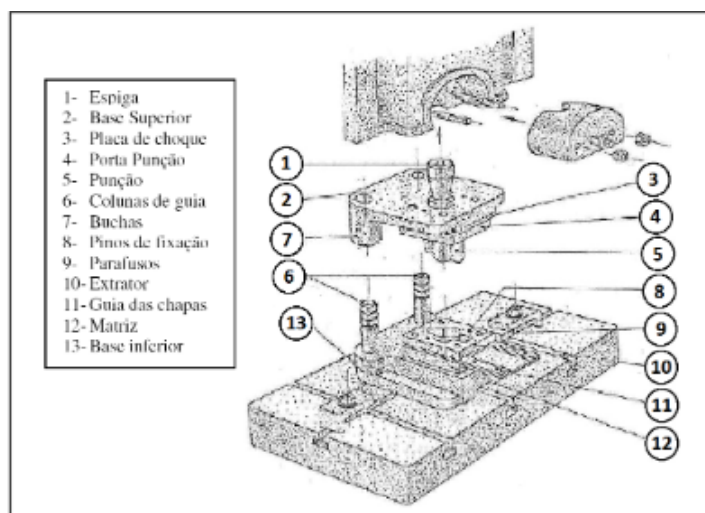
De acordo com o Anexo VIII da ([Ministério do Trabalho e Emprego \(Brasil\), 2015](#)), ferramentas, ferramental, estampos ou matrizes de estamparia são elementos fixados no martelo e na mesa das prensas e equipamentos similares, com a função de corte ou conformação de materiais. Essas ferramentas podem ser manuais ou automatizadas, dependendo da aplicação, e são projetadas para garantir a precisão e a eficiência durante o processo de estampagem.

As ferramentas de estampagem metálica são compostas por vários componentes fundamentais, que desempenham papéis específicos para garantir a precisão e a qualidade da peça estampada. Esses componentes incluem a base inferior e superior, espigas, placa de

choque, colunas de guia, guias de chapa, pinos de fixação e, principalmente, as matrizes e punções, que são responsáveis pela formatação final da peça.

A Figura 9 ilustra alguns componentes padrões encontrados em uma prensa de estampagem.

Figura 9 – Componentes de estampo



Fonte: BENAZZI JUNIOR e CAVERSAN, (2012, p. 5, Fatec)

Os estampos são compostos por diversas partes, sendo a base uma das mais importantes, pois é nela que o estampo é montado. A base facilita a centralização correta do miolo do estampo, garantindo que o processo de estampagem ocorra com precisão.

Além disso, as bases também proporcionam a localização exata para o trabalho de conformação ou corte durante o processo. A bucha guia é um componente essencial que trabalha em conjunto com as colunas guias, as quais são responsáveis pelo deslocamento do estampo (base superior) sobre a parte fixa (base inferior).

Esse movimento permite que a ferramenta se mova com precisão e sem desvio, o que é crucial para a produção de peças com alta qualidade e exatidão (ALVAREZ; SOLER, 1966). A precisão das ferramentas de estampagem está diretamente relacionada à sua qualidade de fabricação e manutenção.

As matrizes e punções devem ser projetadas de acordo com as especificações do produto final, e sua vida útil pode ser otimizada com a aplicação de técnicas adequadas de manutenção preventiva e uso de materiais de alta durabilidade.

As ferramentas também devem ser ajustadas conforme a tolerância dimensional exigida para garantir que o processo de estampagem seja eficiente e o produto final esteja dentro das especificações.

3.18 Prensas

As prensas são máquinas utilizadas para a execução do processo de estampagem, onde o movimento do martelo (ou punção) é gerado por um sistema hidráulico, pneumático ou mecânico.

Além do martelo, a estrutura da prensa também é composta por guias verticais e uma mesa para a fixação das ferramentas de estampagem, garantindo precisão e estabilidade durante o processo.

As prensas mecânicas são normalmente empregadas em operações que envolvem cargas pequenas ou médias de trabalho.

O funcionamento desse tipo de prensa se baseia em um movimento rotativo gerado por um motor, volante ou eixo, que é então convertido em movimento linear por meio de bielas, manivelas, alavancas ou fusos.

Os principais tipos de prensas mecânicas incluem: balancim, fricção, excêntrica, vira-brequeim e rótula, cada um com características específicas para diferentes tipos de aplicação, dependendo da natureza e complexidade da operação.

Por outro lado, as prensas hidráulicas são projetadas para suportar altas cargas de trabalho, com o martelo movido por um sistema hidráulico.

Uma das grandes vantagens das prensas hidráulicas é a regulagem precisa da pressão de trabalho, que é ajustada em função da pressão do sistema hidráulico, permitindo maior controle sobre a força aplicada e, conseqüentemente, maior flexibilidade para a execução de diferentes tipos de operações de estampagem.

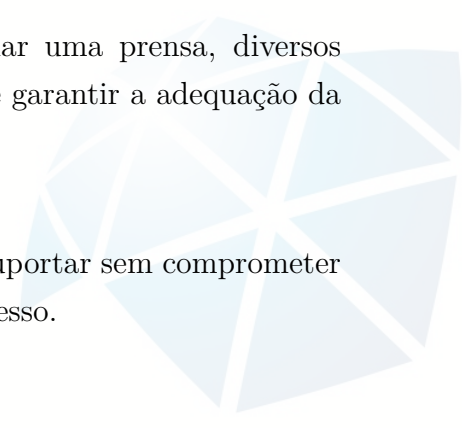
Essa capacidade de ajustabilidade torna as prensas hidráulicas ideais para processos mais complexos e para a produção em série, especialmente quando a precisão e a capacidade de adaptação da máquina são essenciais.

As prensas pneumáticas, em geral, são de menor porte e funcionam através de atuadores pneumáticos. Esse tipo de prensa é mais comum em operações com menores exigências de carga, sendo adequado para processos que não demandam a mesma força ou capacidade de carga das prensas hidráulicas, mas que ainda assim exigem rapidez e precisão no movimento.

Considerações para a Escolha de uma Prensa Ao selecionar uma prensa, diversos fatores técnicos e operacionais devem ser considerados, a fim de garantir a adequação da máquina ao tipo de operação que será realizada.

Os principais fatores a serem avaliados incluem:

- Carga máxima: Capacidade de carga que a prensa pode suportar sem comprometer sua operação, garantindo a segurança e a eficácia no processo.



- Tipo de trabalho: Se será um processo manual, progressivo ou outro, pois isso impacta na escolha do tipo de prensa e em seus sistemas de alimentação e operação.
- Percursos: Distância percorrida pelo martelo durante o ciclo de estampagem, que pode influenciar na eficiência e na produtividade do processo.
- Distância máxima e mínima entre mesa e martelo: Essencial para determinar a capacidade de conformação da peça e as limitações de altura ou profundidade das operações realizadas.
- Potência do motor: Determina a capacidade de operação da prensa, sendo fundamental para assegurar que a máquina possua a força necessária para as operações exigidas.
- Dimensões da mesa: A mesa deve ser compatível com as ferramentas e peças a serem manipuladas, proporcionando estabilidade e segurança durante o processo.
- Especificações do fabricante: Os fabricantes geralmente fornecem requisitos específicos para as fundações e o ambientalismo da instalação, considerando o peso da máquina, a vibração durante a operação e a necessidade de isolamento para otimização do desempenho e segurança.

A escolha da prensa ideal dependerá, portanto, da análise detalhada dessas características, alinhando as necessidades do processo de estampagem com as especificações técnicas da máquina, garantindo eficiência operacional e qualidade do produto final.

3.18.1 Prensas Progressivas

As prensas progressivas são frequentemente chamadas de estampas de segmentos ou estampas de segmentos, devido à sua capacidade de realizar uma série de operações sequenciais em uma única passagem de material.

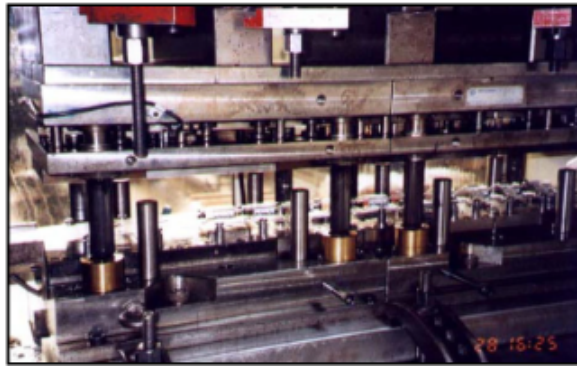
Elas são amplamente utilizadas para fabricação em série, especialmente em processos de alta produtividade.

Nesse tipo de operação, a matéria-prima geralmente é fornecida em bobinas, o que contribui para a maior eficiência e produtividade em comparação com prensas manuais, que são alimentadas por chapas individuais (MEROZ; CUENDET, 1980). As estampas progressivas funcionam operação após operação, sendo que as peças permanecem fixadas à tira de material, podendo ser unidas por um ou dois lados, ou até mesmo serem a própria tira. O número de operações pode variar, podendo incluir desde duas operações até várias dezenas.

Essas operações podem envolver enrolamento, corte, dobra, repuxo e até mesmo montagem de peças. O avanço da tira é garantido pelo dispositivo de alimentação da prensa, que pode utilizar facas de avanço sobre a estampa ou alimentadores automáticos sobre a

prensa, dependendo do sistema de alimentação utilizado (MEROZ; CUENDET, 1980). A Figura 10 ilustra um exemplo de estampo progressivo.

Figura 10 – Estampo Progressivo



Fonte: Apostila FATEC – Tecnologia de Estampagem (2012, p.64)

O sistema de alimentação em prensas progressivas envolve três equipamentos principais que ajudam a alimentar a matéria-prima de maneira precisa: o desbobinador, o endireitador e o alimentador, como mostrado na Figura 11.

Figura 11 – Sistema de Automação na Estampagem Progressiva



Fonte: Apostila FATEC – Tecnologia de Estampagem (2012, p.65)



Desbobinador: Esse equipamento tem a função de desenrolar a bobina de material a ser estampado.

O núcleo da bobina é colocado em seu mandril, e a expansão das castanhas permite fixá-la de maneira segura. Durante o processo, a velocidade do mandril é sincronizada com o passo do alimentador, garantindo que o material seja alimentado na sequência correta. A Figura 12 demonstra um modelo de desbobinador.

Figura 12 – Desbobinador



Fonte: Apostila FATEC - Tecnologia de Estampagem (2012, p.66)



Endireitador de Chapas: Esse equipamento é utilizado no processamento de materiais contínuos em fitas.

Sua principal função é alinhar a fita da bobina e exercer pressão considerável para remover imperfeições na superfície do material, eliminando as variações de espessura e garantindo que a bobina seja alimentada de maneira consistente na prensa. A Figura 13 apresenta um exemplo de endireitador.

Figura 13 – Endireitador



Fonte: Apostila FATEC - Tecnologia de Estampagem (2012, p.67)

Alimentador: O alimentador é o dispositivo responsável por movimentar o material, enviando-o à ferramenta de estampagem de acordo com o passo da bobina. O passo é uma característica de cada ferramenta e está diretamente relacionado à geometria da peça a ser fabricada.

Em cada troca de ferramenta, é necessário ajustar a alimentação para garantir que o material avance corretamente durante o ciclo de estampagem. A alimentação precisa ser sincronizada com os movimentos do martelo na prensa, de modo que a alimentação ocorra no momento exato, quando o martelo atinge o ponto morto superior de seu ciclo. A Figura 14 mostra um modelo de alimentador.

Figura 14 – Alimentador



Fonte: Apostila FATEC - Tecnologia de Estampagem (2012, p.67)

Esse sistema de alimentação automatizado garante que a produção seja contínua e eficiente, aumentando significativamente a capacidade de produção das prensas progressivas e minimizando a necessidade de intervenção manual, o que resulta em uma produção mais rápida e precisa.

3.18.2 Norma Regulamentadora no Trabalho em Prensas

De acordo com o Ministério do Trabalho e Emprego (2015), as Normas Regulamentadoras (NR) são normas elaboradas com o objetivo de promover a saúde e a segurança no ambiente de trabalho. Essas normas devem ser rigorosamente observadas para garantir a integridade dos trabalhadores.

A NR que regula as atividades relacionadas ao uso de prensas é a NR-12, especificamente no que diz respeito ao trabalho em zonas de prensagem. As exigências de segurança para essas atividades estão descritas no Anexo VIII da referida norma.

Segundo a ([Ministério do Trabalho e Emprego \(Brasil\), 2015](#)), os sistemas de segurança nas zonas de prensagem devem ser adequados e atender aos seguintes requisitos:

- Enclausuramento da zona de prensagem: A zona de prensagem deve ser enclausurada, com frestas ou passagens projetadas de forma que não permitam o ingresso dos dedos ou mãos nas zonas de perigo. Isso garante que o operador esteja protegido contra acidentes durante o ciclo de estampagem.
- Ferramenta fechada: As ferramentas devem ser fechadas de maneira que o par de ferramentas (matriz e punção) esteja isolado, de modo a impedir o ingresso das mãos ou dedos nas áreas de risco. O enclausuramento adequado da ferramenta evita o contato direto com as zonas perigosas.
- Cortina de luz com redundância e autoteste: Deve ser instalada uma cortina de luz com redundância e autoteste, que será monitorada por uma interface de segurança. A cortina de luz deve ser adequadamente dimensionada e instalada para garantir que o operador tenha tempo suficiente para se afastar da zona de risco antes do acionamento da prensa.

No caso de necessidade de enclausuramento removível, a ([Ministério do Trabalho e Emprego \(Brasil\), 2015](#)) exige que haja um intertravamento com a prensa, o que significa que a máquina não pode operar sem a proteção adequada. Essa medida visa garantir que a proteção esteja sempre no lugar antes de qualquer operação ser realizada. Para as prensas de acionamento manual, a ([Ministério do Trabalho e Emprego \(Brasil\), 2015](#)) estabelece que o acionamento da prensa deve ser feito por meio de acionamento bi-manual ou pedal, com uma distância segura entre o operador e a operação. O número de comandos bi-manuais ou pedais de acionamento deve ser equivalente ao número de operadores presentes na máquina. Esse tipo de comando assegura que o operador não possa acionar a máquina sem estar em uma posição segura.

Além disso, a ([Ministério do Trabalho e Emprego \(Brasil\), 2015](#)) estabelece que dispositivos de parada de emergência devem estar presentes nas prensas. Esses dispositivos

devem garantir a parada segura do movimento da máquina ou equipamento, interrompendo imediatamente qualquer operação em caso de risco iminente. O sistema de parada de emergência da prensa deve ser interligado com o sistema de parada dos equipamentos periféricos, como desbobinadores, endireitadores e alimentadores.

Isso assegura que o acionamento do dispositivo de parada de emergência em qualquer um desses equipamentos resulte na parada imediata de todos os sistemas interligados.

A NR-12 também exige que, quando for necessário o acesso à área da mesa da prensa para troca de ferramentas ou manutenção, a prensa deve possuir um sistema mecânico que suporte o peso do martelo e da parte superior da ferramenta, travando o martelo de forma segura. Esse mecanismo de segurança impede o movimento do martelo enquanto o operador estiver realizando qualquer tarefa de manutenção ou troca de ferramentas.

A ([Ministério do Trabalho e Emprego \(Brasil\), 2015](#)) também especifica requisitos para a construção e o uso das ferramentas de estampo. Essas ferramentas devem atender às seguintes condições:

- Ser construídas de forma que não haja a projeção de material, evitando a dispersão de partículas ou fragmentos que possam colocar em risco a integridade dos operadores ou de outras partes do sistema.
- Ser locadas em locais seguros, destinados exclusivamente à utilização das ferramentas de estampo, garantindo que não haja interferência com outras operações ou riscos adicionais
- Ser fixadas adequadamente para operação, utilizando garras ou outros sistemas de fixação projetados para garantir a estabilidade e segurança das ferramentas durante o processo.
- Não oferecer riscos à saúde e segurança dos operadores, sendo projetadas e mantidas de forma a evitar acidentes e a garantir o bom funcionamento das operações.



4 Metodologia

A metodologia adotada neste trabalho fundamenta-se na estratégia de estudo de caso, uma vez que se propõe a analisar de forma aprofundada um projeto real de implantação industrial na Empresa X. Conforme argumenta (YIN, 2015), o estudo de caso é especialmente indicado para a compreensão de fenômenos complexos inseridos em seus contextos reais, sendo amplamente utilizado em pesquisas aplicadas nas áreas de engenharia, manufatura e gestão de operações.

Esta pesquisa é classificada como aplicada, pois tem como propósito gerar conhecimento voltado à resolução de problemas práticos, com aplicação direta nos processos produtivos da organização.

A abordagem metodológica é predominantemente qualitativa, buscando interpretar as decisões técnicas, os requisitos funcionais e os impactos esperados decorrentes da implementação da nova máquina automatizada para fabricação de cestos.



5 Estudo do Caso

5.1 Procedimentos Metodológicos

O desenvolvimento do estudo envolveu a utilização de diferentes procedimentos metodológicos, descritos a seguir: Análise documental: levantamento e interpretação de documentos técnicos fornecidos pela Empresa X, incluindo especificações da RFQ (Request for Quotation), diretrizes do BoP (Best of Practices), desenhos técnicos e fluxogramas de processo;

Benchmarking técnico: comparação entre a nova linha automatizada e outras linhas produtivas internas, com o intuito de identificar boas práticas, oportunidades de padronização e inovações aplicáveis;

Entrevistas com time multifuncional: reuniões de trabalho realizadas com profissionais de diferentes áreas — como manufatura, operação, design, marketing e manutenção — diretamente envolvidos no projeto OLIMPO, com foco na discussão de pontos ligados ao PFMEA e às situações observadas no dia a dia.

Análise de requisitos críticos: identificação e avaliação dos requisitos de desempenho, qualidade e segurança essenciais para o funcionamento eficiente e confiável da nova linha;

Levantamento e avaliação de KPIs: definição dos principais indicadores de desempenho esperados, como OEE (Overall Equipment Effectiveness), MTBF (Mean Time Between Failures), MTTR (Mean Time to Repair) e Cpk (Índice de Capacidade do Processo), utilizados como base para a análise de eficácia da solução proposta.

5.2 Justificativa Metodológica

A escolha pela estratégia de estudo de caso com abordagem qualitativa justifica-se pela natureza exploratória e multidisciplinar do projeto OLIMPO, que envolve a integração de diversos sistemas automatizados, especificações técnicas rigorosas e processos interdependentes.

De acordo com (GIL, 2002), o estudo de caso permite uma investigação aprofundada de objetos singulares, oferecendo subsídios relevantes tanto para o aprimoramento profissional quanto para generalizações analíticas no campo da engenharia de produção.

Além disso, a combinação entre análise documental e entrevistas com especialistas permite contextualizar as decisões do projeto, conferindo maior robustez à pesquisa e ampliando sua contribuição tanto para o meio acadêmico quanto para o ambiente corpo-

rativo.

5.2.1 Empresa X

Em conformidade com a política de confidencialidade da organização, o nome e os dados específicos da empresa onde este estudo foi realizado serão preservados. Para fins deste trabalho, a empresa será referida como Empresa X.

A Empresa X é uma multinacional do setor de linha branca, com foco na produção de eletrodomésticos residenciais. A unidade analisada neste estudo é uma das maiores plantas industriais da companhia no Brasil, sendo responsável por atender tanto o mercado interno quanto o externo com alto volume de produção anual.

A unidade conta com aproximadamente 3.000 colaboradores, distribuídos entre áreas administrativas e operacionais. As atividades produtivas são realizadas em turnos contínuos, com estrutura voltada para garantir eficiência e flexibilidade nos processos fabris.

O parque industrial ocupa uma área total de cerca de 315.000 m², onde estão alocados os setores de fabricação, montagem, armazenagem, expedição e áreas de apoio técnico. A capacidade produtiva da unidade gira em torno de 1,3 milhão de fogões por ano, posicionando-a como referência em produtividade no setor.

O foco deste estudo está direcionado à área de fabricação metálica, com ênfase no setor de estampagem de peças — uma etapa essencial para a conformação dos componentes metálicos utilizados nos produtos finais.

5.2.2 Motivo

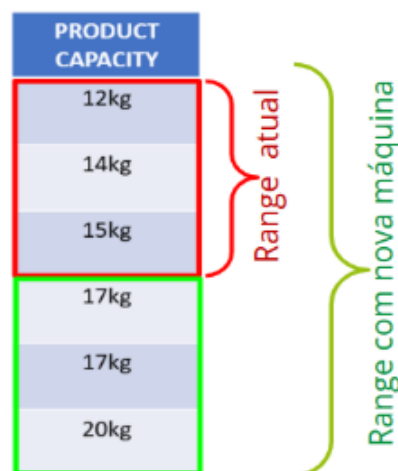
A crescente demanda do mercado por eletrodomésticos, especialmente máquinas de lavar, tem pressionado as indústrias do setor a buscarem soluções que garantam maior flexibilidade e capacidade produtiva.

No caso da empresa X, que atua no segmento de linha branca, foi realizada uma análise de mercado que evidenciou um aumento significativo no consumo de máquinas de lavar, impulsionado tanto pela retomada do consumo pós-pandemia quanto pela diversificação das necessidades dos consumidores.

Além do aumento da demanda, observou-se também uma tendência clara de transformação dos produtos ofertados, conforme estabelecido no roadmap de desenvolvimento da empresa.

Esse roadmap, que projeta os lançamentos futuros, aponta para a necessidade de maior flexibilidade produtiva, com equipamentos capazes de atender a diferentes modelos e configurações de cestos — um componente central nas máquinas de lavar.

Figura 15 – FLEXIBILIZAÇÃO: LARGURAS DAS BOBINAS x DIÂMETRO CALANDRA



Próprio Autor.

A partir desse cenário, foi conduzido um estudo interno com foco na capacidade instalada da fábrica. Os resultados indicaram que, com a estrutura atual, não seria possível absorver o crescimento projetado na demanda, tampouco atender à diversificação exigida pelos futuros produtos.

Tal limitação comprometeria a competitividade da empresa no médio e longo prazo.

Diante disso, decidiu-se pela aquisição de uma nova máquina de cesto, capaz de aumentar a capacidade produtiva e permitir a fabricação de diferentes tipos de cestos de forma mais ágil e eficiente.

A implementação deste novo equipamento representa um passo estratégico para a empresa, alinhando a capacidade produtiva ao planejamento de produtos futuros e garantindo a continuidade do atendimento ao mercado de forma competitiva.

5.2.3 Descrição dos Postos de Trabalho da Linha de Produção

A linha de produção contemplada no projeto OLIMPO foi concebida com base em uma lógica sequencial e estruturada, orientada pelos princípios do fluxo contínuo, da eliminação de desperdícios e do balanceamento da carga produtiva.

Esses fundamentos são amplamente abordados na literatura da engenharia de produção e sustentados pelos pilares do sistema Lean Manufacturing, conforme descrito por (SLACK et al., 2019) e (WOMACK; JONES; ROOS, 2004). Cada posto de trabalho ao longo da linha foi projetado para desempenhar uma função específica dentro do processo produtivo, respeitando a sequência lógica das operações

necessárias para a fabricação dos produtos. Essa divisão funcional visa assegurar a fluidez da produção, reduzir gargalos e aumentar a eficiência global do sistema.

A concepção dos postos seguiu critérios de ergonomia, segurança do trabalho e padro-

nização operacional.

Além disso, buscou-se maximizar o aproveitamento dos recursos humanos e tecnológicos, promovendo um ambiente produtivo equilibrado e de alta performance.

A automação foi aplicada de maneira estratégica, de forma a complementar o trabalho humano, reduzir a variabilidade dos processos e garantir a repetibilidade e a qualidade dos produtos finais.

Do ponto de vista do balanceamento de linha, foram realizadas análises de tempos e métodos para distribuir equitativamente as tarefas entre os postos, minimizando tempos ociosos e evitando sobrecargas de trabalho.

Essa abordagem contribui para o aumento da eficiência operacional e facilita a identificação de oportunidades de melhoria contínua. A estrutura da linha também permite flexibilidade na alocação de recursos e na adaptação a diferentes volumes de produção, respeitando os princípios de produção enxuta. Com isso, a linha OLIMPO se torna não apenas mais produtiva, mas também mais resiliente a variações na demanda, sendo capaz de operar com alta eficiência em diferentes cenários.

Em síntese, os postos de trabalho da linha de produção do projeto OLIMPO refletem uma integração entre tecnologia, engenharia de processos e gestão de operações, com foco na excelência produtiva, na segurança dos colaboradores e na entrega de valor ao cliente.

5.2.3.1 **Materia Prima**

A fabricação de cestos é considerada uma competência central da organização. No entanto, alguns componentes como bases dos cestos, anéis de balanceamento e insumos relacionados à produção do aço não são classificados como processos essenciais de manufatura e, portanto, devem ser fornecidos à linha de fabricação por meio de fornecedores terceiros especializados.

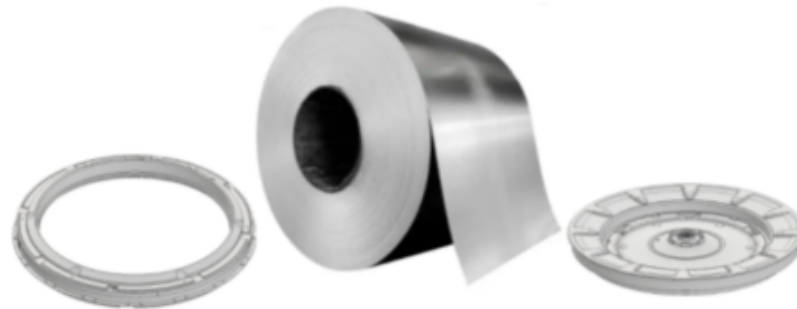
Atualmente, existem diversas configurações de linhas de fabricação de cestos em operação ao redor do mundo, muitas das quais utilizam tecnologias bastante distintas entre si.

Entre essas linhas, uma das mais recentes e completas incorpora diversas práticas reconhecidas como referência no setor industrial, sendo, por isso, amplamente utilizada como modelo de benchmarking para novos projetos de aquisição de linhas de fabricação de cestos.

Essa linha modelo adota como premissa o uso de bobinas de aço inoxidável adquiridas externamente, bem como a utilização de bases plásticas e anéis de balanceamento produzidos via injeção plástica por fornecedores qualificados.

A partir desses insumos, toda a etapa de fabricação interna é conduzida com foco na eficiência e na padronização dos processos, resultando na produção de um cesto finalizado, pronto para ser integrado à montagem do produto final.

Figura 16 – Core Items para fabricação de um cesto.



Próprio Autor.

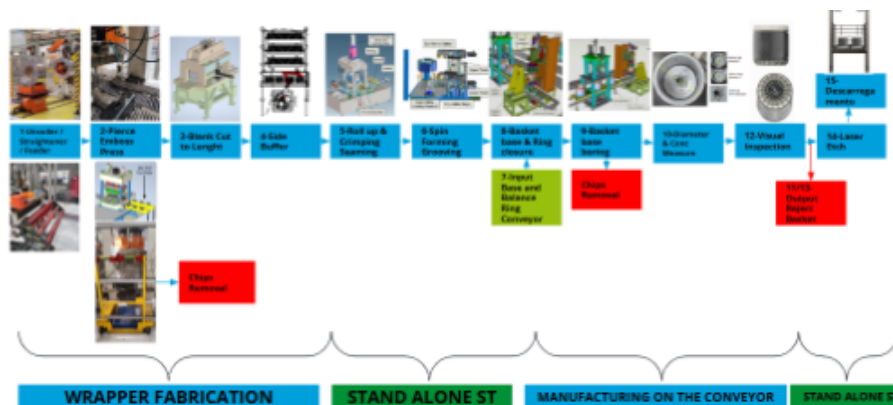
Essa abordagem serve como referência no desenvolvimento de novas linhas, orientando decisões de projeto e aquisição com base nas melhores práticas globais em termos de produtividade, flexibilidade e qualidade.

5.2.3.2 Descrição do processo.

Os principais processos de fabricação de um cesto em aço inoxidável estão representados na figura a seguir. A cadeia produtiva tem início com o fornecimento de insumos, incluindo bobinas de aço inoxidável e componentes adquiridos externamente, como bases e anéis de balanceamento.

A seguir, cada etapa do processo é detalhada individualmente, evidenciando sua função específica na transformação dos materiais em um cesto finalizado e pronto para montagem.

Figura 17 – Descrição do processo.



Próprio Autor.

5.2.3.3 Manufatura Ágil (Agile Manufacturing)

A manufatura ágil consiste na capacidade de alinhar as necessidades futuras de produtos com as características dos equipamentos disponíveis, garantindo que os ativos industriais sejam compatíveis com a evolução do portfólio ao longo do tempo.

Esse alinhamento é viabilizado por meio da análise do Roadmap de produtos e manufatura para os próximos cinco anos, permitindo que a infraestrutura fabril esteja preparada para atender tanto às exigências atuais quanto às futuras, com a integração de tecnologias já consolidadas e inovações emergentes.

Para que um equipamento seja considerado ágil, ele deve atender a quatro requisitos fundamentais:

- **Flexibilidade** : Capacidade de operar com todos os códigos e modelos de peças esperados, realizando trocas de formato (changeovers) de maneira rápida e eficiente — preferencialmente em menos de 10 minutos. Isso garante responsividade frente à variedade de modelos e demandas de produção.
- **Reconfigurabilidade**: O equipamento deve possibilitar modificações em partes específicas da linha de produção para acompanhar futuras alterações no design dos produtos (como diâmetro, comprimento, largura, raios de canto, entre outros aspectos críticos).

Além disso, deve ser possível reconfigurar etapas do processo para novos modelos ou configurações dentro de uma jornada de trabalho (até 8 horas), ou, no máximo, durante um final de semana (aproximadamente 48 horas), desde que haja o devido planejamento prévio. O custo para essa reconfiguração deve representar apenas uma fração do custo de aquisição de um novo equipamento.

- **Escalabilidade Eficiente**: A linha deve permitir um aumento significativo da capacidade produtiva com investimentos marginais em capital adicional, mantendo a eficiência operacional e a qualidade do produto. Modularidade A estrutura dos processos deve ser modular, permitindo a inserção, retirada ou bypass de etapas específicas de maneira rápida — idealmente em até um turno (8 horas) ou, no máximo, em um final de semana, com o devido planejamento.

Cada módulo deve operar de forma independente, com conexões de utilidades e sistemas de controle próprios, se comunicando com os demais por meio de uma infraestrutura digital integrada (data highway).

Além disso, os módulos devem manter a consistência de resultados independentemente do modo de operação (manual ou automatizado), conforme a necessidade de produção e viabilidade econômica local.

Sistemas de automação devem ser tratados como módulos, podendo ser integrados ou

removidos conforme necessário. Idealmente, ativos ou partes deles devem ser intercambiáveis com outras linhas semelhantes, possibilitando a produção de diferentes configurações de produto.

Deve-se evitar sistemas de transferência monolíticos ou rigidamente sincronizados, priorizando soluções descentralizadas e flexíveis.

5.2.3.4 Requisitos da Indústria 4.0

A aplicação dos conceitos da Indústria 4.0 visa a coleta automática e em tempo real de dados provenientes das máquinas e dos processos produtivos nos quais estão inseridas.

Essa abordagem permite o monitoramento contínuo de parâmetros críticos de processo (como tensão elétrica, entre outros) e indicadores-chave de desempenho (como tempo de operação, alarmes, paradas, etc.), promovendo maior controle, rastreabilidade e tomada de decisão baseada em dados.

Cada máquina ou sistema deve possuir requisitos específicos de sensores e coleta de dados, conforme sua aplicação e natureza técnica. Os dados obtidos devem atender aos seguintes critérios:

- A) Disponibilidade e Acesso: As informações devem estar prontamente disponíveis tanto no chão de fábrica quanto de forma remota, sem a necessidade de interrupção do processo produtivo.
- B) Integração com Sistemas de TI e TO: Os dados devem ser passíveis de upload e download nos sistemas de Tecnologia da Informação (TI) e Tecnologia Operacional (TO), assegurando a interoperabilidade e integração vertical da cadeia de produção.
- C) Conectividade com o Sistema MES A infraestrutura deve ser compatível com o Sistema de Execução de Manufatura (MES) regional, garantindo que a comunicação e troca de informações entre os níveis de automação e supervisão ocorra de forma eficiente.
- D) Rastreabilidade de Componentes Sempre que possível, os dados devem ser associados a peças individuais por meio de identificação única, como um código QR serializado, contendo informações como número exclusivo, data e hora de produção e linha de fabricação correspondente.
- E) Infraestrutura e Comunicação de Equipamentos Todos os CLPs (Controladores Lógicos Programáveis) e PCs industriais utilizados na coleta de dados devem estar aptos a se comunicar facilmente com os sistemas locais e regionais. Como requisito mínimo, devem possuir ao menos uma porta Ethernet disponível, compatível com IPv4+ e velocidades de 10/100/1000 Mbps. Além disso, todo o equipamento

inserido no chão de fábrica deve ser compatível com o sistema regional de gerenciamento de backup e recuperação de ativos de TO (ex.: Rockwell Asset Centre). Isso assegura a segurança dos dados e possibilita a realização automática de backups, armazenamento e recuperação de programas e configurações.

- F) Informações a Serem Coletadas A implementação prática dos conceitos da Indústria 4.0 exige a coleta dos seguintes dados, que devem ser armazenados em um banco de dados e associados ao número de série do produto via QR code: Código QR: Registro serializado com número único, data e hora da produção e linha de fabricação.

Dados de sensores de inspeção: Informações relacionadas à qualidade da solda, como largura, altura e penetração.

Altura da peça: Medições críticas conforme as especificações técnicas do projeto.
Excentricidade radial (Radial Runout): desvios angulares relevantes em relação às tolerâncias de projeto.

Essas informações devem ser registradas de forma a possibilitar a rastreabilidade ao longo do processo produtivo, permitindo a associação posterior com um QR code de nível unitário do produto final.

O uso dessa rastreabilidade robusta fornece suporte à engenharia para a identificação de populações afetadas em eventuais falhas, facilitando ações corretivas, contenções direcionadas ou, em casos extremos, recall de produtos com precisão e agilidade.



6 **Análise de resultado e discussões**

Na sequência, será detalhado o processo de fabricação, com a descrição funcional de cada estação ao longo da linha de montagem, destacando seu papel específico dentro do fluxo produtivo.

A implantação da linha automatizada para fabricação de cestos verticais representou uma solução direta para os desafios de capacidade e flexibilidade impostos pelo mercado. A análise dos resultados é apresentada em três dimensões: Estratégica (Capacidade), Operacional (Desempenho e Logística) e Tática (Qualidade).

6.1 ***Análise da estação a estação do processo de fabricação: Decoiler e Feeder Straightener***

A melhor prática para a produção de cestas de aço inoxidável é iniciar o processo com um bobina de aço, em vez de usar chapas de aço. Isso garante que a qualidade da superfície da borda prensada seja controlada internamente pela empresa X, sem depender do controle.

Além disso, a borda de uma bobina que será posteriormente soldada não pode ser danificada, pois ainda passará por um processo de corte para o comprimento desejado. Também há uma economia de custos materiais ao processar a chapa internamente, em comparação com a compra de produtos prontos.

A seguir, são apresentados os atributos obrigatórios para um sistema de decoiler feeder/straightener projetado para atender a uma linha de produção de cestas de aço inoxidável: A Figura 19 ilustra um sistema de feeder/straightener conforme as especificações.

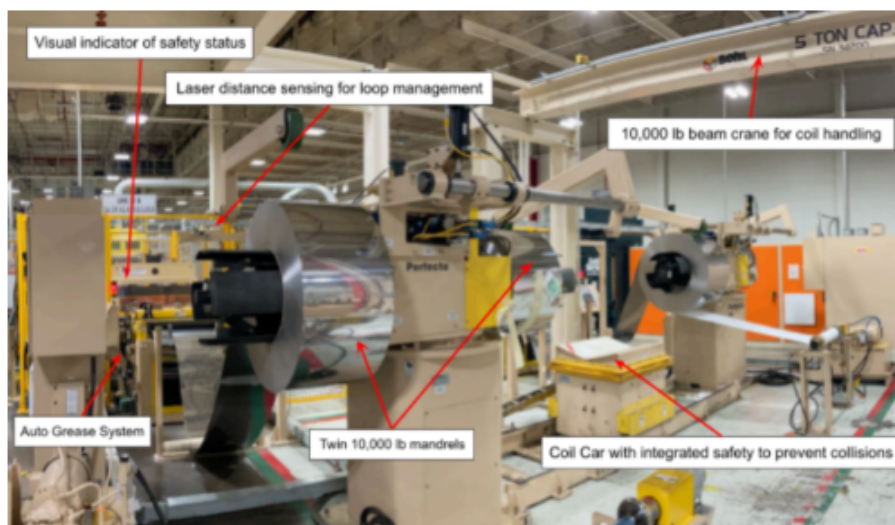
Vale notar que este sistema foi implementado como parte de um retooling e, por isso, foi necessário contornar algumas limitações de espaço.

Um layout ideal deve minimizar os riscos de tropeços e evitar a necessidade de trabalho entre os dois sistemas de decoiling independentes mostrados na figura.

O sistema ilustrado apresenta dois caminhos de decoiling independentes para permitir que as duas linhas de produção operem de forma autônoma, processando modelos diferentes, quando necessário.



Figura 18 – Atributos mandatórios para o decoiler/feeder



Próprio Autor.

6.1.1 Atributos Obrigatórios do *Decoiler/Feeder*

- Guindaste ou guincho aéreo: Para o carregamento e descarregamento das bobinas na carreta de bobinas, é recomendada uma capacidade mínima de 5 ton. O carregamento por empilhadeira pode representar riscos à segurança dos operadores e danos às bobinas.
- Desbobinador com cabeçote duplo: Sistema que permite o recarregamento da bobina no decoiler enquanto o outro mandril alimenta a linha de produção. A capacidade mínima recomendada por lado é de 5 ton.
- Feeder/straightener com pelo menos 7 rolos: Este sistema é responsável por achatar a bobina que entra, preparando-a para ser cortada no comprimento desejado. Ajustes servo de planicidade são preferidos, com ajuste manual por manivela sendo o mínimo aceitável. Sistemas com três rolos são proibidos.
- Sistema de lubrificação automática: O feeder/straightener deve possuir um sistema de lubrificação automática controlado pelo PLC.
- Capacidade de largura máxima: A largura máxima da bobina deve ser 25% maior do que a maior dimensão da cesta prevista para os próximos 5 anos no roadmap de lavanderia. Por exemplo, se atualmente a largura da bobina é de 400 mm e o roadmap prevê que em 2 anos será necessário usar uma largura de 500 mm, a capacidade mínima do decoiler deve ser de 625 mm.

6.1.2 Atributos Obrigatórios do *Decoiler/Feeder* - Controles Elétricos

- Mandril com motor de corrente alternada (AC) e controle VFD: O motor do mandril deve ser equipado com controle de velocidade variável (VFD) e sensor de distância a laser para gerenciamento do loop em uma linha não contínua, como uma linha de cestas que inicia e pára frequentemente.
- Carreta de bobinas com controles de segurança integrados: O sistema deve ter controles de segurança e luzes de status visuais para evitar que o operador derrube a bobina ou colida com qualquer sistema adjacente.
- Motor servo do feeder/straightener: O motor servo do feeder/straightener deve ser capaz de fornecer uma repetibilidade de ajuste de até +/- 0,1 mm (0,004 polegadas).
- Controle remoto dependente: Um controle remoto com pendant deve ser fornecido para permitir o controle manual dos mandris durante a alimentação inicial da bobina após as trocas. Este sistema deve ser intertravado para evitar que múltiplos operadores manipulem a máquina simultaneamente.
- Interface Homem-Máquina (HMI): A HMI deve estar localizada próxima à estação de trabalho e pode ser compartilhada com o restante da linha de produção.
- Entradas/Saídas (I/O) montadas na máquina: As entradas e saídas devem ser montadas diretamente na máquina, com classificação IP67. Cada bloco I/O deve estar montado a no máximo 2 metros do dispositivo que o controla. Esses blocos devem estar posicionados de forma a estarem protegidos contra quedas de peças e longe de áreas de risco de acesso

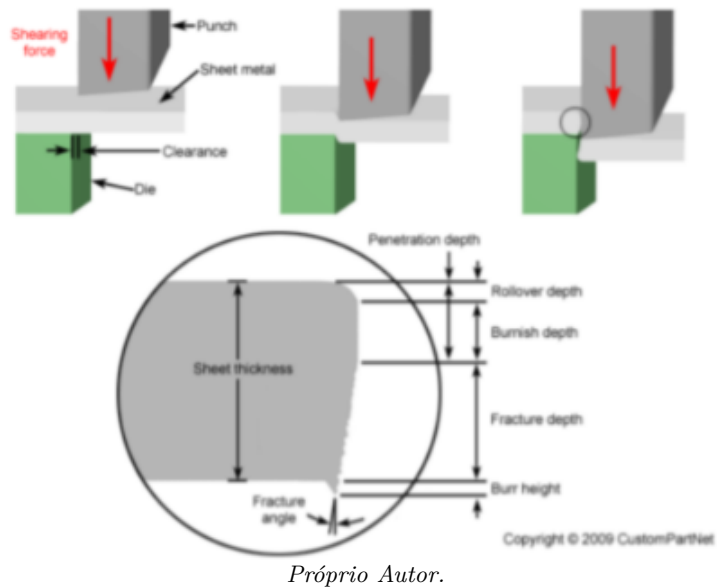
6.1.3 Estação de Corte a Comprimento

A estação de corte a comprimento é, sem dúvida, uma das mais críticas quando a soldagem é o principal método de união para transformar a chapa retangular em um cilindro.

Embora a união mecânica tenha requisitos menos rigorosos, permitindo um menor investimento em capital, ambos os métodos exigem um corte limpo, sem rebarbas.

A importância da estação de corte à comprimento está no fato de que, na estação subsequente, onde a chapa é enrolada para formar o cilindro, uma rebarba pode gerar resistência, impedindo que o cilindro atinja a posição correta para a referência do ponto de datum, ou até mesmo impedir o contato adequado entre as faces a serem soldadas. A teoria de corte com matriz é detalhada abaixo. O design adequado da matriz é essencial para minimizar a rebarba, maximizar a profundidade de alisamento e controlar o ângulo de fratura. Esses critérios de design estão listados nos atributos obrigatórios para cada processo de soldagem e união mecânica, respectivamente.

Figura 19 – teoria de corte com matriz

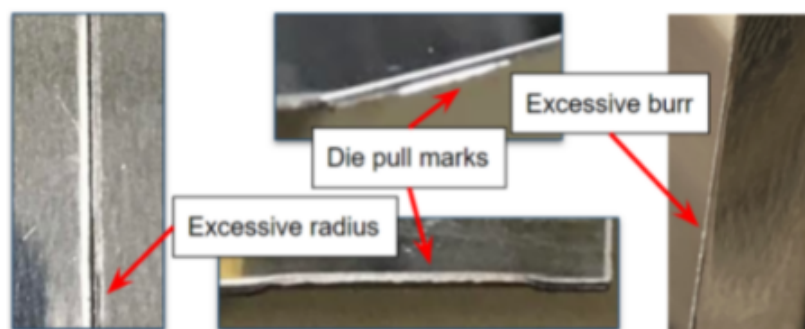


Próprio Autor.

Ao longo do ciclo de manutenção de uma matriz de corte, que é estimado em cerca de 250.000 a 350.000 operações, um modo de falha acabará se desenvolvendo, afetando o processo de soldagem ou união mecânica. Abaixo, é mostrado um exemplo de algumas das falhas mais comuns.

É evidente como e por que esses defeitos interferem nos processos de soldagem, uma vez que processos de soldagem de alta densidade energética, como laser e plasma, exigem condições de ajuste quase perfeitas ao se realizar uma solda tipo "square butt"(solda de topo).

Figura 20 – Possíveis falhas na estação de corte



Próprio Autor.

Um plano de manutenção proativo, que inclua o afiação e a substituição dos componentes desgastados antes de falharem, é uma prática recomendada e tem um impacto direto na OEE das estações subsequentes, como a de enrolamento e a de soldagem/cravação mecânica.

Além disso, ferramentas rotacionáveis devem ser projetadas sempre que possível, e

uma peça sobressalente deve acompanhar a linha no pedido inicial, especialmente para ferramentas críticas da estação de corte à comprimento.

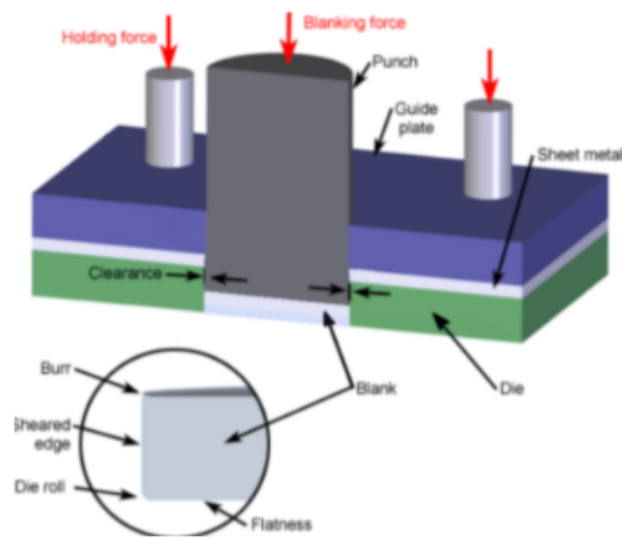
6.1.4 Impacto do *Design* da Matriz na Criação de *Blanks* Retangulares sem Rebarba

O design da matriz tem um grande impacto na capacidade de produzir blanks retangulares sem rebarba. Dois fatores essenciais a serem considerados são a deflexão e a tendência da peça de ser puxada para fora das garras à medida que o corte começa.

Esses problemas estão interligados, e um design adequado da matriz pode mitigar completamente esses modos de falha. Observe a figura abaixo. Vale destacar que uma largura controlada de material é removida em cada corte, e o punção é apoiado tanto no lado esquerdo quanto no lado direito da seção transversal.

Isso evita a deflexão do punção durante a conclusão do corte, equilibrando as forças em ambos os lados. Com a deflexão controlada, há uma redução significativa na força lateral aplicada à chapa de aço, o que poderia puxá-la para fora dos detalhes de fixação da lâmina de corte.

Figura 21 – Design da matriz



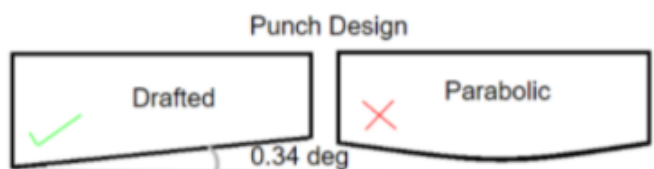
Próprio Autor.



O punção também deve ser projetado com um ângulo de inclinação para manter as forças baixas e deve ter uma forma linear, não parabólica.

O ângulo de inclinação precisa empurrar a peça para o lado do ponto de referência das características de localização, evitando que a chapa se mova durante o corte. Recomenda-se um ângulo de inclinação de $0,5^\circ$.

Figura 22 – ângulo de inclinação do Punção



Próprio Autor.

6.1.4.1 Impacto do *Design* da Matriz na Criação de *Blanks* Retangulares sem Rebarba

- Capacidade de largura da matriz: Deve ser 25 % maior que a maior largura de cesta no roadmap de 5 anos para a arquitetura de cestas.
- Corte com guilhotina: Não são permitidos cortes por guilhotina. Todas as matrizes de corte devem ter suporte em ambos os lados do punção, e uma faixa de material de 5-10 mm de largura deve ser removida e reciclada.
- Folga entre a lâmina de corte e o punção: A folga de corte deve ser de $0,00025''$ ($0,00635 \text{ mm}$) por lado, com uma folga total máxima de $0,0005''$.
- Guias e pinos: Devem ser buchas de interferência, como a série Fibro 2081.45
- Precisão na localização das buchas de guia: A precisão na localização das buchas de guia é essencial para manter a tolerância extremamente apertada entre o punção e as placas da matriz.
- Ângulo de inclinação: O ângulo de inclinação deve ser entre $0,3^\circ$ e $0,4^\circ$.
- Design do punção: O punção deve ser projetado de forma que empurre o blank de aço para a estrutura de referência do transportador.
- Tolerância da espessura do punção: A tolerância da espessura do punção deve ser de $0,0001''$ ($0,00254 \text{ mm}$).
- Força do sistema de prensa: Pode ser servo ou hidráulica. O servo é mais limpo e mais econômico em termos de consumo de energia ao longo do tempo, embora

o custo inicial seja maior. Recomenda-se um fator de segurança de 2,5 vezes a tonelagem necessária para cortar o blank ao dimensionar o cilindro/servo.

- Máximo de rebarba no corte da chapa: A rebarba no corte deve ser inferior a 10 % da espessura da chapa.
- Máximo de raio no lado do punção da peça: O raio máximo deve ser inferior a 5 % da espessura da chapa.
- I/O (Entrada/Saída): Devem ser montados na máquina e classificados como IP67. Cada bloco de I/O deve ser montado a no máximo 2 metros do dispositivo que o controla. Os blocos também devem ser montados de forma a serem protegidos contra partes caindo e longe de pontos de acesso.

6.1.5 Mecanismo de Deslocamento Lateral e *Buffer*

Independentemente da presença de dois desbobinadores e endireitadores alimentadores independentes na linha de fabricação de cestos, é obrigatória a utilização de um robô de 6 eixos com alcance suficiente para atender ambos os lados da zona de fabricação. Este robô deve ser responsável pelo deslocamento lateral (side shift) das chapas entre as linhas e também pela manutenção de um buffer controlado. O buffer não deve conter centenas de chapas pré-cortadas. Em vez disso, durante cada troca de bobina, o robô deve empilhar entre 75 e 100 chapas, alimentando a linha simultaneamente. Essas chapas devem ser totalmente consumidas ao final de cada bobina e nunca armazenadas indefinidamente.

Esse volume de 75 a 100 chapas garante aproximadamente 10 minutos de operação contínua, enquanto o operador gira o desbobinador de cabeçote duplo e insere a nova bobina no endireitador. Esse método permite continuidade na produção durante a troca de bobina e evita a produção em massa de chapas com possíveis defeitos, o que é especialmente crítico em processos, sensíveis à variação no acoplamento das peças. O acúmulo de chapas pré-cortadas com possíveis falhas resulta em altas taxas de refugo ou longos tempos de setup e ajuste.

6.1.6 Ferramenta de extremidade do robô (*End of Arm Tooling*)

A garra do robô deve conter os seguintes recursos para garantir um manuseio confiável das chapas, seja a partir do buffer ou da esteira de saída do corte:

- Sistema de prensão por vácuo com ventosas tipo fole, preferencial às garras magnéticas. Ventosas tipo fole vedam melhor em superfícies irregulares e oferecem elevação vertical para facilitar a separação das chapas.
- Sistema de detecção de chapas duplas para evitar falhas de alimentação. Sensores aceitáveis incluem: Câmeras com IA treinável, Sensores ultrassônicos, Sensores in-

Figura 23 – Sistema de prensão por vácuo com ventosas



Próprio Autor.

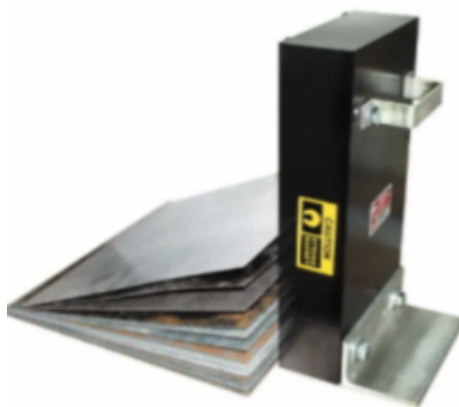
dutores, Probes físicos. A escolha do sensor deve considerar o conhecimento técnico disponível na planta.

6.1.7 Mesa de Buffer

A mesa de buffer deve ter capacidade de posicionar corretamente as chapas. Para isso, utilizar: Guias laterais afuniladas ou Mesa de centralização angulada. A separação das chapas é essencial. O uso de facas de ar comprimido não é permitido, devido ao alto custo de operação e manutenção. Em vez disso, utilizar:

- Separador magnético de chapas (fanner), como exemplificado na figura de referência.

Figura 24 – Separador magnético



Próprio Autor.



6.1.8 Requisitos obrigatórios – Estação de *Side Shift e Buffer*

- Abertura da estação com dimensões 25 % maiores que a maior chapa prevista no roadmap de 5 anos para sua arquitetura de cestos (largura e comprimento).
- Robô de 6 eixos com capacidade de deslocamento lateral.
- Ferramenta de extremidade com sensor de detecção de chapas duplas.
- Ventosas tipo fole, espaçadas adequadamente conforme o peso da chapa.
- Separação magnética de chapas. É proibido o uso de facas de ar.

6.1.8.1 Estação de Enrolamento e Crimpagem

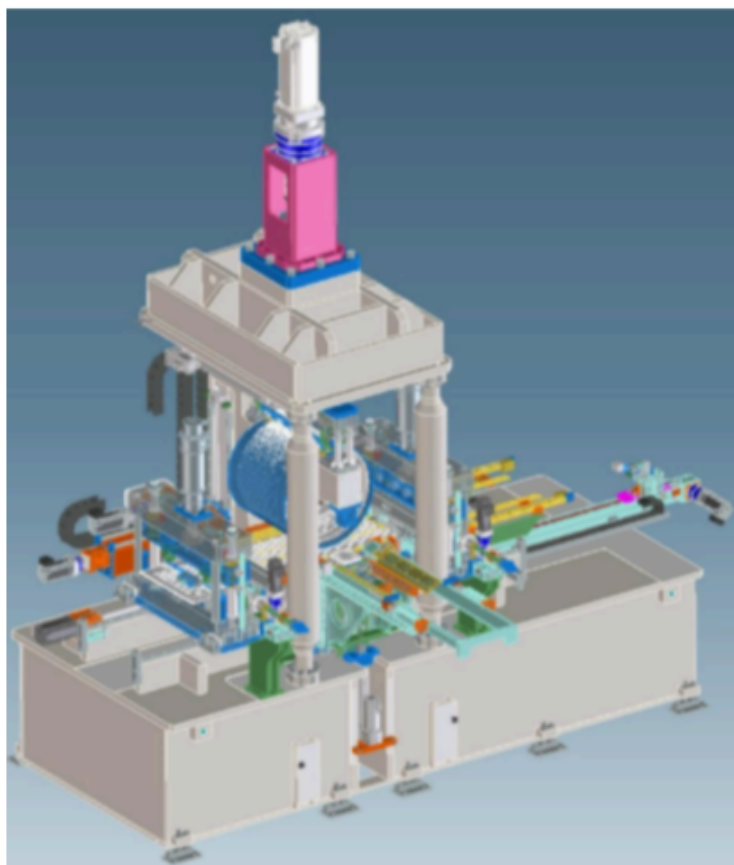
A estação de enrolamento e crimpagem é responsável por transformar uma chapa retangular em um cilindro com fechamento mecânico por travamento (seam lock), pronto para as operações subsequentes de conformação.

O desempenho e a confiabilidade da crimpagem dependem diretamente da atenção aos seguintes fatores críticos:

- Qualidade da chapa entregue à estação de crimpagem. A regularidade dimensional e o acabamento das bordas impactam diretamente o resultado da união mecânica.
- Pré-formação do travamento (lock seam). Uma pré-configuração precisa da geometria da união garante que o fechamento mecânico ocorra de forma segura e consistente.
- Ferramental adequado, projetado especificamente para o perfil do travamento e espessura do material. O desgaste das ferramentas deve ser monitorado periodicamente.
- Facilidade de setup e troca de modelo. A estação deve permitir ajustes rápidos e seguros para atender diferentes dimensões e variações de produto.
- Análise em processo da qualidade da união. Sistemas de inspeção em linha são recomendados para garantir que a crimpagem esteja dentro das especificações e livre de falhas que comprometam a integridade do aro.

A Figura 26 apresenta um exemplo de estação de travamento mecânico (seam lock) para cestos/tambores VA e HA que incorpora todos os atributos exigidos pelo BOP (Best Operational Practice).

Figura 25 – Estação de Enrolamento e Crimpagem



Próprio Autor.

A máquina foi projetada com foco em precisão e eficiência operacional. Ela garante um referenciamento preciso, assegurando a repetibilidade no processo de pré-dobramento. Além disso, conta com uma sobreposição controlada da dobra inicial antes da prensagem, o que contribui para a qualidade do resultado final.

A operação de cunhagem é realizada por cilindros elétricos, que permitem um controle preciso da força aplicada. Para facilitar o uso e reduzir o tempo de setup, a máquina possui um sistema de troca rápida acionado por botão de comando, possibilitando ajustes rápidos e simples nos detalhes mecânicos para acomodar diferentes diâmetros, alturas e comprimentos de cunhagem, sem a necessidade de ajustes manuais demorados.

Figura 26 – Exemplo de cestos VA com travamento mecânico finalizado



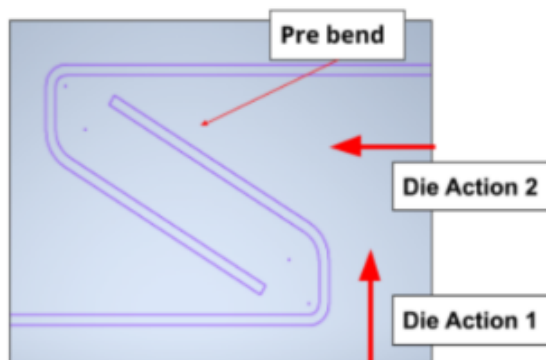
Próprio Autor.

6.1.9 Pré-formação da aba para o travamento

A pré-formação (dobramento) das camadas de sobreposição do travamento pode ser realizada por diversos métodos: dobramento por rolos (roll forming), dobramento por came mecânico ou servo-controlado (cam bending / servo cam), e dobramento por matriz (die bending).

Atualmente, em 2024, todas as fábricas da Empresa X que utilizam travamento mecânico empregam dobramento por rolos, porém esse é considerado o método menos recomendado. Isso se deve à dificuldade em manter o ajuste adequado das ferramentas para garantir sobreposição e encaixe corretos na estação de prensagem. Além disso, a linearidade e largura da dobra prévia são difíceis de controlar nesse processo. O dobramento por matriz é considerado melhor prática, pois utiliza batentes rígidos (hard stops) que referenciam com precisão a chapa. Assim, eventuais variações no comprimento da chapa se refletem no diâmetro final do cilindro e não comprometem a qualidade da pré-dobra.

Figura 27 – Pre bending



Próprio Autor.

O ferramental realiza a pré-formação em duas etapas:

1. Ação inicial: dobra o material a 90°;
2. Segunda ação: dobrar a aba (flange).

Após o desenvolvimento do ferramental, esse processo se torna altamente estável, consistente e repetível — reduzindo significativamente o tempo de setup e ajustes. A contrapartida dessa estabilidade é a necessidade de uma estação adicional para corte da chapa, já que não pode ser combinada com o roll forming.

6.1.10 Ferramental

O ferramental para travamento mecânico deve ser desenvolvido em conjunto com a equipe de engenharia e o fabricante da estação de travamento e cunhagem (coining). O

aço inoxidável 430, com excelente conformabilidade, reduz significativamente o risco nesse aspecto.

Figura 28 – Seam Lock and Coinning



Próprio Autor.

Recomenda-se seguir práticas industriais consagradas quanto a tolerâncias e operações de cunhagem. Durante o processo, as abas previamente dobradas são prensadas em uma cavidade (female trench) para travar as camadas. Na mesma ação da prensa, o ferramental de cunhagem entra em contato, aumentando a resistência da junção e impedindo qualquer possibilidade de destravamento da costura.

6.1.11 Características de troca de modelo

Alinhada às metas de sustentabilidade energética e ambiental da Empresa X, recomenda-se que a estação de travamento seja 100% elétrica, sem o uso de sistemas hidráulicos. Atuadores elétricos permitem troca de modelo por botão de comando, aumentando a eficiência e reduzindo o tempo de setup. Soluções integradas já disponíveis no mercado oferecem mudança automática por botão nos seguintes parâmetros: Diâmetro: de 18” a 25” (400 mm a 650 mm); Altura: de 17” a 22” (400 mm a 600 mm); Comprimento da cunhagem.

Esses intervalos são exemplos de capacidades disponíveis comercialmente; o seu projeto específico pode exigir variações diferentes.

6.1.12 Análise em processo da qualidade da costura

Recomenda-se inspeção inline contínua, dado que o travamento mecânico é um atributo crítico de segurança do produto. Idealmente, deve-se garantir a verificação de 100% das peças. Os requisitos mínimos estão definidos no desenho técnico do produto — recomenda-se segui-los rigorosamente. Duas abordagens são sugeridas:

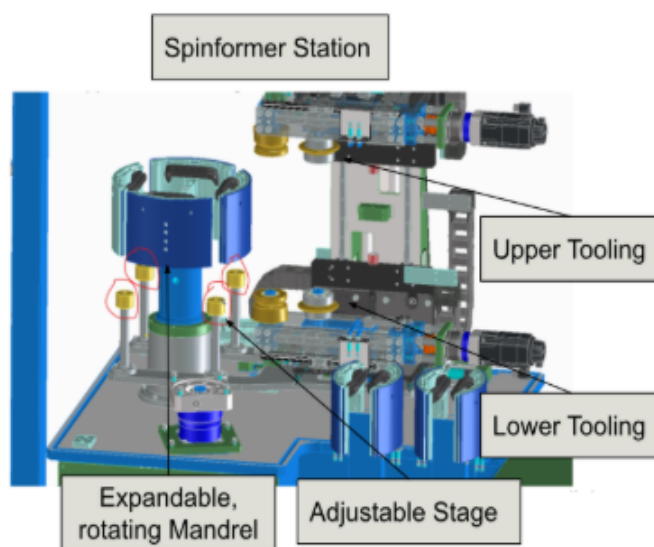
1. Sensors a laser 2D/3D da Keyence: Esses sensores capturam dados de altura ao longo de uma linha a laser, possibilitando medições em 2D/3D como diferença de altura, largura e ângulo, tudo com um único sensor.

2. Inspeção manual com paquímetro digital: Essa opção deve ser considerada apenas como último recurso. Um plano de controle de qualidade é obrigatório, incluindo verificações por turno das características da costura, realizadas por operadores treinados, garantindo a segurança do produto.

6.1.13 Estação de *Spinforming* (*Grooving*)

A estação de *spinforming* é responsável pelo encruamento a frio do cilindro previamente formado, promovendo o endurecimento localizado por meio da adição de relevos de reforço (ribs) nas extremidades superior e inferior do corpo cilíndrico. Esse processo é realizado por meio da rotação rápida do cilindro em contato com ferramentas conformadoras, que, por sua vez, utilizam elementos consumíveis para moldar regiões com diâmetros reduzidos.

Figura 29 – Estação de *Spinforming* (*Grooving*)



Próprio Autor.



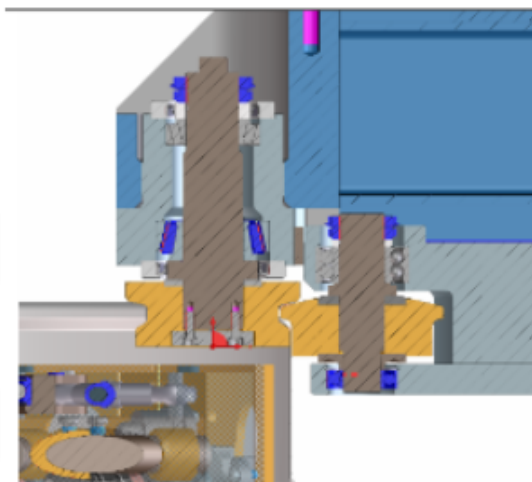
Trata-se de uma etapa crítica na linha de fabricação, pois além de conferir rigidez estrutural ao componente, também determina características geométricas fundamentais que impactam diretamente as etapas subsequentes do processo produtivo (GROOVER, 2012). Os principais fatores que influenciam o desempenho da estação de spinning são:

1. Projeto das ferramentas (tooling design);
2. Projeto da máquina (machine design);
3. Lubrificante de conformação (forming lubricant).

6.1.14 Projeto das Ferramentas

As ferramentas utilizadas nessa estação devem ser cuidadosamente projetadas de acordo com a geometria final desejada da cesta. Regiões como NAR (North America Region), que demandam cestas de maior diâmetro e altura, tendem a utilizar canais em formato “C”, mais largos e profundos. Já regiões como LAR (Latin America Region) e Índia, costumam adotar canais menores em formato “V”, que geram menor desgaste nas ferramentas.

Figura 30 – Polias do grooving



Próprio Autor.

Canais do tipo “C” apresentam maior agressividade ao conjunto de ferramentas, exigindo substituições frequentes para manter as dimensões de projeto da cesta.

O desgaste excessivo compromete a altura final da peça, ocasionando desvios que impactam negativamente o desempenho de estações posteriores, como a de fechamento (closure station), onde o desalinhamento pode comprometer a crimpagem. Esse efeito reforça a necessidade de controle rigoroso sobre a durabilidade e manutenção das ferramentas (KALPAKJIAN; SCHMID, 2014).

Figura 31 – formato “C”



Próprio Autor.

A pressão por redução de custos pode levar ao uso das ferramentas além de sua vida útil, o que frequentemente resulta em não conformidades dimensionais e aumento de sucata devido à variação na altura do componente conformado.

Outro aspecto crítico é a seleção do material da ferramenta, especialmente para aquelas que entram em contato com a superfície externa visível do aço inoxidável. Materiais como Ampco 25, uma liga de cobre com alto desempenho em conformação de metais, têm se mostrado eficazes por apresentarem baixa tendência à marcação superficial, embora sofram desgaste acelerado em produções com alta cadência.

Tentativas de aumentar a vida útil das ferramentas por meio de revestimentos duros, como o duplex variantic-1000 (à base de nitreto de titânio), demonstraram eficácia parcial apenas em ferramentas auxiliares ou de menor porte. Para rodas de conformação principais, os revestimentos falham prematuramente devido à abrasão intensa e à redução da fluidez do aço inoxidável durante a conformação (DINH et al., 2019).

6.1.15 Diretrizes para o projeto de ferramentas na estação de *spinforming*:

- Diâmetro: Utilizar o maior diâmetro viável para prolongar a vida útil da ferramenta, considerando os limites do equipamento e da geometria do produto;
- Geometria: Priorizar perfis resistentes ao desgaste, minimizando o impacto dimensional à medida que a ferramenta se deteriora;

- Tipo de material: Adotar materiais compatíveis com aço inoxidável e que não causem riscos na superfície externa. Revestimentos podem ser utilizados desde que sua durabilidade e compatibilidade sejam comprovadas;
- Segmentação: Projetar ferramentas em partes segmentadas com cubos de acionamento em aço, permitindo substituições localizadas e reduzindo o custo total com consumíveis.

Projeto da Máquina de *spinforming* O projeto da máquina de *spinforming* segue os princípios de flexibilidade, repetibilidade e controle de qualidade que caracterizam as boas práticas de manufatura avançada.

Um equipamento conforme os padrões BOP (Best Operating Practice) é estruturado para permitir a conformação de cestas com múltiplos diâmetros e alturas, com ajustes simples e rápidos, geralmente realizados por meio de comandos acionados por botão (push-button changeover), sem necessidade de trocas complexas de ferramentas ou longos tempos de setup.

O uso de servomotores em todos os eixos de movimento é uma recomendação essencial nas estações de *spinforming* modernas. Essa configuração permite ajustes precisos e repetitivos, fundamentais para lidar com variações sutis entre modelos, como até três diâmetros diferentes e até cinco alturas distintas de cestas.

A alta resolução dos servos (mínimo de 0.001") assegura controle dimensional rigoroso, contribuindo para um índice de eficiência global do equipamento (OEE) mais elevado. Além da flexibilidade dimensional, a máquina deve contar com recursos que garantam o posicionamento adequado do wrapper em relação ao ponto de referência geométrica da peça (datum), incluindo estágios ajustáveis de apoio e sistemas de expansão do mandril interno para evitar deslizamento durante o ciclo de conformação.

A escolha do material para o mandril é crítica, pois ele deve exercer pressão suficiente sem marcar a superfície interna da cesta. Para isso, recomenda-se o uso de poliuretano com dureza intermediária (70–90 Shore A) ou borracha com resistência comprovada ao lubrificante de conformação. Tais materiais garantem aderência adequada e proteção ao acabamento superficial do componente, que será visível ao consumidor final.

Além disso, as ferramentas superior e inferior devem ser projetadas para acomodar variações infinitas de diâmetro e altura, o que reforça a importância de um sistema de acionamento servo-controlado em ambos os eixos de conformação.

6.1.16 Monitoramento de Desgaste e Lubrificação

Durante a vida útil das ferramentas, alterações dimensionais são inevitáveis. Por esse motivo, recomenda-se a integração de sensores de monitoramento de desgaste, capazes de

realizar correções em tempo real na geometria da canaleta “C”, prolongando a vida útil das ferramentas e mantendo a conformidade dimensional (DINH et al., 2019). A lubrificação localizada também desempenha papel fundamental nesse contexto. A aplicação precisa de lubrificante nas regiões específicas onde ocorre a deformação (normalmente nas canaletas “C”) evita desgaste prematuro, reduz o risco de falha do material e melhora a fluidez do aço inoxidável durante a conformação.

Sistemas de lubrificação por contato (contact rolling) são preferíveis aos sistemas por spray, que costumam apresentar desalinhamentos e geram excesso de lubrificante, comprometendo a limpeza e o desempenho da máquina.

Adicionalmente, é considerada uma boa prática o uso de trilhos ou canaletas de drenagem ao redor da estação de *spinforming* para coleta do excesso de lubrificante, com acesso de limpeza sem necessidade de parada da linha – garantindo manutenção da produtividade e redução do risco de acidentes ou contaminações.

6.1.17 Lubrificante de Conformação

A utilização de lubrificante é obrigatória na formação de canaletas profundas e largas.

A ausência de lubrificação adequada pode acelerar o desgaste das ferramentas e provocar trincas ou rasgos no aço inoxidável durante o processo de conformação (KLOCKE et al., 2011). Para garantir o desempenho ideal, o lubrificante deve atender a dois critérios principais:

1. Disponibilidade comercial no país de instalação do equipamento, facilitando a reposição e reduzindo custos logísticos;
2. Composição à base de água, preferencialmente sintética. Óleos solúveis ou óleos puros não devem ser utilizados, por apresentarem maior risco de contaminação e formação de resíduos prejudiciais ao equipamento.

A dosagem precisa do lubrificante evita névoas, excesso de pulverização e desperdício, garantindo que o produto atinja apenas a região de contato entre a peça e a ferramenta.

6.1.18 Requisitos Técnicos Obrigatórios da Estação de *Spinforming*

Para estar em conformidade com as melhores práticas de projeto, uma estação de *spinforming* deve apresentar os seguintes atributos:

- Abertura mínima 25% maior que o maior diâmetro e altura de cesta previstas no roadmap de cinco anos da empresa;
- Todos os eixos de movimento servo acionados, com resolução igual ou superior a 0.001”;

- Ferramentas em Ampco 25 ou ferramentas revestidas com núcleo em aço e segmentos intercambiáveis, otimizando o custo com consumíveis;
- Capacidade para acomodar o maior diâmetro possível de ferramentas, visando prolongar sua vida útil;
- Capacidade de troca rápida de modelo via push-button para ajuste automático de diâmetro e altura;
- Proteção da superfície visível interna da cesta, utilizando mandris resistentes a lubrificantes de conformação e que evitem impregnação por aço inoxidável ou Ampco;
- Lubrificação precisa via sistema de aplicação por contato, eliminando lubrificação por spray;
- Canaleta de drenagem ao redor da estação, com acesso de limpeza durante o funcionamento;
- Utilização exclusiva de lubrificantes sintéticos à base de água, amplamente disponíveis no país de operação.

6.1.19 Estação de Fechamento

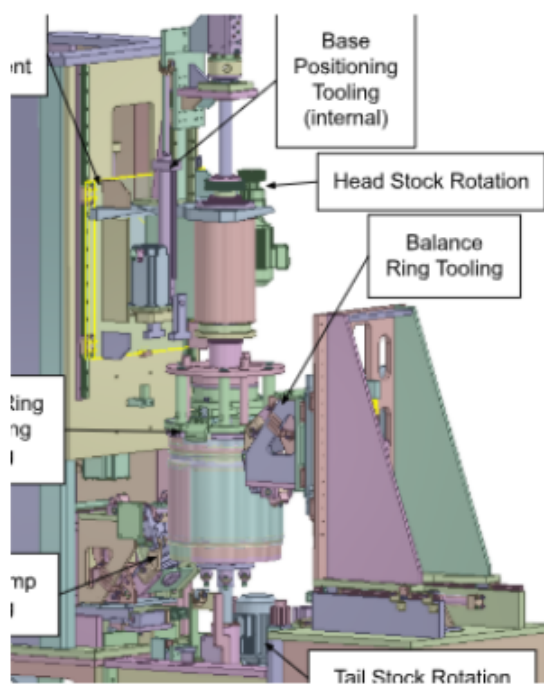
A estação de fechamento tem como objetivo unir a base, o anel de balanceamento e o revestimento de aço inox, formando o cesto de eixo vertical (VA Basket).

A melhor prática identificada envolve realizar a crimpagem da base e do anel de balanceamento em uma única estação, o que permite o controle simultâneo da centralidade entre os componentes, assegurando um alinhamento preciso com o eixo do cesto e o revestimento de inox.

Com essa abordagem, é possível atingir níveis extremamente baixos de runout, muitas vezes eliminando a necessidade de processos corretivos, como o boring.



Figura 32 – Estação de Fechamento



Próprio Autor.

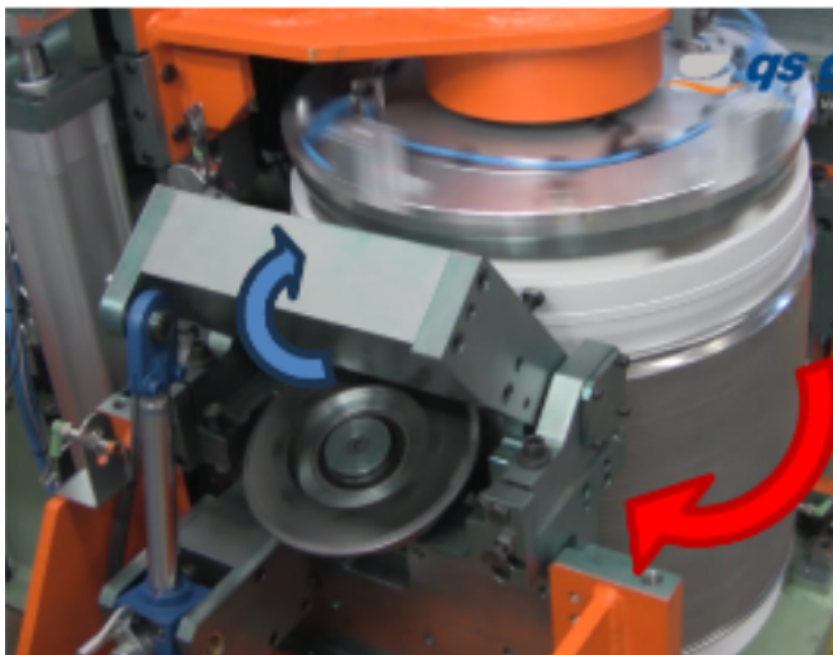
6.1.20 Projeto de Ferramentas

A crimpagem é realizada por dois conjuntos de ferramentas idênticos, instalados de maneira invertida e atuando de forma simultânea. Um conjunto realiza a crimpagem do revestimento de inox sobre o anel de balanceamento, enquanto o outro atua na base, a 180° de distância.

A ferramenta é composta por uma roda de crimpagem que desliza tangencialmente sobre a aba do revestimento, sendo sustentada por um anel de apoio posicionado sobre a superfície horizontal da ranhura em “C” formada pelo spinformer.



Figura 33 – Funcionamento das polias na estação de fechamento



Próprio Autor.

As ferramentas são movimentadas por um arco tangencial e atualmente são fabricadas em Vanadis 4 Extra (dureza de 60–62 HRC), com revestimento Duplex Variantic-1000 (TiAlCN), que proporciona dureza superficial em torno de 350 HRC e profundidade de revestimento média de 9 μm .

Este revestimento possui baixo coeficiente de atrito e alta resistência à adesão de material metálico (galling), aumentando a durabilidade e o desempenho do processo.

Há registros de aplicações em que essas ferramentas superaram 380.000 ciclos sem substituição, mantendo qualidade dimensional e funcional. Versões anteriores fabricadas com Ampco 25 apresentaram desgaste prematuro e falhas recorrentes, sendo gradualmente substituídas por materiais de maior desempenho.

Para viabilizar economicamente a produção, recomenda-se que apenas as seções sujeitas a desgaste sejam feitas com materiais nobres, utilizando-se aço ferramenta convencional ou aço 4140 PH para as demais partes da ferramenta.

As ferramentas de apoio, que anteriormente eram feitas integralmente em aço ferramenta, também passaram a ser fabricadas com Vanadis 4 Extra e revestimento TiAlCN, devido à falha recorrente por corrosão e impregnação metálica, o que compromete os testes de vida útil.

6.1.21 Projeto da Máquina

O projeto da estação de fechamento deve viabilizar a crimpagem simultânea da base e do anel de balanceamento no revestimento, assegurando a concentricidade entre os componentes — fator determinante para a estabilidade e o desempenho dinâmico do cesto.

A estação é composta por dois conjuntos de ferramentas. O conjunto inferior, responsável pela base, permanece fixo verticalmente e realiza movimentos horizontais por meio de um cilindro hidráulico com batente regulável.

O conjunto superior, por sua vez, é ajustável em altura através de servoacionamento, e em profundidade por acionamento hidráulico, permitindo abertura e fechamento durante a entrada e saída da peça.

A fixação da base e do anel é feita exclusivamente pela ferramenta superior, que realiza dois estágios de atuação: no primeiro, abaixa-se e aciona três grampos espaçados a 120°, que fixam o anel de balanceamento pelo seu diâmetro externo. No segundo estágio, aciona-se a fixação da base, que deve estar previamente posicionada sobre um pino de alinhamento e uma mesa servoacionada.

A centralização da base ocorre com base no diâmetro externo do cubo (em cestos com cubo plástico) ou através de um pino chanfrado (em cestos com cubo de alumínio).

O uso dessas superfícies de referência é essencial, pois são as únicas projetadas com tolerâncias apropriadas para garantir repetibilidade e qualidade dimensional.

6.1.22 Atributos Mecânicos Obrigatórios da Estação

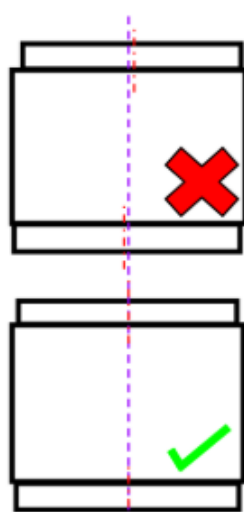
- A abertura da estação deve ser, no mínimo, 25% superior ao maior cesto previsto para os próximos cinco anos, conforme o plano de desenvolvimento de arquitetura de cestos;
- A crimpagem da base e do anel de balanceamento deve ocorrer simultaneamente na mesma estação para garantir concentricidade com o cubo;
- Todas as ferramentas de crimpagem devem possuir seções pequenas e intercambiáveis, reduzindo o custo de manutenção por desgaste;
- As seções intercambiáveis devem ser fabricadas em Vanadis 4 Extra (código 0046), com revestimento Duplex Variantic-1000 (TiAlCN), admitindo-se equivalentes desde que comprovada a equivalência técnica;
- O posicionamento da base sobre o pino inferior deve permitir ajuste para diferentes diâmetros de cesto. Recomenda-se o uso de cilindros pneumáticos com batentes calibráveis ou servoacionamento, evitando soluções manuais que aumentam o tempo de setup;

- O alinhamento da base e do anel de balanceamento deve ser realizado por ferramenta superior com dois estágios de atuação, conforme descrito anteriormente.

6.1.23 Estação de Usinagem

A próxima estação no processo é a estação de alargamento. Sua função é corrigir qualquer desalinhamento da base plástica e do anel de balanceamento em relação ao eixo central do cesto, para minimizar o descentramento (runout).

Figura 34 – Desalinhamento da base plástica e do anel de balanceamento em relação ao eixo central do cesto



Próprio Autor.

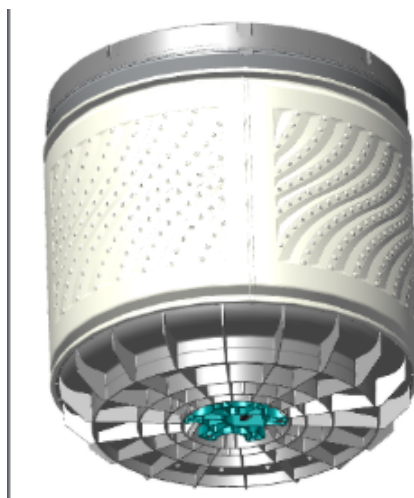
Para uma visão geral dos métodos e se familiarize com os principais acessórios utilizados.

Uma estação de alargamento pode ser construída para acomodar todas as três variantes de cubo com um simples detalhe de troca, se esse nível de flexibilidade for necessário.

O cubo estriado de plástico POM possui um tubo de plástico propositalmente subdimensionado, de modo que uma operação de alargamento possa alinhar a base com o verdadeiro eixo central do conjunto.



Figura 35 – Cubo chanfrado fundido e sobremoldado



Próprio Autor.

O bloco cunha é de alumínio e não é sobremoldado como o cubo de plástico POM. Uma operação semelhante de alargamento é necessária para alinhar a base moldada por injeção ao bloco cunha aparafusado.

A última variante é significativamente diferente. O cubo chanfrado fundido é sobremoldado na base durante a operação de moldagem por injeção. Não se trata de uma operação de alargamento total como nas variantes anteriores. A interface para este método é uma face de alumínio chanfrada, e a operação de ajuste utiliza uma ferramenta de usinagem que toca o chanfro.

A profundidade do chanfro afeta diretamente a altura total do conjunto. Este é o método adotado na máquina que estamos atualmente desenvolvendo. A necessidade de uma estação de alargamento para esse tipo de fixação é discutida na Seção 5.19.1.27. Existem dados que sugerem que a peça sobremoldada de alumínio fundido funciona melhor no estado não ajustado — ou seja, sem necessidade de operação de chanfro — desde que a qualidade do fornecimento seja perfeita, sem rebarbas plásticas ou descontinuidades no fundido que possam afetar como o cesto se encaixa nos estriados de acionamento.

A Figura 37 destaca os atributos de uma estação de alargamento compatível com BOP. Os atributos são discutidos em detalhe nas seções a seguir para proporcionar um entendimento dos elementos críticos de uma estação de alargamento/chanfragem compatível com BOP:

- Projeto da ferramenta;
- Projeto da máquina;

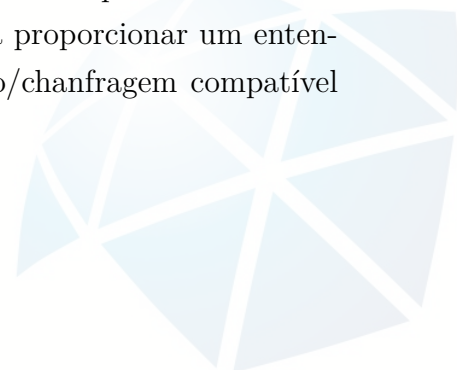
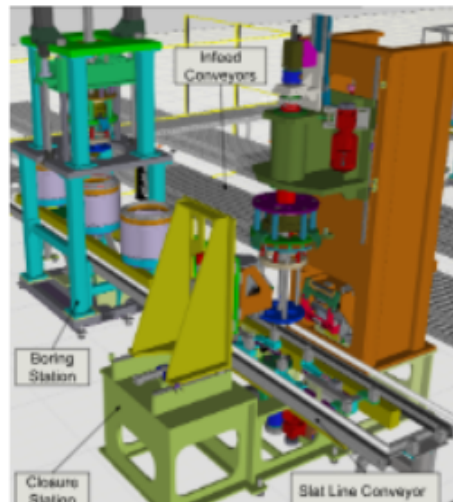


Figura 36 – Estação de Usinagem



Próprio Autor.

- Remoção de cavacos;
- Atributos mecânicos obrigatórios da estação de alargamento;
- Atributos elétricos obrigatórios da estação de alargamento;

6.1.24 Projeto da ferramenta

O ferramental da estação de alargamento não é tão complexo. Além das técnicas de centralização (discutidas na seção de projeto da máquina), o ferramental consiste na ferramenta de corte e nos garras que entram em contato com a base e os anéis de balanceamento para garantir que o cesto esteja perfeitamente centralizado em relação ao verdadeiro eixo central do conjunto, e não apenas com um componente isolado.

A estação de alargamento tem o objetivo de corrigir a condição "não-ok" apresentada na Figura 35 da estação de fechamento. A broca de alargamento/chanfragem e seu suporte devem estar comercialmente disponíveis no país de uso.

Considere o tipo de base que será usada em sua aplicação e selecione uma ferramenta de corte apropriada para alumínio ou plástico. O ferramental de localização do cesto para o alargamento consiste em um conjunto interno semelhante ao da seção 5.19.1.23 (estação de fechamento), onde uma garra envolve o cubo ou chanfro da base e realiza uma fixação no diâmetro externo do anel de balanceamento.

Durante o projeto inicial da máquina, as garras de OD devem ser perfeitamente concêntricas com o ferramental da base. A planicidade da base plástica não pode ser confiada ao fornecedor — isso implica que o cesto pode estar ligeiramente inclinado (como ilustrado

na figura).

A mesa inferior deve permitir que o conjunto "flutue" até um estado perfeitamente perpendicular durante o processo de fixação, para que a ferramenta de alargamento possa corrigir o descentramento do sistema. Ignorar esse ponto será prejudicial ao desempenho da estação.

6.1.25 Projeto da máquina

A arquitetura geral da máquina da estação de alargamento é importante para aumentar a precisão do seu funcionamento. A evolução do design do cesto ao longo do tempo exigirá tolerâncias cada vez mais rígidas em relação ao descentramento radial (TIR), devido à necessidade de girar cada vez mais rápido para remover mais água, melhorando o desempenho da lavadora.

A redução do descentramento melhora a métrica de fechamento da folga (gap closure) entre o cesto de aço inox e a cuba plástica — uma limitação atual para o grupo de projeto de produto. Melhorar essa métrica ajuda a diferenciar o produto Empresa X da concorrência com melhor lógica de balanceamento, cestos maiores em gabinetes do mesmo tamanho e velocidades de centrifugação mais altas.

Os seguintes critérios de projeto são importantes para reduzir a variação causada pela máquina e garantir leituras de TIR consistentemente baixas:

- Suporte de 4 colunas vs. suporte em balanço: Unidades com suporte em balanço podem flexionar. Mesmo uma pequena deflexão dificultará a correção do TIR e tornará o processo menos repetível. O design com 4 colunas é preferido para evitar o momento de flexão quando a unidade engata e se fecha.
- Ferramental superior com servo único em trilho de alta precisão: Devido ao peso do ferramental superior e à falta de tempo de ciclo para instalar um redutor de torque, pode ser tentador para o integrador utilizar uma configuração com dois servos, cada um controlando metade do movimento. Isso é uma má prática. Mesmo com técnicas de controle que minimizam atrasos de comunicação entre os servos, haverá diferença na carga e deflexão, contribuindo para variação aleatória no TIR.
- Ajuste de precisão X-Y das ferramentas de alargamento: Para produzir correções perfeitas de TIR, é necessário um dimensionamento preciso com tolerâncias apertadas. Ainda assim, será necessário fazer ajustes entre os ferramentais superior e inferior. Experiências anteriores mostraram que mover o ferramental inferior é a melhor prática. O método de ajuste também é crítico. Deve-se usar uma mesa de ajuste X-Y de alta precisão, comercialmente disponível, em vez de ajustes artesanais

com calços.

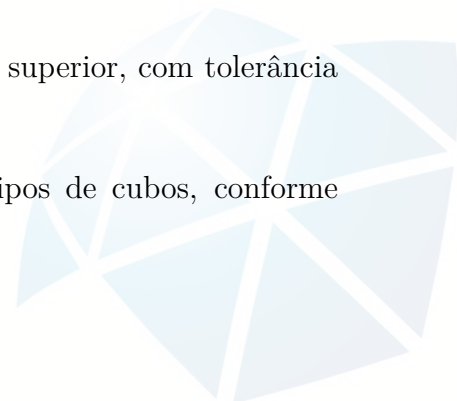
Tentativas com calços resultaram em desalinhamento ao apertar parafusos, e a vibração da máquina fazia com que as placas se movessem com o tempo. Além disso, ajustar o ferramental inferior é mais seguro para os operadores, que evitam trabalhar em altura.

- Ferramentas flexíveis: As ferramentas devem considerar o plano atual de 5 anos para a interface entre a base plástica e o acionamento. Agilidade é essencial, pois essa interface tende a mudar. Ferramentas flexíveis ajudam tanto na manufatura quanto no projeto de produto. Por exemplo, a ferramenta interna deve ser capaz de atuar tanto nas superfícies planas externas (OD) quanto nas superfícies chanfradas internas (ID) para alinhar a base com o anel de balanceamento de forma coaxial. Ferramentas inferiores servo-controladas com múltiplas posições são obrigatórias para flexibilidade futura.
- Remoção de cavacos de alargamento/chanfragem: A estação de alargamento deve permitir a remoção de cavacos tanto pela parte superior quanto inferior da máquina. Quando a base é de alumínio, os cavacos são longos e contínuos, podendo se prender a componentes móveis e causar falhas. Já o plástico POM gera cavacos curtos, porém em grande volume, com risco de contaminação de sensores e guias. Por isso, é essencial um sistema de exaustão eficiente no ponto de corte, proteções adequadas e um design que facilite o escoamento. Também se recomenda um plano de limpeza preventiva regular para manter a confiabilidade do processo.

6.1.26 Atributos mecânicos obrigatórios da estação de alargamento

Para garantir a qualidade e a estabilidade do processo de alargamento, a estação deve conter os seguintes atributos mecânicos:

- Sistema de centralização coaxial automático, que garanta o posicionamento do cubo e do anel de balanceamento no mesmo eixo;
- Fixação servoacionada, com controle preciso de pressão para não deformar componentes plásticos;
- Guia linear de alta rigidez para o movimento do cabeçote superior, com tolerância mínima de desvio lateral;
- Ferramental intercambiável e ajustável para diferentes tipos de cubos, conforme descrito anteriormente;
- Base de montagem com ajuste X-Y micrométrico.



- Sistema de detecção de posição do cesto para garantir que a peça esteja corretamente instalada antes da operação de alargamento.

6.1.27 Atributos elétricos obrigatórios da estação de alargamento

Do ponto de vista de controle e automação, os seguintes elementos elétricos são mandatórios:

- Servo motor para o movimento vertical do cabeçote de alargamento, com controle de posição e torque;
- Motores dedicados para rotação da ferramenta de corte, com velocidade variável conforme o tipo de material;
- Sensores de posição para confirmar a presença correta da peça antes do ciclo iniciar;
- Sistema de parada de emergência, com botão acessível ao operador;
- Monitoramento de torque da ferramenta de corte, que pode indicar problemas como ferramenta desgastada, cavacos presos ou desalinhamento da peça;
- Integração com o sistema de rastreabilidade (caso aplicável), para registrar os parâmetros de alargamento de cada peça produzida.



6.2 Impacto Estratégico e Ganhos de Capacidade

O principal motivador do Projeto OLIMPO foi a restrição de capacidade produtiva existente e a crescente demanda do mercado, impulsionada pela diversificação de produtos (increase in basket part numbers) e pela necessidade de otimizar o uso do tempo de trabalho (5x1). O cenário projetado para os anos de 2026 a 2028 indicava uma restrição total acumulada de 596 mil unidades de cestos.

Essa defasagem representava um risco estratégico à Empresa X e exigia uma intervenção que não só resolvesse o déficit atual, mas que também fornecesse uma capacidade excedente para acomodar o crescimento futuro.

O resultado mais significativo da implantação da nova linha automatizada é a adição de capacidade produtiva, que atinge: Capacidade Adicionada = 3.341 produtos/dia ou 985.595 produtos/ano. Esta nova capacidade não apenas elimina a restrição de demanda projetada de 596 mil unidades, mas também gera uma folga de aproximadamente 389 mil unidades/ano, permitindo que a empresa atenda a novos projetos.

6.3 Análise de Desempenho Operacional: KPIs da Máquina

O sucesso operacional do projeto é medido pela otimização do fluxo de valor e pela elevação dos Indicadores-Chave de Desempenho (KPIs), em particular a Eficiência Global do Equipamento (OEE), que avalia a sinergia entre disponibilidade, performance e qualidade.

6.4 Performance e Otimização Logística

O fator Performance do OEE está intrinsecamente ligado à velocidade do ciclo da máquina e à eficiência do fluxo logístico de abastecimento. etapa de simulação do fluxo logístico foi crucial para validar os tempos de ciclo e garantir a sincronização entre a produção e o suprimento de materiais.

6.4.1 Sincronismo de Abastecimento:

A simulação de 48 horas de produção revelou que o abastecimento de bobinas de aço deve ocorrer a cada 5,38 horas, totalizando 09 abastecimentos no período simulado. Esse dado estabelece o ritmo operacional logístico (takt time logístico), minimizando as paradas por falta de material e, conseqüentemente, maximizando a Performance da linha.

6.4.2 Otimização de Rotas (Lean Manufacturing):

A análise do trajeto do rebocador logístico demonstrou que apenas 01 rota é necessária para atender toda a demanda de abastecimento (bobinas e anéis) e retirada de resíduos. Os tempos médios de rota foram validados em: - Abastecimento das bobinas: 26'34"

- Abastecimento dos cestos e anéis: 23'06"
- Abastecimento dos cestos, anéis e resíduos: 31'35"

A baixa complexidade de rotas e o tempo de ciclo otimizado do rebocador validam um fluxo logístico enxuto, que sustenta o alto volume de produção (3.341 produtos/dia) sem interrupções desnecessárias, impactando positivamente o fator Performance e a eficiência de custos.

6.4.3 Disponibilidade e Flexibilidade:

A Disponibilidade do OEE é influenciada pela Confiabilidade (MTBF - Mean Time Between Failures) e Manutenibilidade (MTTR - Mean Time to Repair). O projeto abordou esses pontos através dos requisitos de engenharia:

Modularidade e MTTR: A exigência de modularidade na concepção dos postos de trabalho permite que reparos ou a passagem de etapas (bypass) sejam concluídos em até um turno (8 horas) ou no máximo em um final de semana. Isso reduz drasticamente o MTTR, garantindo um retorno rápido à produção em caso de falha de um módulo específico (p. ex., Estação de Corte, Mecanismo de Deslocamento Lateral ou Buffer).

Flexibilidade (SMED) e Novos Part Numbers: O aumento da diversificação de produtos (increase in basket part numbers) exige alta Flexibilidade. A linha foi projetada com o requisito de realizar trocas de formato (changeovers) de maneira eficiente, com o objetivo de realizar o processo em menos de 10 minutos. A aplicação dos princípios de SMED (Single Minute Exchange of Die) é crucial para garantir que as paradas programadas para mudança de produto não prejudiquem a Disponibilidade operacional.

6.5 Controle e Capacidade de Qualidade (Cpk):

O fator Qualidade do OEE e a busca pelo Índice de Capacidade do Processo (Cpk) superior aos requisitos de engenharia foram pilares do projeto, visando a eliminação de falhas de montagem e o aumento da confiabilidade do produto.

6.5.1 Análise de Risco e Controles Críticos:

A utilização da PFMEA (Análise do Modo e Efeito de Falha do Processo) durante a concepção da linha permitiu que os requisitos críticos de qualidade e desempenho fossem tratados preventivamente. Os controles críticos inseridos no projeto incluem:

Monitoramento da Estação de Spinforming e Usinagem: A qualidade dimensional e superficial é essencial. A linha incorpora monitoramento de desgaste e lubrificação das ferramentas na Estação de Spinforming (Grooving) e Usinagem. O desgaste da ferramenta é uma das maiores causas de variação dimensional, o que impactaria diretamente o Cpk. O controle proativo garante a repetibilidade e a padronização do cesto.

7 Conclusão

Este trabalho apresentou um estudo de caso técnico sobre o desenvolvimento e a implementação do projeto, voltado à criação de uma linha automatizada para a fabricação de cestos de aço inoxidável destinados a lavadoras de roupas de eixo vertical na Empresa X. A pesquisa, de caráter aplicado e abordagem qualitativa, permitiu uma análise aprofundada de um projeto industrial real, alinhado aos princípios da Indústria 4.0 e da filosofia Lean Manufacturing.

A metodologia utilizada incluiu análise documental, benchmarking técnico, entrevistas com um time multifuncional, e avaliação de KPIs industriais, como OEE, MTBF, MTTR e Cpk. O estudo evidenciou a necessidade da empresa em modernizar sua produção diante do aumento da demanda e da crescente complexidade dos produtos, exigindo uma resposta robusta em termos de eficiência, flexibilidade e qualidade.

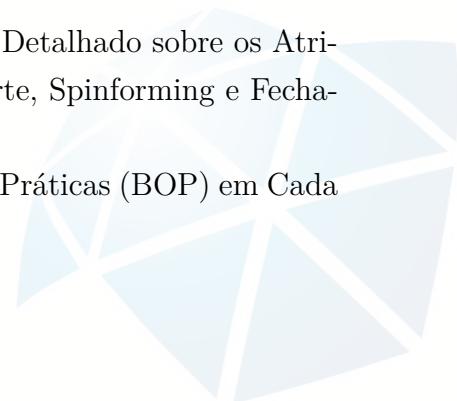
A nova linha de produção foi projetada com base em pilares da Manufatura Ágil — modularidade, flexibilidade, reconfigurabilidade e escalabilidade — permitindo trocas rápidas de modelos, adaptações futuras e expansão com baixos investimentos adicionais. A integração com a Indústria 4.0 viabilizou a coleta e análise contínua de dados para rastreabilidade e suporte à tomada de decisão técnica.

O processo produtivo foi descrito estação a estação, detalhando-se as funções críticas de equipamentos como decoiler, cortadora, sistema de movimentação robótica, spinning, crimpagem e usinagem final, evidenciando a sinergia entre automação, controle de qualidade e ergonomia operacional.

Conclui-se que o projeto representa um avanço significativo na modernização fabril da Empresa X, servindo como referência prática para a aplicação de tecnologias industriais emergentes. O case reforça a importância da engenharia integrada e da inovação contínua como fatores estratégicos para competitividade e sustentabilidade no setor de manufatura de eletrodomésticos.

7.1 Sugestão para futuros projetos

- 1) Análise de Desempenho e Ganhos de Eficiência na Implementação da Linha Automatizada
- 3) Otimização de Processos de Conformação: Um Estudo Detalhado sobre os Atributos de Design de Ferramentas e Máquinas Críticas (Corte, Spinning e Fechamento)
- 3) Análise Detalhada dos Requisitos de Engenharia e Boas Práticas (BOP) em Cada Estação da Linha Automatizada.



Referências

- ALMEIDA, S. M. *Fundamentos da Estampagem e Conformação*. [S.l.]: S.n., 2009.
- ALVAREZ, J. C. C.; SOLER, J. A. O. *Processos de Fabricação Industrial – Teoria e Aplicações*. [S.l.]: S.n., 1966. 13–14 p.
- BARNES, R. M. *Instrumentação e Controles para Operações Industriais*. [S.l.]: S.n., 1977.
- BLACK, J. T. *Planejamento e Controle de Produção*. [S.l.]: S.n., 1998. 278 p.
- CHIAVERINI, V. *Manutenção Industrial – Conceitos e Práticas*. [S.l.]: S.n., 1986. 104 p.
- CORRÊA, H. L.; CORRÊA, C. A. *Administração da Produção e Operações*. [S.l.]: S.n., 2008. 605–607 p.
- GHINATO, P. *Logística e Gestão da Cadeia de Suprimentos*. [S.l.]: S.n., 2004.
- GIL, A. C. *Metodologia de Pesquisa e Estudo de Caso*. [S.l.]: S.n., 2002.
- HEIZER, J.; RENDER, B. *Administração de Operações*. [S.l.]: S.n., 2001. 349 p.
- KALPAKJIAN, S.; SCHMID, S. R. *Fundamentos de Tecnologia Mecânica*. [S.l.]: S.n., 2014.
- Lean Institute Brasil. *Guia Prático Lean Manufacturing*. [S.l.]: S.n., 2015.
- Léxico Lean. *Glossário Lean – Terminologia e Conceitos*. [S.l.]: S.n., 2015.
- MARTINS, P. G.; LAUGENI, F. P. *Administração da Produção*. [S.l.]: S.n., 2005. 466 p.
- MEROZ, R.; CUENDET, G. *Controle Estatístico da Qualidade*. [S.l.]: S.n., 1980. 165 p.
- Ministério do Trabalho e Emprego (Brasil). *Norma Regulamentadora NR-12 – Segurança no Trabalho em Máquinas e Equipamentos. Anexo VIII*. Brasília, DF: [s.n.], 2015.
- MONDEN, Y. *Sistemas de Produção – Fundamentos JIT*. [S.l.]: S.n., 1984.
- MOURA, L.; BANZATO, E. *Planejamento e Layout Industrial*. [S.l.]: S.n., 1996.
- NAKAJIMA, S. *Manutenção Produtiva Total (TPM)*. [S.l.]: S.n., 1989.
- NAKAJIMA, S. *Introdução à TPM*. [S.l.]: S.n., 1991.
- OHNO, T. *Just-In-Time – História e Prática Toyota*. [S.l.]: S.n., 1997.
- SCHAEFFER, L. *Gestão da Qualidade Total*. [S.l.]: S.n., 2004.
- SHINGO, S. *Revolução na Produção: Conceitos e Métodos*. [S.l.]: S.n., 1996.
- SHINGO, S. *A Revolução na Produção Toyota*. [S.l.]: S.n., 2000.
- SLACK, N. et al. *Gestão de Operações – Estratégia e Análise*. [S.l.]: S.n., 2019.

WOMACK, J. P.; JONES, D. T. *Lean Thinking – Pensamento Enxuto*. [S.l.]: S.n., 1998. 3 p.

WOMACK, J. P.; JONES, D. T.; ROOS, D. *A Máquina que Mudou o Mundo*. [S.l.]: S.n., 2004.

YIN, R. K. *Estudo de Caso: Planejamento e Método*. [S.l.]: S.n., 2015.

YOSHIDA, K. *Confiabilidade e Manutenção Industrial*. [S.l.]: S.n., 1979.

