

**UNIVERSIDADE ESTADUAL DO RIO GRANDE DO SUL
UNIDADE UNIVERSITÁRIA PORTO ALEGRE
CURSO SUPERIOR DE TECNOLOGIA EM AUTOMAÇÃO INDUSTRIAL**

ADRIANO DOS SANTOS MATHES

**ESTUDO DE CASO NA AUTOMAÇÃO DE SISTEMA DE CONJUNTO DE
ESTAMPAGEM E SOLDAGEM**

**PORTO ALEGRE
2021**

ADRIANO DOS SANTOS MATHES

**ESTUDO DE CASO NA AUTOMAÇÃO DE SISTEMA DE CONJUNTO DE
ESTAMPAGEM E SOLDAGEM**

Monografia a apresentada como requisito parcial para obtenção do título de Tecnólogo em Automação Industrial na Universidade Estadual do Rio Grande do Sul.

Orientador: Prof. Dr. João Alvarez Peixoto.

PORTO ALEGRE

2021

ADRIANO DOS SANTOS MATHES

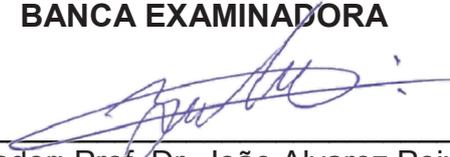
**ESTUDO DE CASO NA AUTOMAÇÃO DE SISTEMA DE CONJUNTO DE
ESTAMPAGEM E SOLDAGEM**

Monografia a apresentada como requisito parcial para obtenção do título de Tecnólogo em Automação Industrial na Universidade Estadual do Rio Grande do Sul.

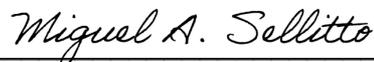
Orientador: Prof. Dr. João Alvarez Peixoto.

Aprovado em: 10 / 12 / 2021

BANCA EXAMINADORA



Orientador: Prof. Dr. João Alvarez Peixoto
Universidade Estadual do Rio Grande do Sul – UERGS



Prof. Dr. Miguel Afonso Sellitto
Universidade Estadual do Rio Grande do Sul – UERGS



Prof. Dr. Rogério Luis Thum
Universidade Estadual do Rio Grande do Sul – UERGS

PORTO ALEGRE

2021

Dedico este trabalho a Deus que me proporciona o dom da vida, de igual forma a meus pais que sempre me incentivaram a estudar, mesmo nas dificuldades encontradas, pois acreditavam em meu potencial, e por fim dedico a minha esposa Renata e filhos Leonardo e Lorenzo, pois nesse longo período de dedicação aos estudos, sempre pude contar com o apoio e compreensão deles, e sem isso, teria sido muito mais difícil.

AGRADECIMENTOS

Agradeço a minha família que tanto me apoiou neste desejo de cursar um curso superior, ao fato de me incentivarem mesmo quando parecia que eu iria desistir, foram momentos em que as dúvidas vieram e nos fizeram refletir sobre a necessidade de fazer um curso superior, mas em todos eles a união e a fé de nossa família fizeram com que fortalecesse em mim a vontade de seguir em frente e não desistir do sonho de infância.

Agradeço à minha esposa Renata, a qual foi companheira e incentivadora durante esse tempo de estudos e dedicação, foram muitas noites, em que antecediam às provas, que ela ficava comigo estudando e fazendo as perguntas das listas e dos materiais e me esperava com sorriso no rosto mesmo saindo as 5 horas da manhã e chegando próximo da meia noite, mesmo assim sempre me apoiou e incentivou para que eu não parasse. Durante esse período me presenteou com mais um filho o Lorenzo, que nasceu no dia da aula de Sistemas de Controle C, do professor João. Ele veio encher ainda mais de alegria a nossa casa que já contava com o mano Leonardo.

Agradeço aos meus filhos, pois não pude ser tão presente como gostaria, mas nunca deixei de dar amor e carinho quando estávamos juntos, muitas brincadeiras e jogos para compensar os dias da semana em que o Léo nem me via, pois quando saía ele estava dormindo e quando eu chegava ele já estava dormindo novamente.

Agradeço ao meu irmão André e minha cunhada Carla que as vezes me ligavam para tomar um cafezinho na passada, na hora que eu estava voltando para casa depois de um dia longo de trabalho e estudos. Agradeço à minha irmã Jéssica que sempre me apoio e incentivou a realizar o sonho de infância, pois gostava de montar e desmontar coisas desde novo.

Agradeço ao meu pai Irio Mathes que sempre incentivou a minha busca por estudos e qualificação, mesmo não tendo condições financeiras, sempre me mostrava o caminho dos estudos, desde 1998 quando me incentivou a ir fazer os cursos do Senai. Agradeço pela compreensão de minha ausência em muitos finais de semana e convites para pescarias, pois me dediquei e dedico aos estudos.

Agradeço à minha mãe Erci dos Santos Mathes, ela mais do que ninguém foi a grande mentora de todos os meus desejos, ela que me incentivava e me cobrava para

conseguir passar nas provas e tirar notas boas, com ela não adiantava passar de ano tinha que ter notas ótimas. Sempre foi atenciosa, carinhosa e amorosa, faz muita falta não tê-la presencialmente nesse momento, ironia do destino, mais continuo seguindo os passos que me ensinou desde sempre.

Agradeço aos meus colegas de empresa, sem eles não seria possível a realização desse trabalho, pois houve muita colaboração e empenho de todos para a execução do projeto na Gestamp, quanto para me ajudar a coletar dados para o desenvolvimento dessa monografia.

Agradeço aos meus colegas de faculdade que sempre me apoiavam e incentivavam a estudar, fazer o “cafezito” antes das aulas, aquelas cucas fabulosas com “chimia”, aquelas piadinhas de peões com certeza tornaram o ambiente menos tenso e desgastante, possibilitando assim a continuação dos semestre e anos.

Agradeço ao meu orientador professor João Alvarez Peixoto, pelas inúmeras vezes que me apoiou e me mostrou o melhor caminho a seguir durante a elaboração desse trabalho, mesmo quando tive que parar durante o COVID-19, agradeço por toda a sua dedicação e empenho para com o Curso Tecnólogo em Automação Industrial e a UERGS, o seu apoio e empenho a ajudar os alunos, o curso e à instituição UERGS são exemplares.

Agradeço aos professores da UERGS pois mesmo com dificuldades e empecilhos de uma universidade pública, procuram sempre ministrar aulas da melhor maneira possível.

Por fim agradeço a UERGS propriamente dito, pois é uma universidade pública e de muita qualidade que resiste ao tempo, fornecendo ensino gratuito à comunidade.

“Segura na mão de Deus e vai
Se as tristezas desta vida quiserem te sufocar
Segura na mão de Deus e vai
“Segura na mão de Deus, segura na mão de Deus
Pois ela, ela te sustentará
Não temas segue adiante e não olhes para trás
Segura na mão de Deus e vai
Segura na mão de Deus e vai
Orando, jejuando, confiando e confessando
Segura na mão de Deus e vai
Segura na mão de Deus e vai
Jesus Cristo prometeu que jamais te deixará
Segura na mão de Deus e vai. ”

Nelson Monteiro Da Mota

RESUMO

A automação de processos de fabricação já existentes torna-se uma demanda cada vez mais necessária para a adequação das empresas a esse novo cenário, que está sendo inserido nos mercados. A procura pela redução de perdas, eliminação de prejuízos e redução de custos para a produção, torna-se cada vez mais necessário para a manutenção e permanência das atividades fabris. O grande desafio para as empresas é produzir mais e melhor com menos. Mas como fazer com que isso ocorra? Fazendo investimentos em máquinas e soluções modernas para a produção de bens e serviços nem sempre são o caminho mais favorável para as adequações dos processos, nem as empresas possuem recursos financeiros e tempo disponíveis para realizar investimentos em soluções que possam demandar um tempo elevado para o retorno do capital investido. A solução, em alguns casos, pode ser a modernização de linhas de produção, reformas de máquinas, implementações de linhas de produção, inserção de máquinas em linhas de produção já existentes, montagens de células de produção para adequar as máquinas em formatos que possibilitem a redução de estoques internos, movimentações e superproduções. Este projeto tem como objetivo realizar um estudo de caso de uma automação realizada em um processo de estampagem, onde foi inserido uma máquina de solda a ponto, com alimentação automática de parafusos. Para realizar o trabalho foi avaliado as perdas e desperdícios dos processos individualizados anteriormente à automação, com os indicadores chave de desempenho (KPIs) como produtividade, qualidade, eficácia e eficiência foram analisados para a determinação das atividades a serem realizadas afim de eliminar ou reduzir atividades ou etapas que geravam problemas na produção, atrasos na entrega dos produtos e problemas de qualidade aos clientes. O conceito de logística reversa, utilizada para a reutilização de máquinas obsoletas, possibilitou o reaproveitamento dos equipamentos já desativados de outros projetos, fazendo com que os custos da implementação do novo processo fossem ainda menores e mais enxutos. Para esse projeto, foram ligadas as máquinas em rede industrial, para que as mesmas pudessem ter uma comunicação direta e funcionar de forma síncrona, ou seja, trabalhem de forma simultânea, cada uma fazendo sua operação, sem prejudicar a outra. Foram utilizados meios que permitissem a intercambialidade dos programas de fabricação dos demais itens estampados, para que não gerassem outro tipo de problema ao processo. O presente trabalho serviu como base para o levantamento dos pontos críticos do processo e a determinação das ações realizadas para reduzir ou eliminar as perdas do processo. Com a utilização de comparativos entre os modelos de produção das peças antes e após a automação foi possível observar que, para se realizar atividades que requerem investimentos, tanto de mão de obra quanto financeiros, são necessárias avaliações criteriosas quanto aos custos, para que não se faça automação só por fazê-la, pois isso pode ser muito prejudicial a economia da empresa. Através da automação realizada foi possível obter melhorias significativas nos indicadores de qualidade, produtividade, OEE, obtendo a redução dos custos gerados com peças processadas e refugadas.

Palavras-chaves: OEE. Indicadores Chave de Desempenho. Automação. Logística Reversa. Investimentos. Refugos. Células de produção.

ABSTRACT

The automation of already existing manufacturing processes becomes an increasingly necessary demand for companies to adapt to this new scenario that is being introduced in the markets, the search for the reduction of losses, elimination of losses and cost reduction for the production becomes increasingly necessary for the maintenance and permanence of manufacturing activities. The big challenge for companies is to produce more and better with less, and how to make this happen? Making investments in modern machines and solutions for the production of goods and services is not always the most favorable way to adapt processes, but companies do not always have the financial resources and time available to invest in solutions that may require a long time to the return on invested capital, but the solution in some cases may be the modernization of production lines, machine reforms, implementation of production lines, insertion of machines into existing production lines, assembly of production cells to adapt the machines in production formats that enable the reduction of internal stocks, movements and overproductions. This project aims to carry out a case study of an automation carried out in a stamping process where a spot welding machine with automatic screw feed was inserted. , key performance indicators (KPIs) such as productivity, quality, effectiveness and efficiency were analyzed to determine the activities to be performed in order to eliminate or reduce activities or steps that generated production problems, delays in product delivery and quality problems in customers. The concept of reverse logistics, used for the reuse of obsolete machines, made it possible to reuse equipment that had already been deactivated from other projects, making the costs of implementing the new process even smaller and leaner. For this project, the machines were connected in a network so that they could have direct communication and work synchronously, that is, work simultaneously, each one doing its own operation without harming the other. Means were used that allowed the interchangeability of the manufacturing programs of the other stamped items so that they would not generate another type of problem for the process. The present work served as a basis for the survey of critical points in the process and the determination of actions taken to reduce or eliminate process losses. With the use of comparisons between the production models of the parts before and after automation, it was possible to observe that, in order to carry out activities that require both labor and financial investments, careful cost assessments are necessary, so as not to do automation just for the sake of doing it, as this can be very detrimental to the company's economy. Through the automation carried out, it was possible to obtain significant improvements in the indicators of quality, productivity, OEE, and a reduction in the costs generated with processed and scrapped parts was obtained.

Keywords: OEE. Key Performance Indicators. Automation. Reverse logistic. Investments. Refuses. Production cells.

LISTA DE ILUSTRAÇÕES

Figura 1 – Pirâmide da automação	29
Figura 2 - Esquema de estrutura básica de um CLP	30
Figura 3 - Simbologia e aplicação	32
Figura 4- Tipo de Redes versus quantidade de dados transmitida	35
Figura 5 - Prensa de 20t antes do processo de <i>retrofit</i>	38
Figura 6 - Prensa de 20t depois da automação e <i>retrofit</i>	41
Figura 7 - Exemplo do desenho da peça em 2D	42
Figura 8 - Exemplo de desenho em 3D	43
Figura 9 - Etapas manuais de prensagem dos componentes	43
Figura 10 - Operadora da linha de prensagem com dois estágios A e B	44
Figura 11 - Célula de prensagem pós-automatização	45
Figura 12 - Linha de prensagem automatizada	45
Figura 13 - Quadro de acionamento de Inversor de frequência, controlador (CLP) e tela IHM	47
Figura 14- Prensa extrusora após a automação.	48
Figura 15 - Fluxograma de desenvolvimento da automação do processo de estampagem e soldagem a ponto de componentes metálicos	51
Figura 16 - Esquema de ligação e comunicação <i>Profibus</i>	56
Figura 17 - Máquinas utilizadas na automação do processo	57
Figura 18 - Programação das tarefas	59
Figura 19 - Telas de IHM criadas para parametrização e controle de solda.	60
Figura 20 - Rede <i>Profibus</i> física do projeto	61
Figura 21 - Esquema de ligação máquina de solda ponto.	61
Figura 22 - Componentes pneumáticos da máquina de alimentação de pinos	62
Figura 23 - Diagrama esquemático do circuito pneumático	62
Figura 24 -Tabela de entradas e saídas solda a ponto	63
Figura 25 - Programa de CLP em <i>Ladder</i>	64
Figura 26 - Atividades realizadas com máquina parada	65
Figura 27 - Plano de controle de troca de ferramenta	65
Figura 28 - Parâmetros máquina de solda.	66
Figura 29- Controlador da máquina de solda a ponto.	67

Figura 30 - Plano de controle produto estampado e solda a ponto.	68
Figura 31 - Verificações da qualidade de solda do pino.....	69
Figura 32 - Alerta de Qualidade.	70
Figura 33 - Gráfico produção versus quantidade de defeitos.....	71
Figura 34 - Verificação da Qualidade de solda do pino.....	72
Figura 35 - Caixas de peças durante processo.....	73
Figura 36 - Planta baixa do estoque e movimentação de peças.....	74
Figura 37 - Máquina de solda manual e Pistola automática com alimentação de pinos.	77

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 - Resultados antes da automação da prensa	39
Tabela 2 - Faturamento diário antes da automação da prensa	39
Tabela 3 - Capacidade da prensa depois da automação	39
Tabela 4 - Faturamento diário depois da automação da prensa	40
Tabela 5 - Comparativo antes e depois da automação	44
Tabela 6- Quantidade produzida mês versus refugos gerados no processo	53
Tabela 7 - Serviços, Materiais e horas de trabalho	58
Tabela 8 - Comparativo Produtividade quantidade de pessoas e quantidade de peças	71
Tabela 9 - Média de produção versus taxa de refugos e saldo em reais.	75
Tabela 10 - Comparação produtividade Homem/hora.....	76
Tabela 11 - Índice de refugos versus produção mensal antes e pós automação.....	78
Tabela 12 - Indicadores de Desempenho-KPIs.....	80
Tabela 13 - Comparativo financeiro do projeto.....	81

LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

CLP	Controlador Lógico Programáveis
CLT	Consolidação das Leis Trabalhistas
FBD	Diagrama de blocos funcionais (<i>Function Block Diagram</i>)
GEPROS	Gestão da Produção, Operações e Sistemas
GM	<i>General Motors</i>
ID	Índice de Disponibilidade
IEC	<i>International Electrotechnical Commission</i>
IHM	Interface Humano-Máquina (<i>Interface Human Machine</i>)
IL	Lista de instruções (<i>Instruction List</i>)
IP	Índice de Performance
IQ	Índice de Qualidade
JIT	Produção no tempo necessário (<i>Just in Time</i>)
KPI	Indicadores chaves de desempenho (<i>Key Performance Indicators</i>)
LT	Tempo de atravessamento (<i>Lead-Time</i>)
OEE	Eficiência geral do equipamento (<i>Overall Equipment Effectivenss</i>)
OSI	Conexão em sistema aberto (<i>Open Systems Interconnection</i>)
PLC	Controlador lógico programável (<i>Programmable Logic Controller</i>)
UERGS	Universidade Estadual do Rio Grande do Sul
SFC	Sequencial gráfico de função (<i>Sequential Function Chart</i>)
SIMPEP	Simpósio de Engenharia de Produção
SP	São Paulo
ST	Texto estruturado (<i>Structurad Text</i>)
STP	Sistema Toyota de produção
TPM	Manutenção Produtiva Total
UFRGS	Universidade Federal do Rio Grande do Sul
UNESP	Universidade Estadual Paulista
USP	Universidade de São Paulo

LISTA DE SÍMBOLOS E UNIDADES DE MEDIDA

A	Ampére
I	Corrente elétrica
V	Tensão elétrica
Vcc	Tensão de corrente contínua
RPM	Rotações por minuto

1 INTRODUÇÃO

Usar a criatividade para melhorar a qualidade de vida e do ambiente a seu favor, tem sido desde sempre um desejo dos seres humanos. De acordo com Rosário (2009), esse desejo é almejado para uma melhor qualidade de vida. Com isso, ao passar dos tempos, processos produtivos foram sofrendo alterações em suas concepções, com o intuito de se aproveitarem de melhor forma o potencial das máquinas e instalações, de seus recursos humanos e financeiros, visando sempre uma melhor eficácia das máquinas e a utilização de recursos disponíveis, evitando assim desperdícios.

Com o passar dos anos, novas criações e equipamentos surgiram e foram substituindo processos produtivos artesanais e manuais, os quais ofereceram mais agilidade e redução de custos aos processos. Nesse cenário, na metade do século XVIII, surgiram as primeiras máquinas a vapor, construídas na Inglaterra, segundo Mendes (2018). As máquinas utilizadas nesse período foram responsáveis pela primeira revolução industrial e já tinham como objetivo o aumento de produção e maior produtividade, por consequência, maior lucratividade por parte dos empresários.

Klaus Schwab (2016) explica que a segunda revolução industrial, que teve seu início marcado pelo uso da eletricidade e o uso das linhas de montagens e que permitiram utilizar produções em grandes quantidades, no final do século XIX.

Por sua vez, a terceira revolução industrial que iniciou na década de 1960, também foi conhecida como a revolução digital ou do computador, foi promovida pelo avanço tecnológico de sistemas automatizados, que garantiam a repetitividade dos processos, padronizando a manufatura dos produtos e processos.

Para Schwab (2016), atualmente estamos vivendo a quarta revolução industrial, a qual na primeira década desse século e tem como base a revolução digital. Essa quarta revolução tem como particularidade uma *internet* global e móvel, a comunicação entre as máquinas, sensores cada vez menores e mais potentes, inteligência artificial (IA) e aprendizagem automática.

Com o aumento da produção em grandes escalas e a inserção de linhas de produção cada vez mais enxutas e dinâmicas, as empresas buscam a atualização perante o mercado e as novas tecnologias para continuarem competitivas e rentáveis perante a concorrência, com isso a necessidade de controle dos processos torna-se

cada vez mais necessário. A melhoria contínua é uma prática adotada pelas empresas, principalmente do setor automobilístico, que visa atingir continuamente, como o próprio nome diz, resultados cada vez melhores, sejam eles em produtos, serviços, processos internos e qualidade de trabalho para as pessoas. E estão vinculados diretamente a necessidade de redução de custos.

Segundo Kotler (2000): “é mais fácil uma empresa ser destruída por concorrentes emergentes e por novas tecnologias do que por concorrentes atuais”. Dessa forma, empresas que investem em melhoria contínua de processos estão tendenciosamente a serem destaques em gestão e qualidade de seus produtos ou serviços, e por isso serem diferenciais perante a concorrência.

A globalização trouxe ao mercado brasileiro a necessidade de padrões de qualidade, antes encontrados somente em países desenvolvidos. Mesmo as empresas que, só fornecem para o mercado de produção nacional, foram forçadas a se estruturarem de forma a atingir níveis de eficiência das operações e qualidade de seus produtos de forma a manterem o padrão de qualidade e custos de produção em qualquer parte do mundo.

Com isso, segundo Pansonato (2020), empresas do ramo automotivo praticam constantemente o processo de *Lean Manufacturing* (LM), *Lean Production* (LP), ou manufatura/ produção enxuta, que teve sua origem a partir do Sistema Toyota de Produção (STP), surgido no Japão após a segunda guerra mundial, criada pelo engenheiro Taiichi Ohno, e tinha como objetivo reerguer a empresa e minimizar os efeitos gerados pela guerra. As principais características do sistema *Lean* são os sistemas *Just in Time*, 5S e principalmente a redução de desperdícios. Os oito principais efeitos estão descritos a seguir:

- a) Redução de defeitos: acontecem quando um produto ou serviço não pode seguir o fluxo correto;
- b) Espera: é relacionada ao tempo entre etapas do processo, geralmente ligadas às falhas em processos anteriores ou posteriores;
- c) Transporte: está relacionado com a movimentação de estoque, equipamentos, matérias-primas e pessoas de forma desnecessária;
- d) Estoque: está relacionado a diferença entre o pedido do cliente e o produzido pela empresa, se essa relação for maior na produção, os produtos terão que serem estocados, até terem a demanda de pedidos;

- e) Movimento: está relacionado à movimentação de pessoas, peças e produtos, durante as etapas do processo, geralmente ligadas a falhas de leiaute ou de fluxos entre as etapas;
- f) Processamento excessivo: está relacionado com etapas desnecessárias na produção ou prestação de serviços;
- g) Superprodução: está relacionado com a produção demasiada de determinado produto, antes que o mesmo seja pedido pela próxima etapa ou para o cliente final;
- h) Habilidades: está relacionado ao desperdício de potencial humano, quando não se aproveita o potencial dos funcionários em mais de uma etapa do processo.

Segundo Sales (2019), indústrias de diversos ramos, como por exemplo, alimentício, química, mineração, papel e celulose, entre outras, utilizam a automação para aperfeiçoar seus processos produtivos e conseqüentemente aumentar a segurança dos processos, segurança operacional, aumento de qualidade e de produtividade.

Contudo, o controle adequado dos processos também necessita de métricas que mensurem e ajudem as empresas e as pessoas nas tomadas de decisões, tendo em vista que, para uma correta abordagem em um determinado processo a ser melhorado necessita de parâmetros de produção, de qualidade, de disponibilidade, de investimentos, entre outros.

Para tanto, segundo a Equipe Totvs (2018) é necessário estabelecer *Key performance Indicators* (KPIs), ou indicadores chaves de desempenho, que norteiam e apoiam nas tomadas de decisões. Esses indicadores servem para definir, analisar, medir, implementar e controlar processos, antes e após as melhorias. Sendo assim esses KPIs ajudam a diagnosticar a situação dos processos, demonstrando através análises críticas de pontos fortes e fracos, ajudando a encontrar soluções para os gargalos e servindo como base para a tomada de decisões e para a execução de futuras melhorias do processo em análise. Processos como esses são baseados na metodologia de manufatura digital, que tem por objetivo visualizar melhor as etapas de produção de um determinado item, os custos envolvidos e os recursos necessários para implementar projetos, que tenham por objetivos a redução de custos e otimização de tempo gasto para realizar determinadas tarefas ou processos.

Neste contexto, o presente estudo, pretende abordar uma análise comparativa de métricas e funcionalidades de uma ferramenta de estampagem e uma máquina de

solda a ponto, antes e depois de sua automação, para servir de parâmetro para a tomada de decisão gerencial sobre a automação de processos industriais semelhantes.

1.1 PROBLEMÁTICA

De acordo com Ribeiro (2001), a automação surgiu da necessidade de substituir os trabalhos manuais pesados por máquina. Logo, a automação é um tipo de controle inserido ao processo para que se haja o mínimo de interferência humana, durante as diversas etapas do processo ou de fabricação de um determinado produto ou serviço.

Rosário conceitua automação da seguinte maneira: “é todo processo que realiza tarefas e atividades de forma autônoma ou que auxilia o homem em suas tarefas do dia a dia” (ROSÁRIO, 2009).

Diante da forte exigência dos clientes internos e externos, as empresas estão investindo cada vez mais em projetos que reduzam os oito desperdícios que são abordados no sistema *Lean*, com o intuito de manterem-se em constante atualização tecnológica, buscando a viabilização de seus produtos ou serviços.

Diante disso, percebe-se a necessidade de criação, da utilização e de avaliação de KPIs, para avaliar se é viável a implementação de alguma tecnologia ou processo novo para as empresas, com bases em valores definidos e métricas de produção, avaliação de *Lead time*, *Takt time*, retorno do investimento (*Return Of Investment - ROI*) de processos, com base em parâmetros pré-definidos justifica-se o investimento em automação de processos.

Porém o controle pós-automação desses KPIs também é de grande importância para servir como base fundamentada para a determinação de investimentos futuros, em melhorias de outros processos ou serviços, e servir como referenciais para futuras pesquisas sobre o uso da automação para a obtenção de melhorias em indicadores de produção, qualidade de produtos ou serviços.

1.2 HIPÓTESE

Realizar um estudo de forma sistemática e com embasamento técnico-

científico dos indicadores e métricas de produção e de desempenho, antes e depois da automação de uma ferramenta de estampagem de chapas metálicas. Peças essas que fazem parte de um conjunto com parafusos soldados através de solda ponto. Esse conjunto faz parte de carroceria de automóveis, fabricados em montadora de veículos do complexo industrial automotivo de Gravataí- CIAG-RS.

Segundo Cardoza e Carpinetti (2005), uma vantagem alcançada quando desenvolvido e implantado os conceitos de avaliação de desempenho no sistema de produção enxuta é a quantidade de informações que são reunidas das diversas áreas da empresa. Com isso, é possível identificar com mais segurança os problemas dos processos e elaborar os eventos de melhoria (*kaizen*), que busquem mais eficiência em processos produtivos e administrativos (KRAJEWSKI, LEE J.; RITZMAN, LARRY P.; MALHOTRA, 2008).

1.3 OBJETIVOS

O principal objetivo do trabalho é implementar a automação de um equipamento de manufatura de estampagem com soldagem, analisando as funcionalidades e métricas antes e após o processo de automatização.

Para que este objetivo seja alcançado, objetivos menores e específicos são buscados, de forma a garantir o processo de investigação e aprendizagem, com foco na comprovação da hipótese elencada para o trabalho.

Os objetivos específicos são:

- a) identificar as funcionalidades e métricas do equipamento em processo manual;
- b) definir os indicadores que se deseja mudar com automação;
- c) estudar os métodos para automação de processos de manufatura iguais ou semelhantes;
- d) implementar a automação do equipamento;
- e) identificar as funcionalidades e métricas do equipamento automatizado;
- f) analisar o efeito e as peculiaridades da automação do processo;
- g) divulgar os resultados.

Uma vez atingidos os objetivos específicos, e conseqüente objetivo geral, se espera o resultado de uma implementação de automação em um equipamento, obtendo dados significativos que aponte as funcionalidades e métricas obtidas após a

implementação da automação, comparado com sua situação antes de ser automatizado.

2 REFERENCIAL TEÓRICO

O presente trabalho necessita de alguns conhecimentos, para que se possa ter a compreensão do seu conteúdo, a fim de esclarecer e conceituar as técnicas e os assuntos abordados, na realização do projeto. Com isso, na fundamentação teórica, serão relacionados e esclarecidos os componentes utilizados como embasamento para a realização da automação do sistema de prensagem e soldagem a ponto, e posteriormente serão abordados os trabalhos científicos, que serviram de base teórica para a realização desse estudo de caso.

2.1 FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA

Este tópico se dedica ao esclarecimento dos conteúdos teóricos e dos materiais necessários para a execução do trabalho, utilizados pelo pesquisador. Os conteúdos teóricos servirão como base para seguir metodologias, onde serão necessárias a avaliação de parâmetros, métricas e de indicadores, que servirão para a validação da eficácia qualitativa e quantitativa do projeto. Já os materiais utilizados serão explicados quanto ao funcionamento, construção, montagens e comunicação realizadas entre as máquinas.

2.1.1 Indicadores chave de desempenho (*Key performance indicators- KPIs*)

Indicadores chave de desempenho *KPIs* são indicadores utilizados como ferramentas básicas para o gerenciamento do sistema organizacional. As informações são utilizadas para o controle, avaliações e para tomada de decisões sobre o desempenho das atividades das empresas (RODRIGUES; FERRARIN; OLESKO, 2013).

Esses indicadores são formados por valores numéricos, chamados de métricas, que são utilizadas para mensurar, de forma comparativa, as metas estabelecidas para cada indicador, afim de avaliar o desempenho de cada uma, durante um determinado período de tempo.

O objetivo dos indicadores é traduzir de forma numérica o desempenho dos processos em si, de forma a facilitar a gestão e análise detalhada do funcionamento

da atividade. A correta utilização e interpretação desses indicadores possibilita calcular a capacidade produtiva do processo e atuar onde estão apresentando índices baixos dos indicadores, de forma a aumentar a qualidade e a performance geral do processo, produto ou serviço.

Produtividade é um indicador utilizado como ferramenta gerencial para medir o desempenho de economias, indústrias, empresas e processos. A produtividade é o valor dos resultados (produtos ou serviços) produzidos dividido pelo valor dos insumos (salários, custos de equipamentos e outros fatores semelhantes) usados. A Equação 1 demonstra a fórmula de cálculo da produtividade.

$$\mathbf{Produtividade} = \frac{\mathbf{produtos\ e\ serviços\ (saídas)}}{\mathbf{insumos\ (entradas)}} \quad (1)$$

A produtividade também pode ser medida pela quantidade de peças ou serviços realizados por uma pessoa ou máquina, em um determinado intervalo de tempo. Equação 2 demonstra a fórmula para cálculo da produtividade homem/hora.

$$\mathbf{Produtividade\ Homem/ hora} = \frac{\mathbf{produtos\ e\ serviços\ (saídas)}}{\mathbf{tempo\ (horas/turno)}} \quad (2)$$

Contudo, os indicadores de produtividade estão ligados à eficiência do processo, onde busca-se reduzir ao máximo possível os valores agregados à produção, para se obter um retorno maior em relação ao aplicado para se produzir um produto ou serviço.

Segundo Enzo Mariano, a eficiência é a virtude ou característica (que pode ser atribuída a uma pessoa, máquina, processo, técnica ou empreendimento) de conseguir o melhor rendimento com o mínimo de erros, desperdício de energia, tempo, dinheiro ou meios (MARIANO, 2007).

A eficiência de um meio produtivo, pode se confundir com produtividade, que é um indicador da eficiência de um processo ou serviço. Assim, quanto maior a produtividade, mais eficiente ele será. A Equação 3 apresenta a fórmula para cálculo da eficiência, que calculado através do valor obtido de um determinado indicador em relação ao valor máximo que poderia ser alcançado por tal indicador.

$$Efic\i{e}ncia = \frac{Indicador\ de\ desempenho}{Indicador\ de\ desempenho\ 100\%} \quad (3)$$

Por outro lado, eficácia está relacionada ao cumprimento de objetivos traçados. E quanto maior for o alcance das metas estabelecidas pelos indicadores, mais eficaz o processo será. Está relacionada com a melhor maneira de se atingir os objetivos planejados e com o resultado obtido, não com os insumos utilizados para atingi-los (MARIANO, 2007). A Equação 4 demonstra a fórmula para cálculo da eficácia, que é calculada da mesma forma que a eficiência, porém o valor máximo é uma meta estabelecida.

$$Efic\i{a}cia = \frac{Indicador\ de\ desempenho}{Meta\ estabelecida\ do\ Indicador} \quad (4)$$

Outro parâmetro importante é a confiabilidade, que segundo Guilherme Vaccaro, pode ser caracterizada como a probabilidade de um determinado item cumprir algum objetivo especificado sob condições ambientais especificadas em um período de tempo definido (VACCARO, 1997).

Ou seja, um produto ou serviço deve manter sua qualidade com o decorrer dos tempos, mesmo que sofra com a presença de fatores externos, mantendo o produto livre de falhas ou reparos.

De certa forma, para a obtenção da confiabilidade são realizados testes e coleta de dados estatísticos para a análise do comportamento dos produtos. Esses testes podem ser acelerados, simulando todas as possíveis falhas que um produto possa apresentar durante seu processamento ou durante a aplicação final.

O tempo de atravessamento, também conhecido como Lead-Time (LT), é uma das ferramentas de gestão utilizadas pelo sistema *Just in Time*, o JIT, que é propriamente o tempo de processamento de um produto, não necessariamente somente o tempo de fabricação, os tempos de transportes e armazenamentos em estoque também devem ser levados em conta, no momento da determinação do LT.

Um dos principais objetivos das empresas é minimizar o Lead Time, pois permitirá uma maior flexibilização dos seus estoques e controlar de forma mais enxuta os custos com estoques intermediários, prever a necessidade de compra de matérias primas, disponibilizar os equipamentos produtivos para a fabricação de outros

produtos, entre outras (MATTOS; ANGNES, 2009).

Sob a ótica das empresas, dentro dos princípios do sistema JIT, a meta de LT seria “zero”, ou seja, entregar de forma imediata os produtos solicitados pelos clientes. Mas de certa forma esse objetivo não é tangível, pois sempre haverá um prazo de entrega de cada produto. Levando-se em consideração que o sistema JIT, utiliza o sistema de produção puxado, que produz o que realmente é solicitado pelos clientes. Também em algumas empresas utiliza-se os estoques chamados de estoques de segurança, que são quantidades necessárias para entregas emergenciais, caso ocorra algum imprevisto durante o processo produtivo, atrasos de entregas de matérias primas, defeitos em máquinas e equipamentos, aumento da demanda solicitada pelo cliente, entre outras.

O tempo entre produtos, conhecido como Takt Time, está relacionado a taxa de produção que a empresa pode dispor. Segundo Gomes e Corrêa (2018) o Takt Time é o espaço de tempo no qual uma unidade de produto deve ser produzida, isto é, a taxa com a empresa deve produzir para atender a demanda de peças solicitadas pelo cliente (GOMES; CORRÊA, 2018).

As perdas por superprodução e a necessidade de produzir somente o que for pedido pelos clientes, tornaram cada vez mais importante entender o ritmo da demanda solicitada. Para isso deve-se atentar-se para o nível de produção de um determinado produto, para que dentre outras coisas, não altere a entrega e a qualidade dos produtos.

Manter os equipamentos com um takt time ideal, previne paradas desnecessárias e permite dimensionar corretamente os tempos de produção de cada produto, tornando o equipamento mais eficaz, podendo dimensionar se ficam tempos ociosos ou se estão sobre carregados, evitando que os mesmos se tornem “máquinas gargalo¹”. A Equação 5 demonstra como calcular o takt time.

¹ Máquinas gargalo é o termo utilizado para máquinas e/ ou equipamentos que possuem sua carga horária mais comprometida, que seja a mais sobrecarregada, ou que possua o processo mais lento na cadeia produtiva de um determinado produto e/ ou serviço. Disponível em: <https://www.nomus.com.br/blog-industrial/gargalo-de-producao/>. Acessado em: 31 de ago. de 2021.

$$\mathbf{Takt\ time} = \frac{\mathbf{tempo\ de\ operação\ efetiva\ diária}}{\mathbf{quantidade\ de\ produção\ requerida\ diariamente}} \quad (5)$$

É importante atentar-se quando a produção for variada, com pequenos lotes. A utilização do takt time de forma correta é extremamente importante para gerir o processo de fabricação, evitando a produção de lotes diferentes ao solicitados pelos clientes.

O Overall Equipment Effectiveness (OEE), Indicador Geral de Eficácia do Equipamento, ou também conhecido como Indicador Global de Desempenho, é outro indicador que surgiu com o passar dos anos, com base na metodologia Manutenção Produtiva Total- TPM, desenvolvida por Seiichi Nakajima.

OEE é uma ferramenta utilizada pelas empresas para medir, analisar e agir nas perdas de eficiência do processo, podendo ser utilizada em um processo unitário ou no controle total da empresa. O cálculo do OEE mede a eficiência em relação à capacidade do equipamento, mensurando através da análise dos indicadores de Disponibilidade (ID), Performance (IP) e Qualidade (IQ) (NAKAJIMA, 1989). O cálculo do OEE utiliza a fórmula expressa na Equação 6.

$$\mathbf{OEE} = \mathbf{ID} \times \mathbf{IP} \times \mathbf{IQ} \quad (6)$$

O indicador de Disponibilidade (ID) representa a relação entre o tempo total disponível e o tempo efetivo em operação. A Equação 7 demonstra a fórmula de cálculo do índice de Disponibilidade.

$$\mathbf{ID} = \frac{\mathbf{(tempo\ de\ produção\ planejado - tempo\ das\ paradas\ não\ planejadas)}}{\mathbf{tempo\ de\ produção\ planejado}} \quad (7)$$

O indicador de Performance (IP) representa o percentual que o equipamento produziu relativo ao tempo teórico calculado pela engenharia. A Equação 8 demonstra a fórmula de cálculo do índice de Performance.

$$\mathbf{IP} = \frac{\mathbf{(Quantidade\ Produção\ Real)}}{\mathbf{(Quantidade\ Produção\ teórica)}} * 100\% \quad (8)$$

O indicador de Qualidade (IQ) representa o índice percentual de peças boas

de todas as produzidas no período em análise. A Equação 9 demonstra a fórmula de cálculo do índice de Qualidade.

$$IQ = \frac{(\text{quantidade de produtos processados} - \text{quantidade de produtos refugados})}{\text{quantidade de produtos processados}} \quad (9)$$

Os valores obtidos nos índices formam a Equação 6 para se obter o resultado percentual de desempenho do processo. Através da análise desses indicadores, as empresas planejam e agem para melhorar o OEE.

2.1.2 Analisadores econômicos para investimento em automação

Um indicador de grande importância, segundo Moraes (2016), para mensurar investimentos em projetos, utilizados pelas indústrias para se dimensionar o tempo necessário para a recuperação do capital investido, chama-se Retorno de Investimento, conhecido pelo termo em inglês Payback. Ele indica o período no qual os valores adquiridos se tornam iguais aos investidos inicialmente.

As empresas se beneficiam de cálculos de Payback para dimensionar de forma correta o prazo para um projeto, produto e/ou serviço obter efetivamente o lucro esperado. Normalmente esse período é medido em meses ou anos. A Equação 11 demonstra a fórmula para calcular um Payback de um determinado projeto (MORAES, 2016).

$$PAYBACK = \frac{\text{investimento inicial}}{\text{ganho no período}} \quad (11)$$

2.1.3 Processo de estampagem e soldagem a ponto

Estampagem, segundo Chiaverini (1986), é um processo de conformação mecânica, geralmente a frio, que compreende um conjunto de operações, onde a chapa plana é submetida a transformações que modificam sua forma. As chapas sofrem um esforço mecânico, através da força gerada pela prensa, que proporciona uma deformação no material, alterando suas características. O esforço gera uma deformação do material provocando uma mudança na estrutura do aço, fazendo com

o mesmo atinja a chamada zona plástica, permanecendo na forma empregada por dispositivos auxiliares de conformação, chamados moldes, matrizes ou ferramentas.

O processo de estampagem constitui-se de diversas operações que são utilizadas de acordo com a necessidade de cada produto. As operações mais utilizadas são a operação de corte ou puncionamento. É onde o material passa por um cisalhamento da área desejada de acordo com os punções e matrizes utilizadas. A operação de conformação é onde o material sofre propriamente a chamada conformação plástica², obtendo a forma dos moldes ou matrizes. A operação de repuxo é onde o material sofre a maior transformação, pois sofre um estiramento, tendo sua espessura diminuída, a fim de obter-se a forma desejada. Nesse caso utiliza materiais com teores de ductilidade³ maiores que a maioria dos materiais. E por fim, a operação de dobramento onde os materiais são dobrados a fim de obter-se as formas desejadas (KRELLING, 2021).

As máquinas utilizadas para estampagem de chapas metálicas são prensas que fornecem força e energia necessárias para a transformação dos materiais. Geralmente as prensas utilizadas para a conformação de chapas metálicas são do tipo mecânicas, constituídas basicamente por uma parte móvel, chamada de martelo, que é acionado através do movimento das bielas, que transmitem o movimento do volante, o qual é o responsável pela geração de energia cinética, responsável pela força para a conformação das chapas (AZEVEDO, 2003).

Soldagem a ponto por resistência, segundo Douglas Ruiz (2005), é um processo de soldagem que consiste na junção de peças, através da aplicação de pressão e de calor gerado pela aplicação de corrente elétrica, através de eletrodos de cobre, que através da força mecânica na região aquecida e que unem as peças de modo que a região soldada fique com as características físicas iguais ou superiores aos metais de origem.

² Conformação plástica é quando o material ultrapassa a tensão limite de escoamento (deformação elástica), e mantém a mudança dimensional permanente. Disponível em: <http://joinville.ifsc.edu.br/~emerson.oliveira/Processo%20de%20Fabrica%C3%A7%C3%A3o/Noturno/CONFORMA>. Acesso em: 02 set. 2021.

³ Ductilidade é a capacidade de um material sofrer deformação permanente (plástica) quando submetido a um esforço, conceito que define a maleabilidade do material. Disponível em: <http://joinville.ifsc.edu.br/~emerson.oliveira/Processo%20de%20Fabrica%C3%A7%C3%A3o/Noturno/CONFORMA>. Acesso em: 02 set. 2021

Segundo AWS (1995) *apud* Ruiz (2005), a força aplicada na região soldada deve ser aplicada antes, durante e após a passagem da corrente elétrica, para que as peças soldadas não sofram deformações durante o resfriamento da região onde foi aplicada a corrente.

É importante salientar que a solda a ponto por resistência envolve uma enorme interação entre as propriedades físicas, metalúrgicas dos materiais a serem soldados, dependendo dos efeitos externos aplicados a região onde se quer a soldagem, como por exemplo: a pressão de solda, corrente (i) e tensão elétrica (v), tempo de aplicação desses parâmetros.

A solda a ponto necessita que a aplicação dos parâmetros, anteriormente mencionados, seja adequada a cada tipo de produto, ou seja, os valores de corrente e tensão elétricas, bem como a pressão de soldagem, podem variar de acordo com a estrutura dos materiais, espessura das chapas, diâmetros da região de solda (eletrodos).

A aplicação de corrente elétrica (i) a uma determinada tensão (v), proporciona aos materiais aquecimento, até chegarem ao ponto de fusão, onde o mecanismo aplica a pressão, fazendo com as peças se unam através do resfriamento da região soldada.

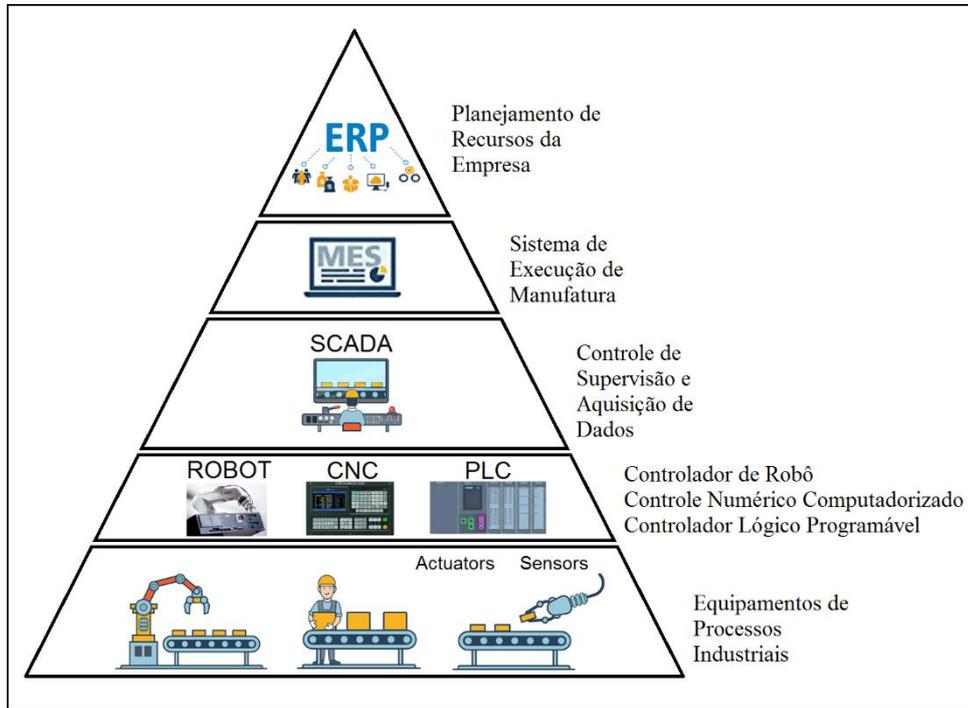
O processo de soldagem a ponto é utilizado em diversos tipos de processos produtivos, tendo seu uso difundido e melhorado ao longo dos tempos, com modernização dos equipamentos, controles em tempo real da qualidade de solda, através de sistema de controle de malha fechada, proporciona uma qualidade melhor da soldagem dos componentes (RUIZ, 2005).

2.1.4 Controladores lógicos programáveis

O Controlador Lógico Programável (CLP) ou PLC (*Programmable Logic Controller*), pode ser definido como um dispositivo computadorizado industrial, capaz de armazenar instruções para o controle de um processo e a implementação de funções e blocos funcionais de um sistema, como por exemplo: sequências lógicas, temporização, contagens, entre outras. Também realiza operações lógicas e aritméticas, manipulação de dados e comunicação em redes. Está localizado no segundo nível da pirâmide de automação industrial (SILVA, 2016), conforme pode ser

percebido na Figura 1.

Figura 1 – Pirâmide da automação



Fonte: Peixoto (2021b).

Desenvolvido na década de 60, pela divisão de projetos da *General Motors* (GM), com o objetivo de eliminar os elevados custos associados a montagens de painéis de controle, montados com relés eletromecânicos, e tinham por características a facilidade de programação e possibilidade de reutilização em diferentes processos, a facilidade de comunicação para diagnósticos de falhas nas linhas de produção (SILVA, 2016).

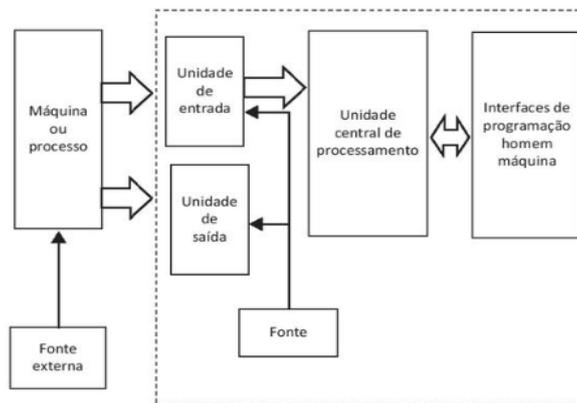
De acordo com a norma IEC 61131-1, um Controlador Lógico Programável é definido como um sistema eletrônico digital, desenvolvido para uso em ambiente industrial, que usa uma memória programável para armazenamento interno de instruções do usuário, para implementações de funções específicas, como lógicas, sequenciamentos, temporização, contagem e aritmética, para controlar, por meio de entradas e saídas, vários tipos de máquinas e processos.

Ainda segundo Silva (2016), o CLP possui um microcontrolador composto por sinais de entrada binários, que em instantes discretos e durante certo intervalo de tempo, ele executa um programa de controle e depois atualiza os valores dos sinais

de saída. As informações de entrada estão disponíveis a todo instante na sua interface, mas só serão copiados na memória, após a operação de leitura. Esse tempo é chamado de SCAN ou tempo de varredura do CLP, que é o tempo em que o valor de entrada pode até mudar, mas só será percebido após a leitura no próximo ciclo de varredura.

Os CLPs são compostos basicamente por: fonte de alimentação, unidade de entrada, unidade central de processamento, interfaces de programação humano máquina e unidade de saídas. A Figura 2 demonstra o esquema básico da estrutura de um CLP.

Figura 2 - Esquema de estrutura básica de um CLP



Fonte: Adaptado de Silva (2016).

A seguir detalha-se a função de cada uma das unidades do CLP:

- Unidade de entrada: recebe os sinais elétricos da máquina ou processo, podendo ser digitais ou analógicas;
- Unidade de saída: recebe os sinais processados internamente pelo CLP e disponibiliza um sinal elétrico de saída, que retorna para o processo ou máquina, através de sinais, que também podem ser digitais ou analógicos, geralmente utilizado por atuadores;
- Unidade de processamento: é conhecido como o “cérebro” do CLP, pois é ela que administra todas as funções, recebe e interpreta os sinais de entrada, executa a lógica de programação e fornece os sinais de saída, conforme o processamento da lógica implementada no programa;
- Fonte de alimentação: é responsável pela adequação e alimentação da energia elétrica necessária para o funcionamento do CLP.

Os CLPs podem conter módulos especiais, que servem para diversificar ainda mais a operacionalidade dos controladores, afim de se tornarem mais versáteis e adaptáveis as necessidades de cada projeto. Esses módulos podem ser utilizados para medições elétricas, contagens rápidas com o uso de encoder, módulos para sensores de passo, módulos para comunicação em rede *ethernet*, entre outros.

Basicamente a diferença entre os CLPs está no número de entradas e saídas, na nomenclatura, simbologia e linguagens de programação (SILVA, 2016).

As entradas e saídas dos CLPs são capazes de trabalhar com uma grande variedade de sinais, os sinais digitais. Também chamados de sinais discretos, geralmente são produzidos por botões, contatos, sensores fornecem sinais booleanos, na forma de “zero“ ou “um”, ou seja, desligado e ligado, respectivamente.

Por outro lado, os CLPs também possuem as chamadas entradas e saídas analógicas, que trabalham em faixas de corrente ou tensão, 0 a 20mA e 0 a 10Vcc, respectivamente. Esses sinais servem para mostrar variações em leituras nas portas de entrada e também atuar de forma proporcional nas portas de saídas, de modo que ao se ter alguma variação, ele atuará proporcionalmente nas saídas, de acordo com a programação instalada. Geralmente, sensores de nível e sensores de temperatura são elementos que produzem sinais analógicos de entrada, enquanto motores e válvulas proporcionais são exemplos de atuadores que utilizam os sinais de saídas analógicas pois variam sua velocidade e abertura conforme os valores programados (GONÇALVES, 2019).

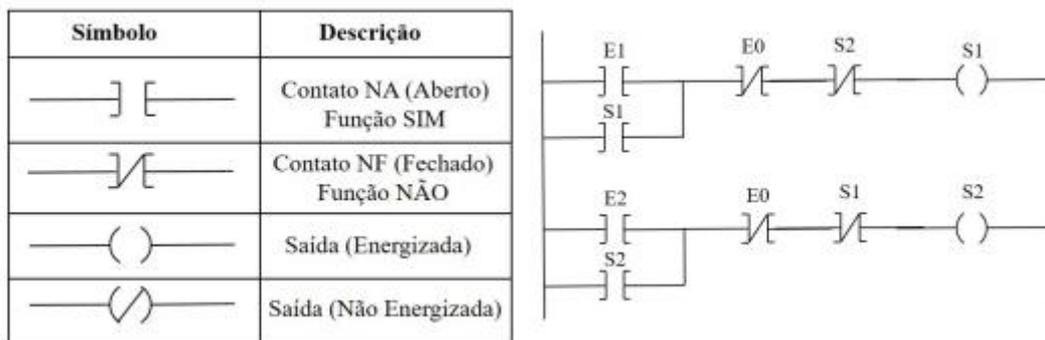
A *International Electrotechnical Commission* (IEC) é uma organização internacional responsável pela padronização de sistemas para produtos elétricos e eletrônicos, dentre as quais é responsável pela padronização das linguagens de CLPs. Com o passar dos anos foram desenvolvidas diversas formas de programação de CLPs. E isso acarretava em elevados custos de preparação dos profissionais envolvidos nas programações, pois era necessário que os mesmos buscassem conhecimento nos mais diversos tipos de controladores, conforme a fabricação de cada marca.

No final da década de 70, a IEC organizou um grupo para estudar e avaliar a aplicação dos controladores. Criaram a norma IEC 61131-3 que define como padrões cinco linguagens de programação (SILVA, 2016).

Segundo Silva (2017), a linguagem mais utilizada em programação de CLPs é

a linguagem *Ladder*, que é uma adaptação gráfica que utiliza padrões de simbologia semelhantes a um diagrama elétrico, facilitando o entendimento e compreensão da lógica pelos programadores. Os programas desenvolvidos em *Ladder* utilizam uma padronização de símbolos gráficos que permite ao controlador testar e modificar dados de acordo com a estrutura proposta. Os elementos são dispostos em linhas horizontais, criando as condições para as operações das saídas, também chamadas de cargas, já a alimentação de energia dos elementos gráficos é fornecida pelas linhas verticais. A Figura 3 demonstra um exemplo da simbologia *Ladder* e sua aplicação.

Figura 3 - Simbologia e aplicação



Fonte: Adaptado de Silva (2017).

As demais linguagens existentes na IEC6131-3, são:

- Texto estruturado (*Structural Text*, sigla ST), que é uma linguagem de alto nível, na qual é possível chamar blocos funcionais, funções e atribuições e executar condicionalmente instruções e tarefas de repetição;
- Lista de instruções (*Instruction List*, sigla IL), é uma linguagem pouco estruturada e de difícil compreensão, de nível baixo e composta por sequências de instruções;
- Diagrama de blocos funcionais (*Function Block Diagram*, sigla FBD), é uma linguagem utilizada para representar as funções básicas que são executadas por aplicações do programa principal. Pode ser escrito em qualquer outra linguagem de programação da norma IEC 61131-3;
- Gráfico sequencial de função (*Sequential Function Chart*, sigla SFC), é uma linguagem que tem como base a rede de Petri e o *Grafcet*, possui elementos que estruturam a organização interna dos programas, facilitando a comunicação entre CLPs e outros componentes de sistemas automatizados (SILVA, 2016).

Segundo Barboza (2018), em pesquisa publicada no *site* da *Murr-elektronik*, os CLPs da Siemens lideram o ranking de fabricantes de CLP, com o principal produto sendo o SIMATIC S7, com cerca de 44% dos 250 entrevistados. Já a Rockwell aparece logo em seguida com 21%. Schneider está com 8% e os demais com 20%. No Brasil possuem modelos como Altus, Weg, ABB, Schmersal, GE/ Fanuc, Omron entre outros.

Sensores são componentes periféricos que servem para detectar grandezas físicas do ambiente e as transformam em sinais elétricos, sendo perceptíveis a controladores. Os sensores variam conforme o tipo de grandeza que será medida, variando o tipo de princípio físico-químico dos mesmos, podendo ser mais ou menos complexos (CITISYSTEMS, 2021).

Os sensores utilizam sinais de entradas e saídas que captam e produzem sinais que são utilizados pelos controladores e por atuadores. Geralmente são divididos em dois grupos (SOARES, 2014):

- a) Sensores Analógicos: são dispositivos que produzem um sinal de tensão contínuo que é geralmente proporcional à quantidade a ser medida. Grandezas físicas, como temperatura, velocidade, pressão, deslocamento e tensão são todas medidas analógicas. Os valores dos sinais se alteram ao longo do tempo, conforme a grandeza a ser medida;
- b) Sensores Digitais: são sensores que geram um sinal de saída digital com tensões que representam o nível digital a ser medido, os sensores digitais produzem um sinal de saída binário, sob a forma de sinal lógico “1” ou “0”, (“ON” e “OFF”).

Segundo Peixoto (2021a), onde considera como os principais modelos utilizados, os produtos que focam nas presenças no ambiente, seja de produtos ou obstáculos, e destaca os sensores indutivos, capacitivos, ópticos e ultrassônicos.

- a) Sensor indutivo, baseia-se na geração de um campo eletromagnético de alta frequência, que é desenvolvido por uma bobina instalada na face do sensor. Esse sinal quando um metal é aproximado do sensor gera uma perda de energia, diminuindo a amplitude do sinal gerado;
- b) Sensor capacitivo, são equipamentos eletrônicos capazes de detectar a proximidade de alvos, tanto sólidos, líquidos ou pastosos. Baseia-se na detecção pela interferência que o material provoca no campo elétrico de dois eletrodos, situados na parte frontal do sensor;

- c) Sensor Óptico, são sensores que usam a luz para detectar objetos ou para a medir a distância em que um objeto se encontra. Baseia-se na transmissão e recepção de luz;
- d) Sensor Ultrassônico, são sensores que usam ondas sonoras para detectar objetos. Seu funcionamento consiste em emitir ondas sonoras que são refletidas quando atingem um objeto, voltando ao sensor, onde o tempo que o sinal das ondas retorna é calculado para determinar a distância do sensor aos objetos.

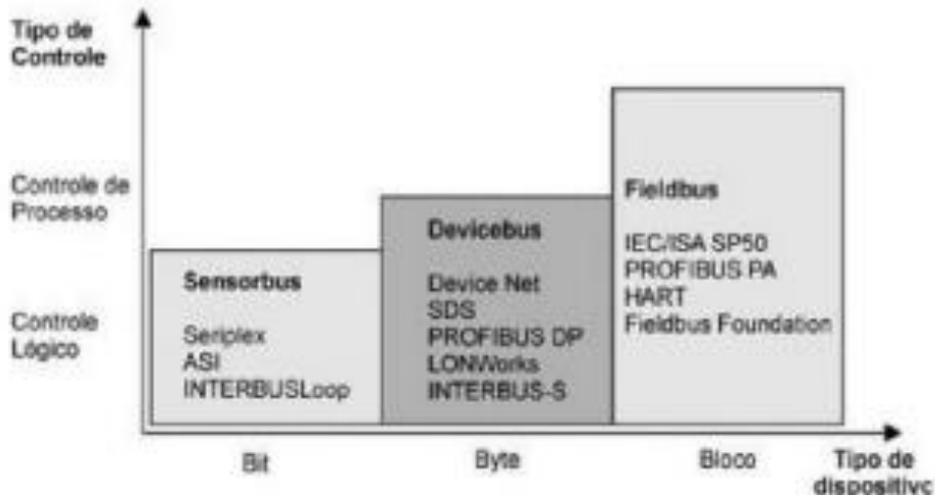
Atuadores, segundo Cyrino (2018), são equipamentos ou dispositivos capazes de converterem energia elétrica, hidráulica ou pneumática em energia mecânica, ou seja, movimento para realizar um determinado trabalho. Podendo ser classificados em três tipos:

- a) Atuadores hidráulicos, são dispositivos acionados basicamente por óleos pressurizados e são utilizados com o auxílio de válvulas direcionais, que executam dos movimentos, comandam a direção, velocidade, força e pressão dos sistemas hidráulicos;
- b) Atuadores pneumáticos, são dispositivos acionados pelo ar comprimido gerado em compressores, que tem a semelhança nos movimentos e funcionalidades dos atuadores hidráulicos, porém com menor força, pressão e controle sobre os circuitos, tendo em vista a alta compressibilidade do ar, também utilizam o auxílio de válvulas direcionais que auxiliam o seu movimento;
- c) Atuadores elétricos, são dispositivos que produzem movimento, geralmente, rotativos e lineares. Os motores são os principais atuadores elétricos utilizados nas indústrias, podendo serem atuados por comandos manuais ou programáveis, locais ou remotos. Possibilitam o controle de rotações e de deslocamentos quando auxiliados por dispositivos de controle de tensão e corrente. Já os atuadores elétricos lineares geralmente são bobinas e cilindros elétricos, utilizados para geração de movimentos auxiliares, ou seja, funcionam para acionar outros equipamentos como válvulas, guias lineares, entre outras.

As redes industriais, segundo Ferreira (2019), são protocolos usados para proporcionar a troca de dados entre controladores, sensores e atuadores de forma confiável e ágil, garantindo a automação e segurança das comunicações industriais entre sistemas de controle de máquinas, processos e plantas industriais. Cada uma das redes conta com regras específicas para a transferência de dados. A Figura 4

demonstra a classificação das redes conforme a quantidade de dados transmitida.

Figura 4- Tipo de Redes versus quantidade de dados transmitida



Fonte: Adaptado de Lugli e Santos (2019).

Entre as principais vantagens da aplicação de redes industriais em relação ao uso dos sistemas convencionais, são o baixo custo de implementação e manutenção, devido a menor quantidade de cabos e acessórios utilizados para montagens de armários elétricos, menor índice de manutenção, facilitando a inspeção e diagnósticos, e menor número de dispositivos (módulos de entradas e saídas), maior facilidade de expansões futuras e trocas de leiaute (LUGLI; SANTOS, 2019).

As redes *Fieldbus*, também são chamadas de redes de campo, pois possuem meios físicos (topologia, conectores e cabos). São protocolos desenvolvidos até os anos 80 e obedecem às camadas da *Open Systems Interconnection* - OSI e as principais são:

- a) *AS-interface*, utilizada para máquinas e equipamentos de pequeno porte, utiliza cabos chatos de duas vias por onde trafega a transmissão de dados;
- b) *CANopen*, utilizada em projetos mais exigentes, como os das áreas médica, naval, ferroviária e rodoviária. Utiliza a topologia mestre-escravo, onde tem uma velocidade de comunicação mediana, podendo apresentar dificuldades conforme as distâncias entre os dispositivos e os nós das redes;
- c) *DeviceNet*, caracterizada pela intercambialidade e interconectividade, permitindo até 64 nós na topologia tronco/derivação;
- d) *Profibus*, desenvolvida para o princípio de comunicação industrial, capaz de

integrar equipamentos de diversos fabricantes diferentes em uma mesma rede, o *Profibus DP*, conta com uma alta velocidade nas comunicações, quando utilizados com módulos IO;

- e) *Modbus* é um protocolo aberto que utiliza comunicação serial, permitindo a conexão de dispositivos eletrônicos com baixos custos de instalação, utiliza a topologia mestre-escravo.

As redes Ethernet são utilizadas uma necessitam uma grande disponibilidade de transferência de dados de diversos pontos da rede, seguem o modelo TCP/IP e as principais são:

- a) *Profinet*, proporciona comunicação em tempo real, segurança integrada e integração com a internet, utilizada para integrar de forma consistente as máquinas e equipamentos com os sistemas supervisórios;
- b) *Ethernet/IP*, construída sobre o protocolo TCP/IP, e conta com a possibilidade de aquisição de grande número de dados de diferentes pontos de acesso nos processos, oferece soluções em níveis gerenciais diretamente com o “chão de fábrica”.

Ao contrário do que se imagina o investimento em redes industriais visa além de transmissão de dados, busca-se também a segurança e redução de custos com diagnósticos falhos tanto de implementação quanto de interpretação dos dados (FERREIRA, 2019).

2.2 PESQUISAS RELACIONADAS

Neste espaço são analisadas as pesquisas de anterioridade, ou seja, quais trabalhos que já foram realizados com este mesmo tema e que resultados obtiveram.

E aqui se destacam os trabalhos automação de uma prensa hidráulica para bucha de deslizamento em suporte da direção de caminhão, monografia para especialização em Automação Industrial, descrita por Martins (2019), e manipulador automático de entrada, troca simultânea e saída nos estágios de prensagem, desenvolvido por Cabral, Silva e Del Pino (2018).

2.2.1 Automação de uma prensa hidráulica para bucha de deslizamento em suporte da direção de caminhão

A monografia para especialização em Automação Industrial, descrita por Martins (2019), relata os benefícios trazidos pela automação de uma prensa hidráulica, utilizada para prensar buchas de deslizamento em suportes das direções de caminhões, com comparativos de produtividade e lucratividade, antes e depois da automação da prensa hidráulica de vinte toneladas (20t).

A presente monografia trata de um *retrofit*⁴ onde o autor busca referenciais teóricos em livros, revistas científicas, visitas técnicas e estudo de campo, para avaliar o real estado do equipamento e apontar onde e como deve ser realizada a reforma do equipamento, quais partes devem ser trocadas ou melhoradas para que o equipamento atenda as reais demandas de produção, qualidade e de segurança operacional. Isto para justificar perante a administração da empresa, o investimento em uma determinada prensa, de fabricação própria da empresa em questão, responsável pela prensagem e montagem de buchas de direção.

Os objetivos do referido trabalho em estudo são: o aumento da qualidade das peças, visto que anteriormente a produção era definitivamente dependente da *expertise* de cada operador, e cada um operava a prensa da sua forma, e as peças que saíam com defeitos eram por falta de pressão de prensagem, fazendo com que as buchas dos conjuntos de direção não fossem montadas até o final do alojamento da outra peça do conjunto, elevando assim o número de peças refugadas no cliente e aumento o custo de produção.

Com retrabalhos ou descarte de peças já processadas pela prensa em questão, o aumento da produtividade também foi colocado em avaliação, pois havia a dependência de variáveis operacionais diretamente relacionadas a quantidade de peças produzidas por hora e por turno de cada operador, visto que o processo era semiautomático.

A outra questão abordada no *retrofit* era a segurança do equipamento e

⁴ *Retrofit* é um termo específico utilizado principalmente em engenharia para designar o processo de modernização de algum equipamento, já considerado ultrapassado ou fora de norma. Disponível em: <https://www.automataweb.com.br/o-que-e-retrofit-de-maquinas/#:~:text=Retrofit%20%C3%A9%20um%20termo%20espec%C3%ADfico,fora%20de%20norma%2C%20como%20m%C3%A1quinas>. Acessado em 01 de mai. de 2021.

operacional, os componentes e acessórios utilizados na reforma foram adquiridos segundo as normas do Ministério do Trabalho e Emprego (MTE). A Figura 5 mostra a prensa antes do processo de *retrofit*.

Figura 5 - Prensa de 20t antes do processo de *retrofit*



Fonte: Martins. (2019)

Martins salienta que os componentes e acessórios utilizados, tanto no sistema hidráulico de movimentação da prensa quanto nos sistemas elétricos de controle e comando, foram utilizados de forma a garantir o correto funcionamento da prensa, sem a necessidade de interferência humana em regulagens de pressões, ajustes de velocidades e ajustes de cursos do avanço da prensa, garantindo assim a correta montagem das buchas de direção (MARTINS, 2019).

O autor utilizou Controlador Lógico Programável (CLP) para garantir o correto controle do processo, realizando monitoração constante das variáveis de controle, pressão, vazão, velocidade e curso. O operador tem acesso a essas variáveis através da Interface Humano-Máquina (IHM), onde o mesmo passa a monitorar e alterar, se necessário, os parâmetros mencionados anteriormente.

Os resultados obtidos por Martins, mostram que realmente é imprescindível nos tempos atuais, empresas buscarem adequarem seu parque de máquinas, sendo adquirindo novos equipamentos ou até mesmo realizando *retrofit* dos equipamentos

já existentes nas empresas. Tendo em vista uma adequação as novas exigências do mercado, que está em constante evolução, com necessidades cada vez mais específicas para cada cliente. No estudo e aplicação do *retrofit* em questão obtiveram resultados de 25% maiores do que os anteriores (MARTINS, 2019).

Ilustram as tabelas a seguir. A Tabela 1 mostra os resultados de produção antes da realização do *retrofit* da prensa hidráulica.

Tabela 1 - Resultados antes da automação da prensa

Peças montadas	Tempo
28	1 hora
196	7 horas

Fonte: Adaptado de Martins (2019).

A Tabela 2 ilustra o faturamento da empresa referente a venda de peças diárias para o cliente.

Tabela 2 - Faturamento diário antes da automação da prensa

Peças por turno	Valor unitário da peça	Total por turno
196	R\$ 52,00	R\$ 10.192,00

Fonte: Adaptado de Martins (2019).

A Tabela 3 ilustra de forma clara o aumento de produção depois da automação da prensa.

Tabela 3 - Capacidade da prensa depois da automação

Peças Montadas	Tempo
35	1 hora

Fonte: Adaptado de Martins (2019).

Conforme notado na Tabela 2, o faturamento da empresa contando com uma produção de peças 100% boas, girava em torno de R\$ 10.192,00. Com a aplicação do *retrofit*, o volume da produção aumentou significativamente, em torno de 25%. Mantendo a qualidade das peças observou-se o aumento do faturamento diário para

R\$ 12.740,00, como pode ser observado na Tabela 4.

Tabela 4 - Faturamento diário depois da automação da prensa

Peças por turno	Valor unitário por peça	Total por turno
245	R\$ 52,00	R\$ 12.740,00

Fonte: Adaptado de Martins (2019).

Além dos lucros financeiros Martins, salienta que a empresa obteve ganhos no ambiente de trabalho, com a adequação e reforma da prensa hidráulica de 20t. A célula de trabalho ficou de acordo com as normas do MTE e atingiu também objetivos internos relacionados à ergonomia e segurança operacional. A Figura 6 mostra a prensa de 20t depois da automação e *retrofit*.

Figura 6 - Prensa de 20t depois da automação e *retrofit*



Fonte: Martins (2019).

2.2.2 Manipulador automático de entrada, troca simultânea e saída nos estágios de prensagem

Segundo Cabral, Silva e Del Pino (2018), os investimentos em automação estão cada vez maiores e estão sendo utilizados para aprimorar os processos de produção, considerada como a alma do negócio. A automação traz autoestima para as empresas, que colocam esta ciência em prática. Esta proatividade tecnológica está encorajando as empresas a enfrentarem a ampla concorrência do mercado, que muda constantemente.

Ainda segundo Cabral, Silva e Del Pino (2018), ferramentas de simulação e de criação de ambientes virtuais aceleram a viabilidade de um processo, tendo em vista que pode ser simulado todas as etapas a serem desenvolvidas, antes mesmo de sua concepção, evitando gastos desnecessários.

O artigo pesquisado trata de um processo de automação de uma linha de prensagem de aparelhos celulares, utilizada para montagens de componentes, de uma empresa situada no estado do Amazonas, têm por objetivo minimizar a necessidade de intervenção humana durante o processo. Realizando a automação

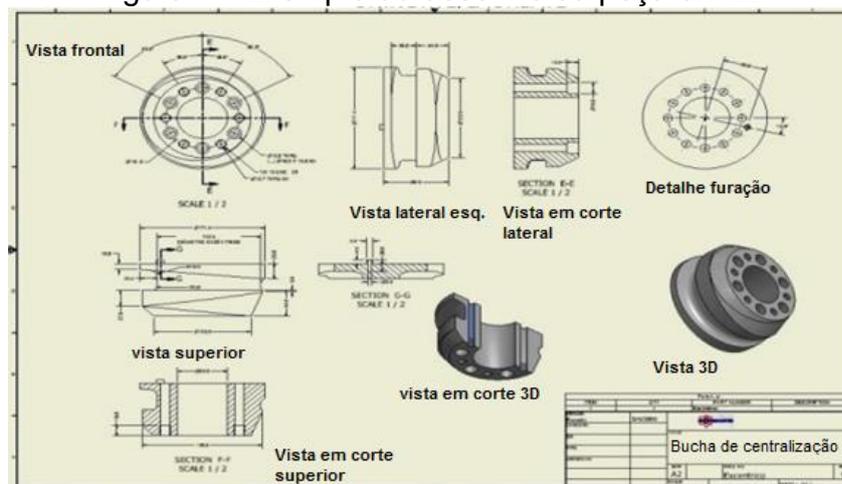
dos processos de entrada e saída e também a troca simultânea dos aparelhos durante as etapas internas do equipamento, visando o aumento da produção, com a redução do tempo de ciclo e aumento da eficiência na finalização dos produtos, evitando retrabalhos devido a má prensagem dos componentes durante as etapas manuais anteriores.

Os autores utilizaram o *software* de desenho auxiliado por computador (CAD), para realizar a simulação de montagens de componentes, evitando etapas desnecessárias durante o processo de automação da linha de prensagem. O CAD utiliza de ambientes virtuais em duas e três dimensões (2D e 3D), que possibilitam avaliar todos os detalhes do processo, sendo possível alterações em tempos muito inferiores aos métodos de desenhos, utilizados anteriormente.

A utilização de *softwares* de aplicação em desenhos possibilita a visualização dos detalhes em tempo real.

A Figura 7 e a Figura 8 mostram exemplos de peças projetadas para a execução da automação do processo de prensagem de componentes em aparelhos celulares.

Figura 7 - Exemplo do desenho da peça em 2D



Fonte: Cabral, Silva e Del Pino (2018).

A Figura 8 apresenta o desenho 3D da peça desenvolvida no trabalho.

Figura 8 - Exemplo de desenho em 3D

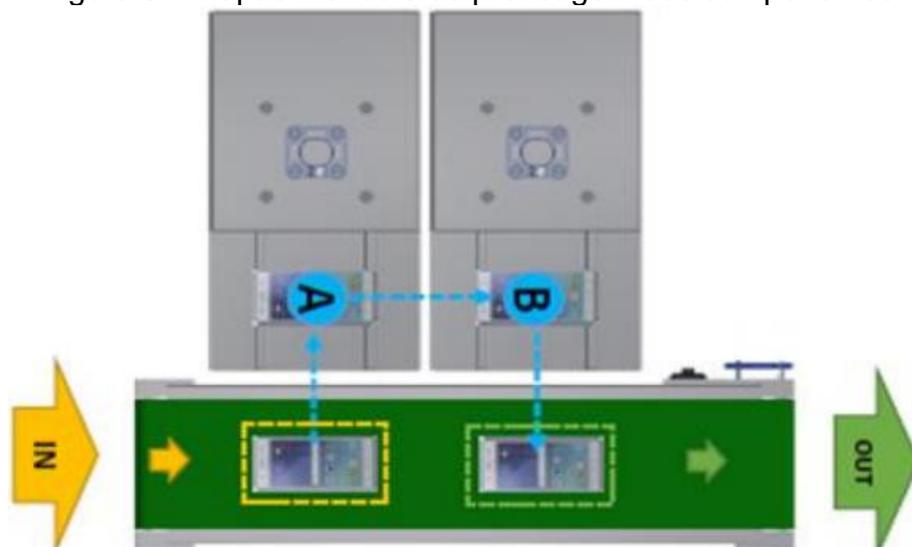


Fonte: Cabral, Silva e Del Pino (2018).

Dessa forma, com a utilização de *softwares* de CAD, se possibilita o desenvolvimento de protótipos com a utilização da Realidade Rirtual (RV), possibilitando as empresas mensurar tempos e materiais necessários para a execução das tarefas.

O projeto implementado consiste em automatizar as etapas do processo de prensagem dos componentes dos celulares, anteriormente manuais conforme mostra a Figura 9.

Figura 9 - Etapas manuais de prensagem dos componentes



Fonte: Cabral, Silva e Del Pino (2018).

O processo anterior dependia inteiramente da coordenação motora dos operadores, variando em produtividade e qualidade, em que as peças eram alocadas de uma a uma em cada fase do processo.

A Figura 10 mostra a operadora em frente a linha de prensagem antiga.

Figura 10 - Operadora da linha de prensagem com dois estágios A e B



Fonte: Cabral, Silva e Del Pino (2018).

Os resultados obtidos por Cabral, Silva e Del Pino (2018), foram: a redução de mão-de-obra, redução do tempo de produção, aumento da capacidade de produção, fim da fadiga para o operador do processo de prensagem, melhoria na qualidade do produto e a reutilização das máquinas desativadas do processo anterior.

Os autores obtiveram uma redução de 6,42 segundos por peça produzida, devido ao processo ser automatizado. A Tabela 5 mostra a capacidade de produção antes e depois da automação da linha de prensagem.

Tabela 5 - Comparativo antes e depois da automação

COMPARATIVO DO PROCESSO DE PRENSAGEM		
Carga horária trabalhada por turno	30.600, que equivalente a 8 horas e 30 minutos	
Comparativo do processo por turno	ANTES	DEPOIS
Volume produzido (peças)	1.530 unidades	2.259 unidades
Tempo médio de produção (segundos)	19.92 segundos	13.5 segundos

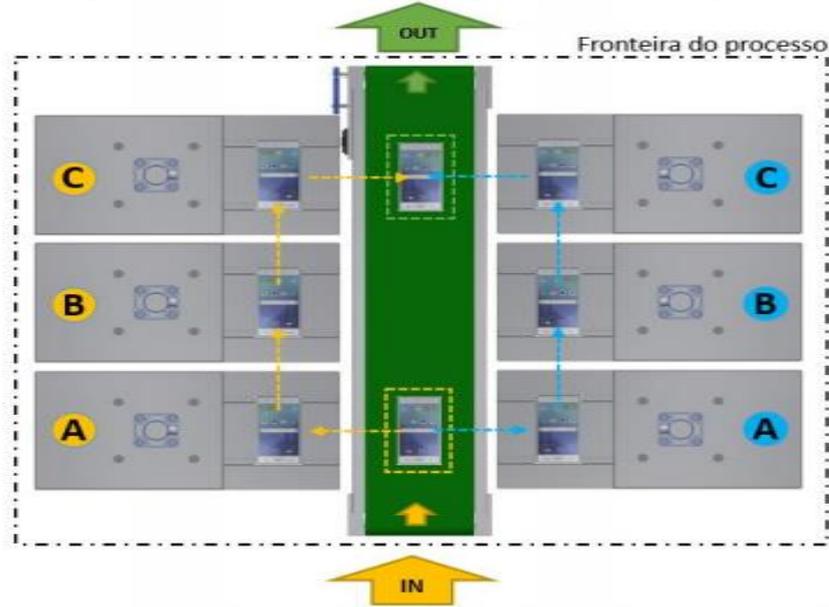
Fonte: Adaptado de Cabral, Silva e Del Pino (2018).

Como indicado no comparativo de produção, o aumento de produção gira em torno de 34%, gerando uma produtividade maior possibilitando a empresa produzir 729 unidades a mais por turno, gerando mais eficiência, produtividade, confiabilidade do processo automatizado. Evitando também desgastes dos operadores devido ao

excesso de movimentos repetitivos.

A Figura 11 apresenta como ficou o fluxo dos aparelhos, depois de realizada a automação da linha de prensagem.

Figura 11 - Célula de prensagem pós-automatização



Fonte: Cabral, Silva e Del Pino (2018).

A Figura 12 apresenta a linha de alimentação automatizada, após a realização das tarefas de automação da linha de prensagem dos componentes de aparelhos celulares.

Figura 12 - Linha de prensagem automatizada



Fonte: Cabral, Silva e Del Pino (2018).

Segundo Cabral, Silva e Del Pino (2018), o ritmo pelo qual a automação se modifica nas empresas requer um trabalho imenso das mesmas para se manterem

seu parque fabril atualizado. E conclui que as empresas devem alinhar as estratégias da automação com as estratégias do negócio, para atingir os objetivos de desempenho e criar uma vantagem competitiva, que seja o diferencial perante as demais empresas, quando se fala em concorrência.

2.2.3 Automação 4.0 de prensa extrusora e aplicação energética em óleo e torta de crambe

Segundo Lewandoski (2019), a automação está presente em toda atividade industrial e agrícola. Salaria que as máquinas são elementos chave para o aumento do desempenho produtivo. E com o aumento do uso da automação em máquinas já existentes ou novas, proporciona às empresas o atendimento cada vez maior das exigências do mercado produtivo, tornando-as mais: flexíveis, produtivas e fornecedoras de produtos ou serviços com cada vez maior qualidade.

O trabalho pesquisado proporcionou a Lewandoski (2019) o estudo do processo de prensagem mecânica de grãos de crambe⁵, que estudou os processos de fabricação em diferentes temperaturas e velocidades de rotação de uma prensa extrusora mecânica, com automação 4.0. O teste consiste em aplicar diferentes parâmetros e analisar as propriedades físico-químicas do óleo e bromatológicas⁶ do bolo, resultante do processo onde ocorre a extração em diferentes temperaturas e rotações por minuto (RPM), da prensa extrusora.

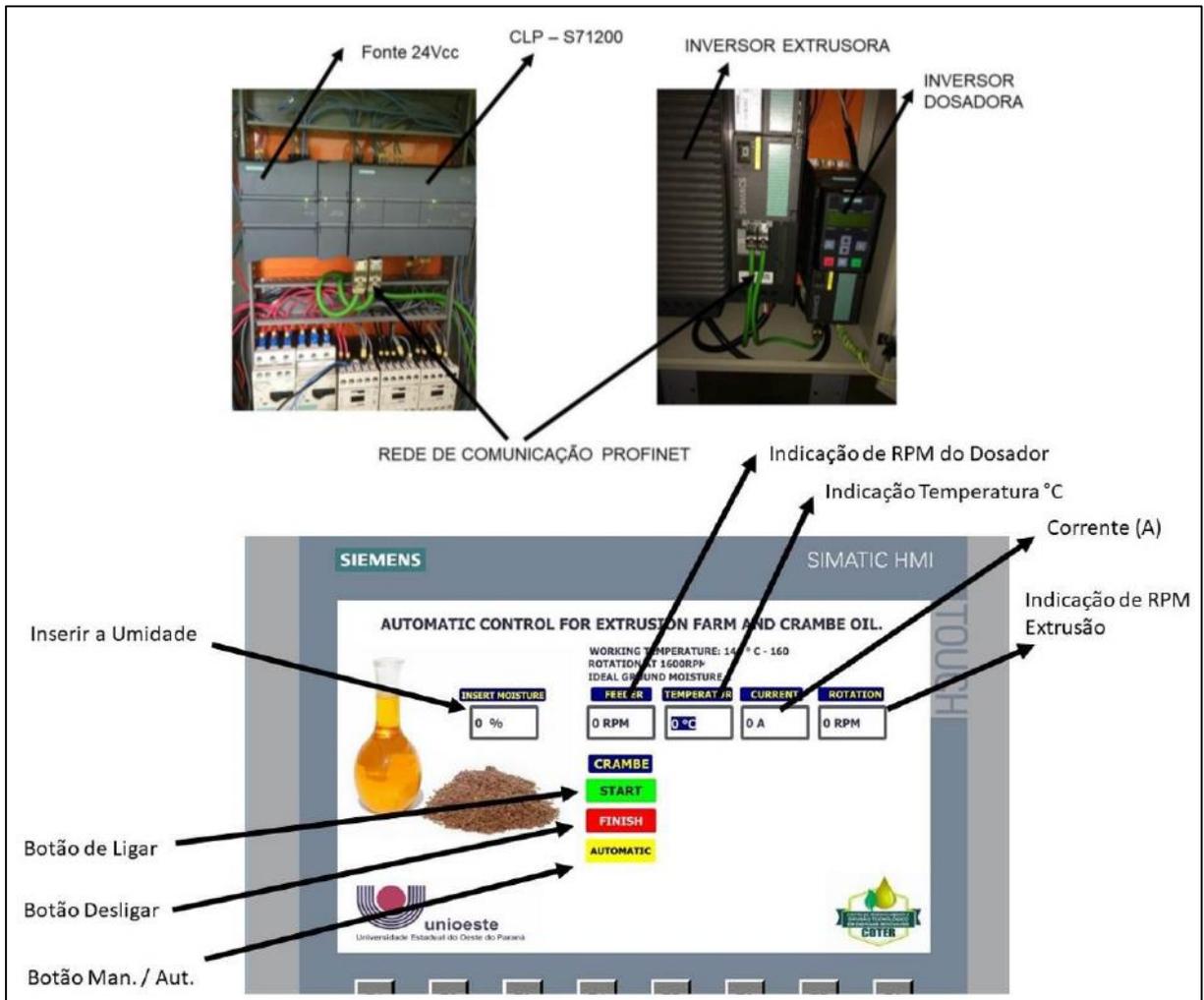
O controle da temperatura e das rotações são realizados por controladores e inversores de frequência, utilizados na adequação da prensa, atendendo aos requisitos da automação 4.0. A Figura 13 mostra o controlador, o inversor de frequência e a tela de interface humano-máquina (IHM), utilizados para poder realizar um controle exato do processo, podendo ser alterado os valores conforme a

⁵ O crambe (*Crambe abyssinica Hochst*) é uma espécie pertencente à família das crucíferas, originária da região do Mediterrâneo, o mesmo demonstra-se adaptável ao nosso clima, com isso certamente será uma alternativa para alavancar a matriz de óleos vegetais e o programa de biodiesel do Brasil, (COLODETTI et al., 2012).

⁶ Bromatologia é a ciência que estuda os alimentos, com a função de analisar sua composição química, seu valor nutricional, seu valor energético, suas propriedades físicas e seus efeitos no organismo. Disponível em: <https://sementesbiomatrix.com.br/blog/silagem/analise-bromatologica/#:~:text=Neste%20sentido%2C%20temos%20o%20conceito,e%20seus%20efeitos%20no%20organismo>. Acesso em: 15 de mai. de 2021.

necessidade e variações de parâmetros.

Figura 13 - Quadro de acionamento de Inversor de frequência, controlador (CLP) e tela IHM



Fonte: Adaptado de Lewandoski (2019).

Anteriormente os controles dos parâmetros eram realizados de forma manual, pelos operadores. Com uso da automação 4.0 na prensa, foram utilizados dispositivos de controle e acesso, para que se possam monitorar em tempo real os valores obtidos durante o processo, mantendo o nível de qualidade tanto do óleo extraído quanto da torta de crambe.

Lewandoski salienta que foram utilizados componentes de controle e acionamentos, interligados por rede de comunicação *profinet*, que possibilita acesso para comunicação entre os *hardwares* da extrusora, permitindo o controle através do IHM e de acesso remoto ao CLP, através da rede *ethernet* possibilitando manutenções

e diagnósticos de falhas em tempo real.

Os resultados obtidos nos testes, após a automação da prensa de extrusão, foram discutidos e observados sobre os parâmetros técnicos avaliados, como exemplo: rendimento do óleo, massa específica, viscosidade, fibra bruta, lipídios, proteínas, carboidratos, cinza e umidade, para se obter o melhor ajuste de parâmetros com finalidade de obtenção dos melhores resultados do óleo e do crambe.

Os resultados após a automação da prensa de extrusão de óleo e crambe, confirmaram os objetivos do trabalho e tiveram resultados significativos. Principalmente em relação ao rendimento do óleo que obteve valores aproximadamente de 56%, com o aumento da temperatura de 110°C a 120°C para 140°C a 150°C. E o aumento 41% quando a rotação passou de 1.000rpm para 1.800rpm. Segundo Lewandoski, as altas temperaturas de processamento aproximam o material da temperatura de transição vítrea, facilitando a deformação e a mobilidade da estrutura celular, possibilitando uma extração maior de óleo e com maior qualidade.

Lewandoski conclui que sem automação realizada na prensa extrusora, não conseguiria realizar o aumento dos índices controlados, visto que os ajustes anteriores eram realizados totalmente manuais e diretamente relacionados com a experiência dos operadores. Após a automação da prensa de extrusão, pôde-se realizar testes em diferentes parâmetros de velocidade e rotação, a fim de se confirmar a eficácia do trabalho, vistos que os equipamentos utilizados no processo garantem a eficiência do seu funcionamento, sem variações que não eram percebidas pelos operadores (LEWANDOSKI, 2019).

A Figura 14 mostra a prensa extrusora após a automação realizada por Lewandoski.

Figura 14- Prensa extrusora após a automação.



Fonte: Adaptado de Lewandoski, (2019).

3 METODOLOGIA

O presente trabalho se propõe a realização de estudo experimental de um sistema de prensagem e soldagem, com alimentação de parafusos de fixação de componentes metálicos, onde primeiramente foi avaliado em pesquisa m qualitativa os indicadores de produção, refugos e métodos de trabalho realizados antes da realização da automação do processo.

Para a realização desse trabalho, utilizou-se posteriormente a pesquisa exploratória onde buscaram-se ideias e soluções para resolver os altos índices de refugos, baixa produtividade e de altas quantidades de movimentações.

No trabalho são realizadas avaliações de parâmetros de produtividade, qualidade e logísticos, antes e após a realização da automação do processo de soldagem de parafusos de fixação, que serão acoplados ao processo de estampagem dos componentes metálicos.

3.1 TIPO DE PESQUISA

A pesquisa utiliza métodos qualitativos tendo, em vista que visa melhorar a eficiência do processo de soldagem dos parafusos, tanto no quesito quantidade quanto no quesito qualidade. Devido ao alto índice de refugos gerados pelo processo de soldagem manual dos componentes e a baixa taxa de produtividade da operação manual.

A pesquisa, por sua vez, tem como característica uma avaliação de um estudo de caso, onde o processo de soldagem de parafusos foi anexado ao processo de estampagem de chapas metálicas, em prensas progressivas.

3.2 UNIVERSO DE ABRANGÊNCIA DA PESQUISA

Esta pesquisa abrange e envolve toda a área de manufatura de processos de fabricação de componentes automotivos em geral, pois serve como embasamento técnico científico para soluções futuras, em incorporação de processos. Levando em consideração que processos podem ser automatizados com frequência, sempre

buscando a economia de recursos, baseados em sistemas *Lean Manufacturing*, que visam entre outros objetivos, a redução e eliminação de desperdícios.

3.3 MÉTODO APLICADO

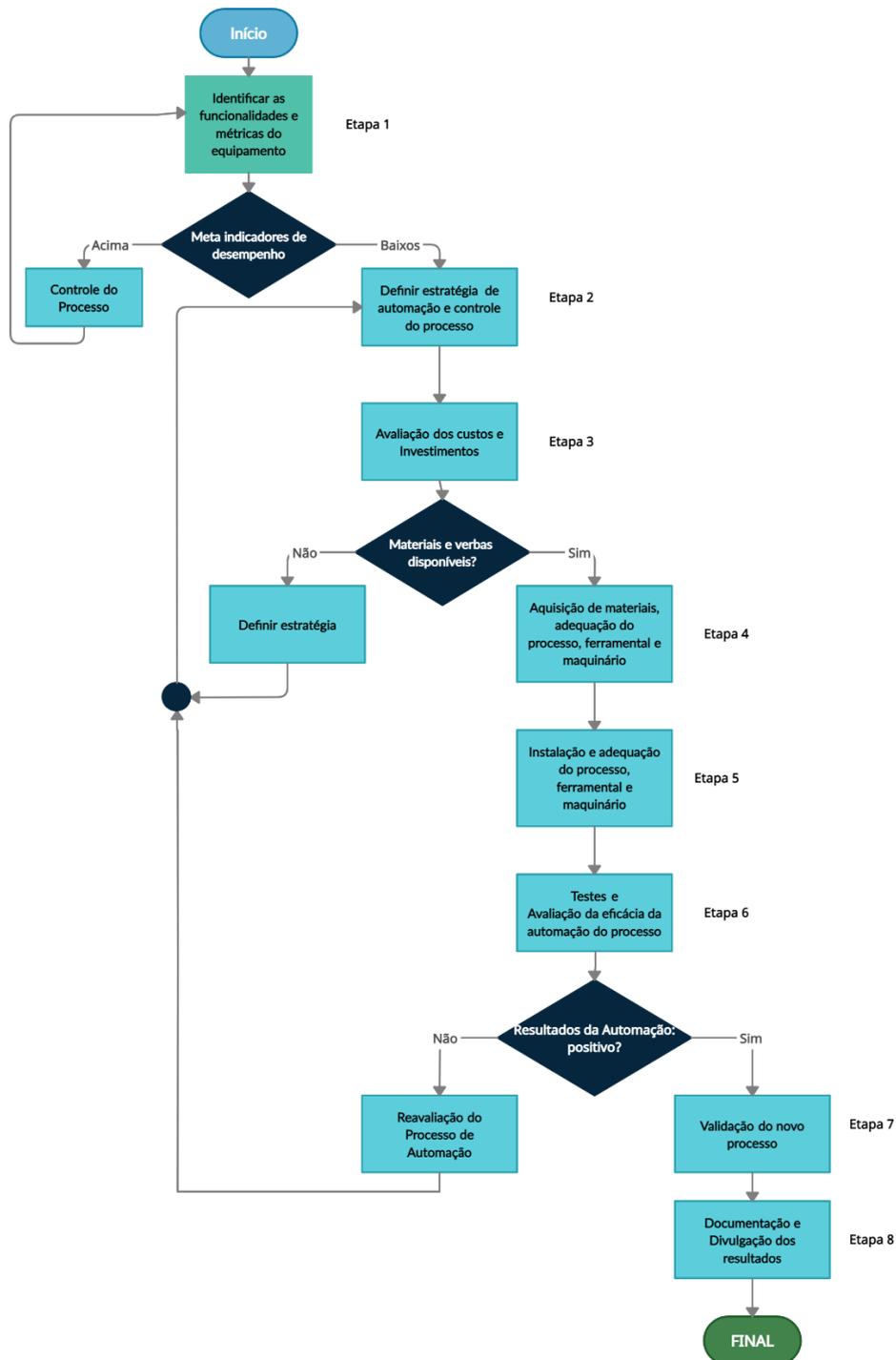
Como foi abordado no capítulo 2 deste trabalho, os processos produtivos envolvem uma grande quantidade de etapas. E a automação desses processos visa não só reduzir desperdícios, mas também agregar mais valor aos produtos, seja na forma de qualidade e produtividade.

Este trabalho se iniciou após pesquisa científica em processos de automação em prensas, e visa reunir os métodos já aplicados para chegar aos resultados que visem dar viabilidade técnica e econômica ao processo.

Para se realizar o projeto de automação do processo de estampagem e soldagem a ponto de componentes, é necessário um bom entendimento da sequência produtiva necessária para a confecção dos produtos. A linha de produção é basicamente uma sequência de processos industriais agrupados, que transformam a matéria-prima em produtos acabados ou semiacabados.

A Figura 15 apresenta o fluxograma de desenvolvimento da automação do processo de estampagem e soldagem a ponto de componentes metálicos.

Figura 15 - Fluxograma de desenvolvimento da automação do processo de estampagem e soldagem a ponto de componentes metálicos



Fonte: Autor (2021).

A partir do fluxograma, são identificadas as 8 etapas de desenvolvimento da automação do processo de estampagem e soldagem a ponto de componentes metálicos, que serão descritas a seguir:

a) Etapa 1: é o instante onde se observa o processo, se analisa os indicadores e

métricas de produção, leva-se em conta a quantidade de pessoas para se produzir certa quantidade de produtos, a eficiência dos equipamentos antes de se considerar e realizar a automação do processo, os índices de qualidade e produtividade, para se realizar determinado lote de peças;

b) Etapa 2: após a análise dos indicadores, determina-se o que será feito em relação ao processo, quais as áreas que serão escolhidas para serem modificadas no processo, quais tecnologias serão empregadas, quais os recursos serão necessários para a execução das atividades propostas para a melhoria na automação do processo e dos equipamentos;

c) Etapa 3: após a determinação do que será realizado no processo e no equipamento, será realizado um levantamento de recursos necessários para a execução das tarefas, como por exemplo: mão de obra, serviços de usinagens, aquisição de maquinários, aquisição dos insumos necessários para a instalação dos equipamentos, modificações na estrutura já existente, compra de componentes eletroeletrônicos, entre outras;

d) Etapa 4: é considerado o tempo para a aquisição dos materiais, montagens externas (sem parada de máquina), realização de serviços executados por terceiros, ligações e testes dos equipamentos necessários para a automação do processo, e montagem diretamente na máquina realizando a integração dos processos;

e) Etapa 5: é considerado o tempo de instalação dos equipamentos com a máquina parada efetivamente, é considerado o tempo para a instalação e testes do processo, ajustes do maquinário e do ferramental, realizando os testes necessários para o correto funcionamento do novo processo;

f) Etapa 6: é a etapa do processo onde ajustam-se os parâmetros de produção, velocidades de estampagem, velocidade de solda, ajustes de correntes e tensões da máquina de solda, para o atendimento das características de qualidade e do correto funcionamento do processo, atendendo as demandas dos produtos;

g) Etapa 7: é considerado a etapa de validação do processo, realizando a confecção de padrões para regulagens de máquina, criação de documentos de qualidade;

h) Etapa 8: é considerado o momento em que se reúne a documentação do processo, elaborando o plano de divulgação de resultados de qualidade e produtividade, analisando os resultados e análises de viabilidade econômica e realizando ações de melhorias, tanto de processo quanto de documentação.

4 RESULTADOS

Esse capítulo apresenta os resultados obtidos após as análises e implementações de cada etapa do processo.

A primeira ação, etapa 1, foi analisar os indicadores de desempenho de produtividade, qualidade e de movimentação do processo. Os indicadores de produtividade foram calculados de acordo com a saída de peças para o cliente, somando-se as etapas do processo de estampagem e soldagem a ponto do pino, mesmo sendo produzidas em máquinas diferentes.

Para o indicador de produtividade do processo de estampagem, a prensa tinha capacidade de produzir 1.200 peças por hora e com produção média de 24.000 peças por mês, para atender a demanda de pedidos do cliente. Já a produtividade da máquina de solda manual era de 150 peças por hora, sendo em média 12,5% da produção da prensa. O processamento da prensa é de 20 horas, contado somente o tempo produtivo, já o tempo produtivo da máquina de solda é de 160 horas de trabalho.

Considerando apenas um turno de trabalho de 8 horas, a produção da prensa leva 2,5 dias para atingir a quantidade necessária de peças ao mês, enquanto a máquina de solda leva 20 dias. A Tabela 6 demonstra a quantidade de peças produzidas, durante 7 meses anteriores a automação do processo, versus a quantidade de peças com refugos, geradas durante o processamento dos conjuntos.

Tabela 6- Quantidade produzida mês versus refugos gerados no processo

Meses	Quantidade produzida	Quantidade de peças com defeitos durante o processo
Janeiro	24.000	980
Fevereiro	14.000	525
Março	23.000	786
Abril	24.100	789
Maio	23.000	1.093
Junho	23.900	974
Julho	24.000	980

Fonte: Adaptado de Gestamp (2019).

De acordo com o levantamento do histórico de produção, demonstrados na tabela anterior, os valores obtidos de produtividade da prensa são cerca de 8 vezes maiores que a produtividade da máquina de solda ponto.

$$\textit{Produtividade Prensa (7 meses)} = \frac{156.000 \textit{ peças}}{1.200 \frac{\textit{peças}}{\textit{hora}}} = 130 \textit{ horas}$$

De acordo com a equação acima, a produtividade da prensa nesse período de 7 meses é de 130 horas dedicadas a produção desse produto. Já a produtividade da máquina de solda a ponto manual é de 1.040 horas de produção, como pode ser visto a seguir.

$$\textit{Produtividade Máquina de solda a ponto (7 meses)} = \frac{156.000}{150 \frac{\textit{peças}}{\textit{hora}}} = 1.040 \textit{ horas}$$

A produtividade também deve ser medida pela quantidade de peças fabricadas pela quantidade de pessoas necessárias para realizar determinada operação. No caso da prensa de estampagem que utiliza 2 operadores, o número de horas é expressado pelo cálculo de produtividade homem/hora abaixo, levando-se em conta que o custo médio de um operador de produção é de R\$ 2.880,00 por mês, ou seja, R\$ 14,40 por hora, o custo de produção, levando somente o custo operacional, é de aproximadamente R\$ 3.744,00, para a quantidade de peças fornecidas durante o tempo de 130 horas de produção do determinado produto.

$$\textit{Produtividade Homem/ hora (prensa)} = \frac{156.000 \textit{ peças}}{((2 \textit{ operadores}) \times 1.200 \textit{ peças/hora})}$$

Já de acordo com a produtividade da prensa expressada acima, podemos comparar com a produtividade da máquina de solda a ponto, que necessita de 3 operadores para a realização das tarefas de solda, inspeção e transporte do produto. Nesse caso o custo operacional é de R\$ 44.928,00 levando em conta somente o tempo de operação desse produto no tempo determinado de análise mencionado na Tabela 6.

$$\textit{Produtividade Homem/ hora (solda)} = \frac{156.000 \textit{ peças}}{((3 \textit{ operadores}) \times 150 \textit{ peças/hora})}$$

A qualidade dos produtos também reflete diretamente nos indicadores

estudados na etapa 1, e pode ser mensurado de acordo com o cálculo abaixo, que demonstra a razão da diferença entre os produtos que atendem as exigências do cliente e os produtos processados, durante o período de análise do produto, mencionado na Tabela 6.

$$IQ = \frac{(156.000 - 6.127)}{156.00} = 96\%$$

O índice de disponibilidade levado em conta nesse trabalho, refere-se a razão da diferença entre o tempo de produção planejado menos o tempo de paradas não programadas e o tempo de produção planejado. Pode ser visto conforme demonstrado a seguir.

$$ID = \frac{(110,79 - 6,72)}{110,79} = 93\%$$

O índice de Performance também é levado em conta nesse trabalho, pois é necessário para determinar o índice geral de desempenho do processo ou produto.

Nesse caso, o índice é calculado através da razão entre os valores de quantidade de peças produzidas e a quantidade de peças planejadas. A equação seguinte demonstra o cálculo de performance do processo de solda a ponto, pois é a última etapa antes do produto ser enviado ao cliente final.

$$IP = \frac{150.823}{156.950} * 100\% = 96\%$$

Com esses indicadores acima mencionados, é possível mensurar o desempenho final do produto que é a operação de soldagem a ponto do pino. Cujo o objetivo é aumentar a sua produtividade em relação ao processo de estampagem das chapas metálicas que formam os componentes, aumentando assim a sua eficácia geral do processo.

O cálculo a seguir mostra o cálculo do OEE com base nos índices acima mencionados.

$$OEE = 93\% \times 96\% \times 96\% = 85,7\%$$

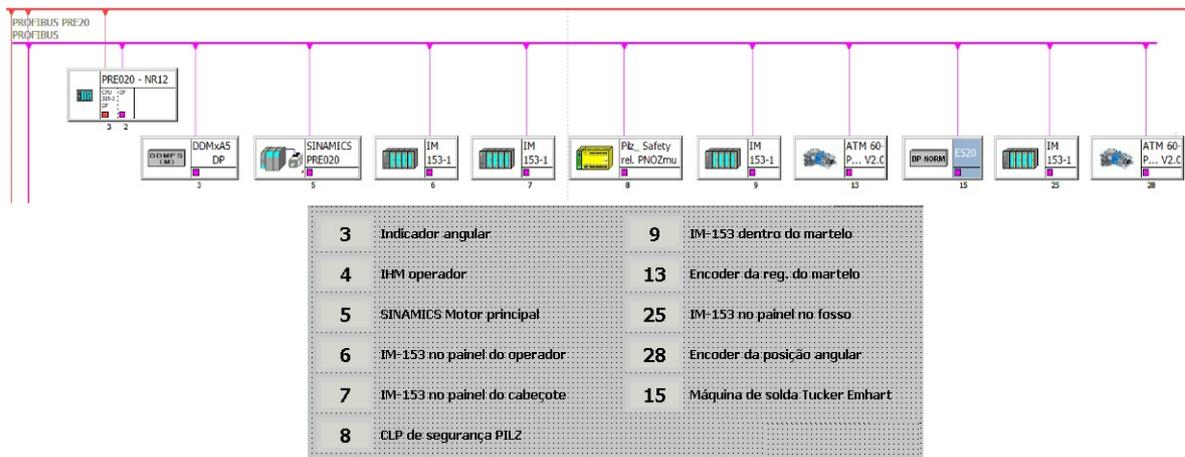
O tempo de atravessamento, também conhecido como Lead-Time (LT), do produto que é estudado nesse estudo de caso, é basicamente a diferença entre a produção de um dia da máquina de solda a ponto e a demanda mensal que é

produzida pela prensa em 2,5 dias, ou seja, a peça que é produzida na prensa pode levar até 20 dias de produção na máquina de solda a ponto, para ser destinada ao cliente. Podendo assim sofrer interferências externas, oriundas de transportes e armazenamentos intermediários, para o atendimento do pedido do cliente.

A segunda ação, etapa 2, foi determinar a estratégia a ser utilizada para automação do processo de solda a ponto, juntamente com a prensa. Foi realizado um cronograma para a execução das tarefas de estudo de viabilidade de comunicação entre as máquinas, a disponibilidade de espaço físico para a instalação dos componentes necessários e a utilização das tecnologias necessários para a execução e controle do processo, bem como a interação entre as máquinas via rede *Profibus*.

A Figura 16 mostra o esquema de comunicação entre as máquinas.

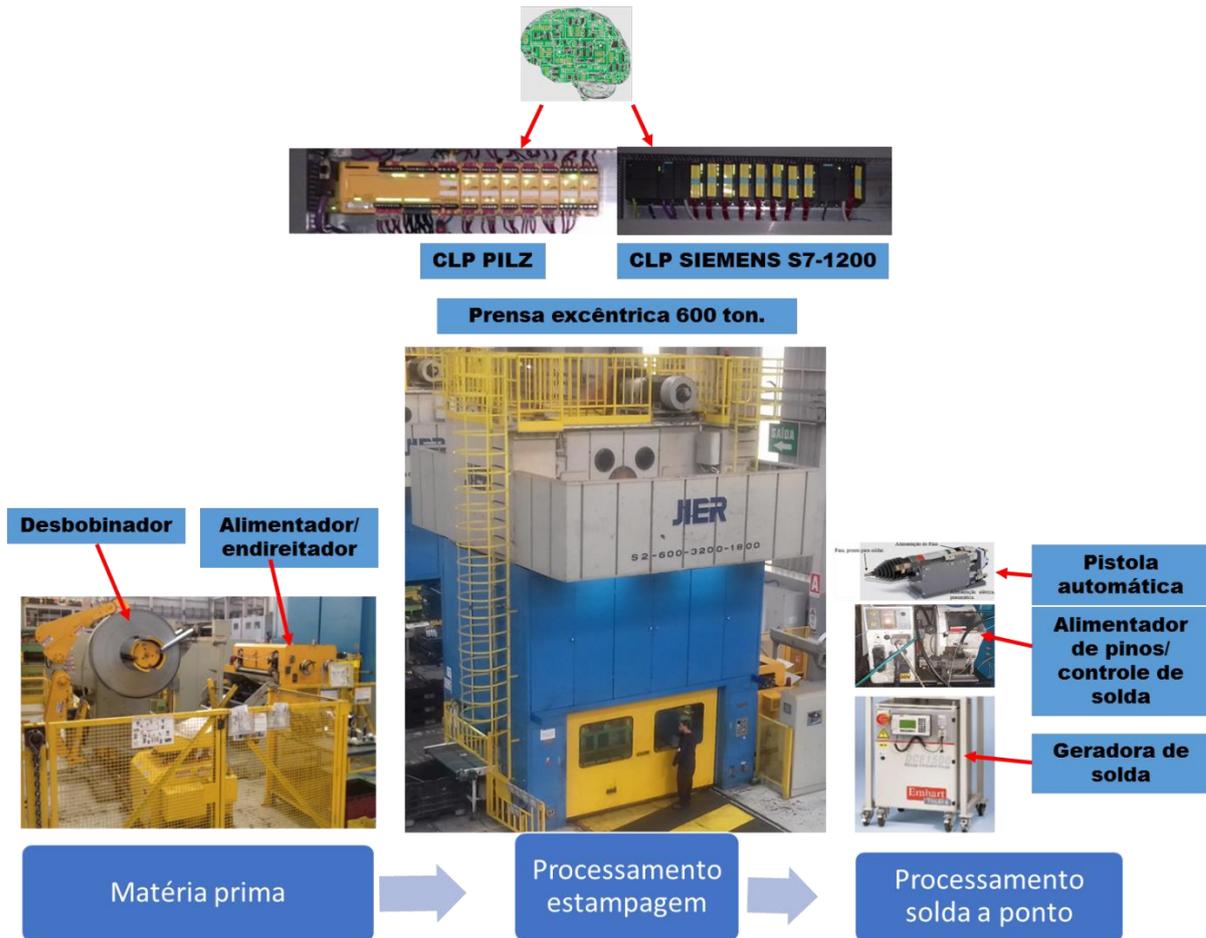
Figura 16 - Esquema de ligação e comunicação *Profibus*



Fonte: Autor (2021).

A prensa utilizada foi a mesma da operação antes da automação. Uma prensa mecânica do tipo excêntrica com 620 toneladas de capacidade, equipada com sistema de alimentação e correção da planicidade da chapa, através do sistema desbobinador alimentador/endireitador, máquina geradora de solda a ponto, pistola automática e alimentador de pinos, CLP da Siemens e CLP da Pilz, para controle do processo e integração entre as máquinas, como demonstra a Figura 17.

Figura 17 - Máquinas utilizadas na automação do processo



Fonte: Autor (2021).

A terceira ação, etapa 3, foi realizar a programação das tarefas a serem realizadas. Foram definidos orçamentos e definição de tempos necessários para a execução das tarefas externas ao processo de automação, pois havia a necessidade de manufaturas externas, programações e testes antes de serem instalados efetivamente na prensa.

A Tabela 7, demonstra a relação dos materiais necessários para a adaptação da ferramenta de estampo, serviços de usinagem para realizar o acoplamento da pistola automática da máquina de solda e quantidade de horas de trabalho interno de engenheiros, técnicos de manutenção e ferramentaria.

Tabela 7 - Serviços, Materiais e horas de trabalho

Atividade/ Tarefa/ Material	Quantidade	Valor R\$
Aços para adaptação de pistola de solda	1 unidade	1.950,00
Usinagem externa para adaptação de pistola de solda	27,5 horas	2.472,00
Horas de projeto de engenharia	16 horas	3.110,40
Horas de ferramentaria/ técnico ferramenteiro (usinagem interna)	30 horas	2.700,00
Horas de manutenção (mecânica/ eletrônica/ automação)	36 horas	3.240,00
Horas de máquina em ajuste de processo	16 horas	3.120,00
Custo total do investimento R\$ 16.592,40.		

Fonte: Autor (2021).

A quarta ação, etapa 4, foi realizar a programação de tempo para a realização das tarefas da etapa anterior, e realizar a montagem externa, ou seja, a montagem da pistola de solda na ferramenta de estampo, antes da instalação propriamente na prensa. De certa forma a montagem externa serviu como testes de funcionamentos e foi possível a realização de testes eletromecânicos e ajustes e programação de telas da Interface Humano-Máquina IHM, para a execução e monitoração do processo diretamente no painel da prensa.

A máquina de solda a ponto e alimentação de parafusos foi adquirida de outros projetos, que ficaram obsoletos em determinado momento. Máquinas que foram utilizadas em outros projetos e no momento ficam à espera de outra finalidade, automações, melhorias em processos, entre outros.

A parte de ligações elétricas, cabos elétricos, cabos de redes, disjuntores, contadoras, são materiais de uso do cotidiano. Estão disponíveis nos estoques internos da empresa, com isso o custo não foi levado em conta nesse trabalho pois foram utilizados os componentes que eram utilizados na máquina de solda manual, incrementado de alguns componentes novos.

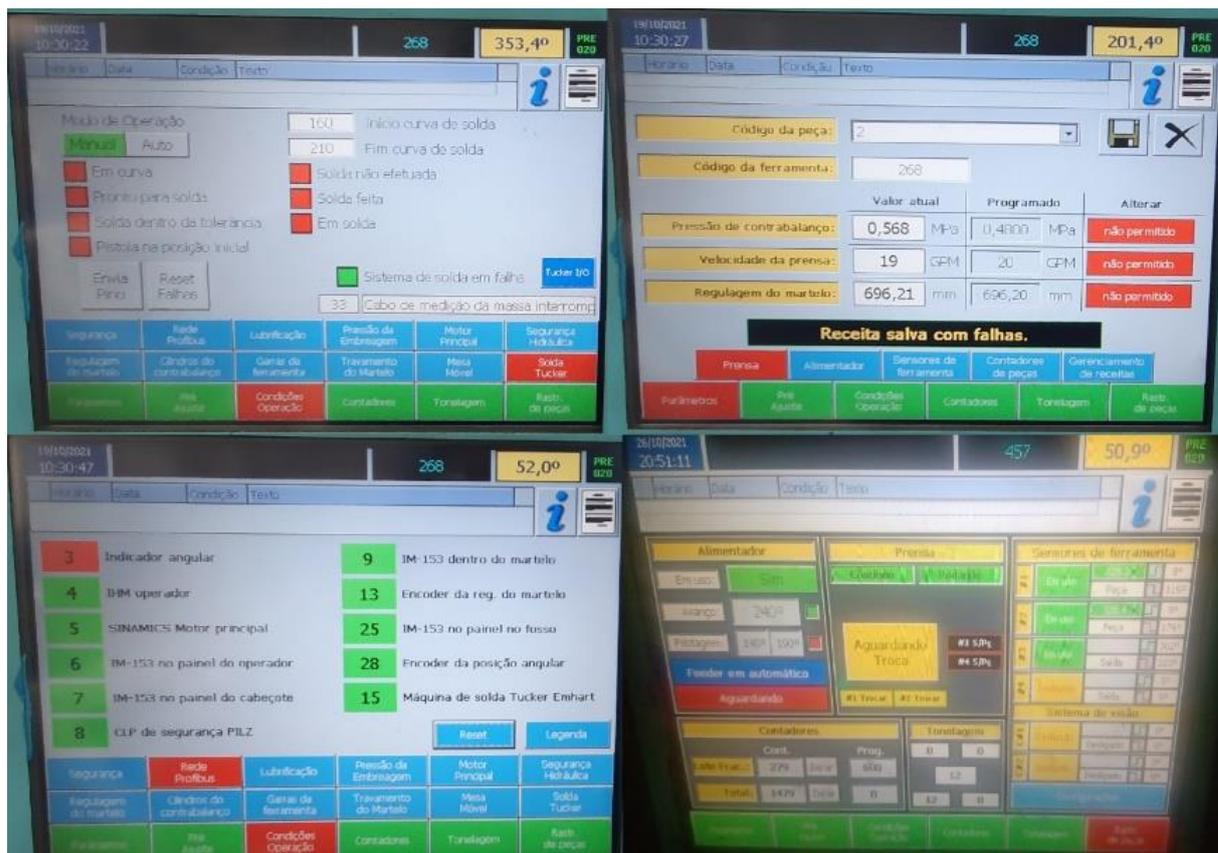
A parte de comunicação entre as máquinas e a programação do CLP foram realizadas internamente na empresa, adicionando cartões de I/O no CLP da Siemens.

A ferramenta de estampo necessitou de ajustes, usinagens externas especiais, devido a sua complexibilidade, usinagens internas para realização de ajustes e

em rede, diagnosticando e demonstrando possíveis falhas do processo e uma tela de condições gerais de parametrização, como, por exemplo: posição da chapa, controle de passo, controle de saída de peças através de sensores indutivos, contadores e monitores de carga que medem a força exercida na prensagem.

A Figura 19 mostra as telas de IHM criadas para facilitar aos operadores e aos técnicos a visualização do estado de funcionamento do sistema de solda a ponto integrado à prensa.

Figura 19 - Telas de IHM criadas para parametrização e controle de solda.

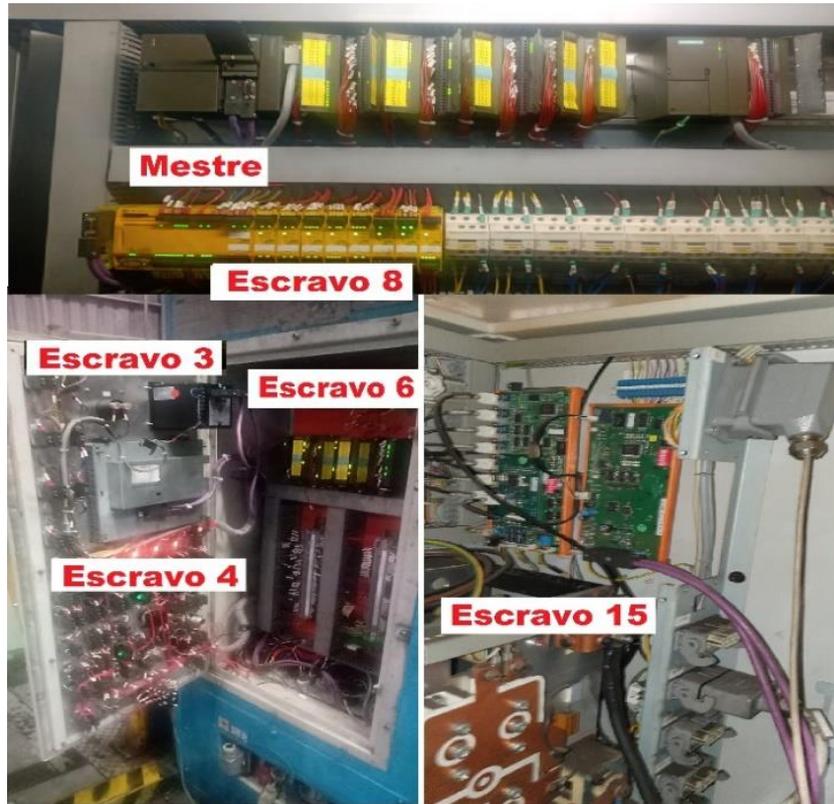


Fonte: Autor (2021).

A rede Profibus foi implementada para monitorar em tempo real a situação da comunicação entre as máquinas, em que o CLP da Siemens realiza a função de mestre e o restante dos componentes funcionam como escravos, para reduzir os erros gerados pelo processo anterior a automação e facilitar o diagnóstico imediato de falhas.

Na Figura 20 está ilustrado alguns dos componentes que foram ligados em rede para a automação da solda a ponto juntamente com a prensa.

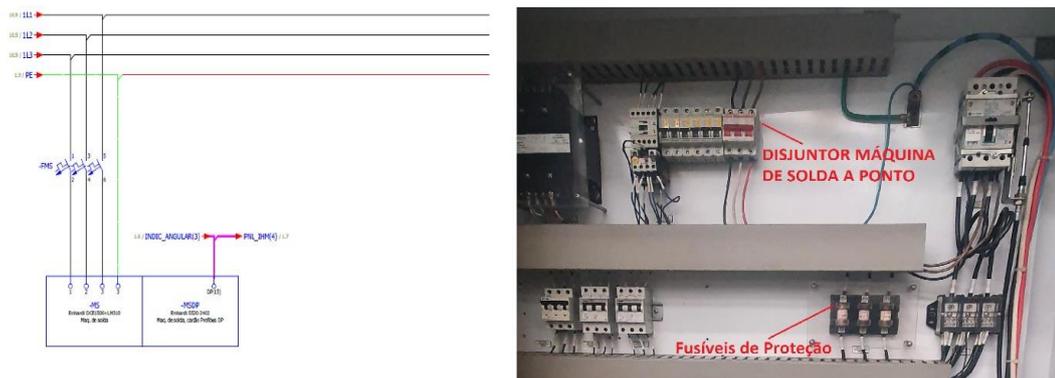
Figura 20 - Rede *Profibus* física do projeto



Fonte: Autor (2021).

A ligação da parte elétrica foi realizada no mesmo painel elétrico da prensa, pois possuía espaço para implementação de acessórios. A alimentação da máquina de solda a ponto é de 380V trifásico. Foi utilizado a alimentação geral do painel existente, acrescentado de disjuntor específico para a máquina de solda. A Figura 21 mostra este painel descrito.

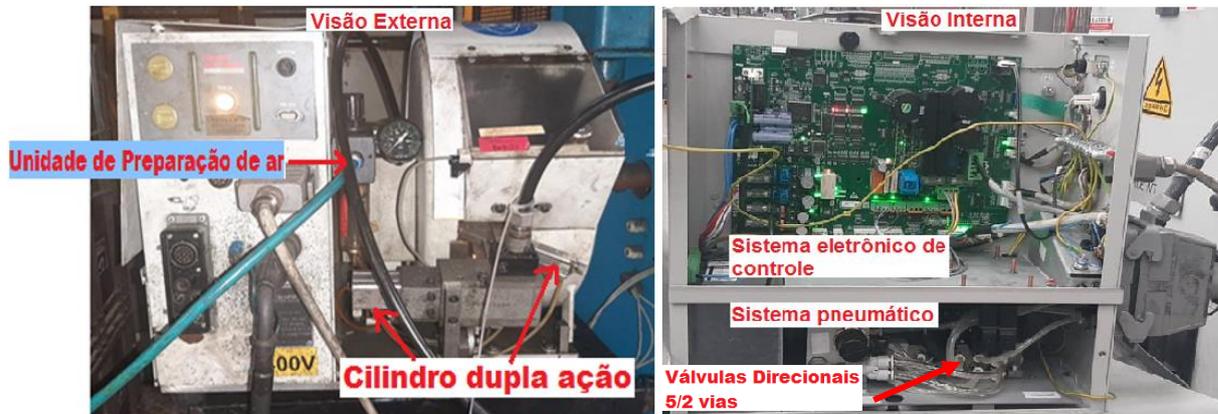
Figura 21 - Esquema de ligação máquina de solda ponto.



Fonte: Autor (2021).

O circuito pneumático da máquina de alimentação de pinos é composto por conjunto de preparação de ar comprimido, válvula direcionais dupla ação com acionamento elétrico e retorno por molas e cilindros de dupla ação. Estrutura que pode ser observada na Figura 22.

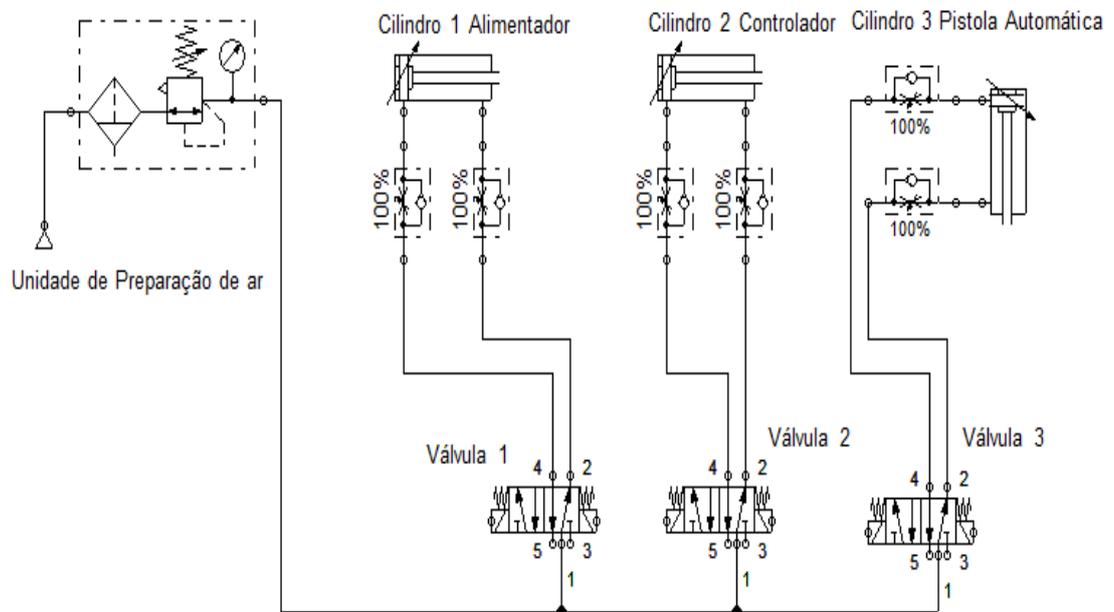
Figura 22 - Componentes pneumáticos da máquina de alimentação de pinos



Fonte: Autor (2021).

O circuito pneumático está descrito a seguir no esquema, editado através do software *FluidSim* da Festo e demonstrado conforme a Figura 23.

Figura 23 - Diagrama esquemático do circuito pneumático



Fonte: Autor (2021).

O programa de CLP foi ajustado para permitir o funcionamento das máquinas

de forma síncrona, ou seja, atuarem de forma conjunta. Foi incrementado módulos de entradas e saídas, para aumentar a capacidade de processamento e execução do CLP. Foi utilizado programação em *ladder*, com o recurso da Siemens que permite a criação de blocos que funcionam como subprogramas.

Para facilitar a programação, foi criada uma tabela de entradas e saídas (I/Os), que ilustram as funções criadas como sinais de entradas e saídas, que atuam de forma a permitir o funcionamento das máquinas de forma interativa e colaborativas entre si.

A Tabela de entradas e saídas está ilustrada na Figura 24.

Figura 24 -Tabela de entradas e saídas solda a ponto

Name	Data Type	Address	Initial Value	Comment
IN		0.0		
swP10	Word	0.0	W0.000	
swP11	Word	2.0	W2.000	
swP16	Bool	6.0	0.0000000000	
swP17	Bool	8.0	FALSE	
OUT		0.0		
swP10	Word	10.0	W0.000	
swP17	Word	17.0	W17.000	
IN_OUT		0.0		
swP17		0.0		
swP10	struct	14.0		
107	Bool	14.0	FALSE	Ready for service
101	Bool	14.1	FALSE	Feedback with weld output
102	Bool	14.2	FALSE	Weld inside of tolerance
103	Bool	14.3	FALSE	Maintainable welding
104	Bool	14.4	FALSE	Collective fault Out./Read in
105	Bool	14.5	FALSE	Weld complete (WC) Read 1
106	Bool	14.6	FALSE	SRX back Read 1
107	Bool	14.7	FALSE	Fault message Read 1 (I)
110	Bool	17.0	FALSE	
111	Bool	17.1	FALSE	WLD complete (WC) Read 2
112	Bool	17.2	FALSE	SRX back Read 2
113	Bool	17.3	FALSE	Fault message Read 2 (I)
114	Bool	17.4	FALSE	
115	Bool	17.5	FALSE	Weld complete (WC) Read 3
116	Bool	17.6	FALSE	SRX back Read 3
117	Bool	17.7	FALSE	Fault message Read 3 (I)
swP11	struct	18.0		
120	Bool	18.0	FALSE	
121	Bool	18.1	FALSE	Weld complete (WC) Read 4
122	Bool	18.2	FALSE	SRX back Read 4
123	Bool	18.3	FALSE	Fault message Read 4 (I)
124	Bool	18.4	FALSE	
125	Bool	18.5	FALSE	WLD complete (WC) Read 5
126	Bool	18.6	FALSE	
127	Bool	18.7	FALSE	
128	Bool	18.8	FALSE	
129	Bool	18.9	FALSE	
130	Byte	17.0	W17.000	Fault code (1 byte)
swP0	struct	19.0		
sw0	Bool	19.0	FALSE	Program selection 2**0
sw1	Bool	19.1	FALSE	Program selection 2**1
sw2	Bool	19.2	FALSE	Program selection 2**2
sw3	Bool	19.3	FALSE	Program selection 2**3
sw4	Bool	19.4	FALSE	Program selection 2**4
sw5	Bool	19.5	FALSE	Program selection 2**5
sw6	Bool	19.6	FALSE	Fault Reset
sw7	Bool	19.7	FALSE	With weld output
sw8	Bool	19.8	FALSE	Test mode
sw9	Bool	19.9	FALSE	
sw10	Bool	19.10	FALSE	Start weld cycle Read 1
sw11	Bool	19.11	FALSE	SRX forward/back Read 1
sw12	Bool	19.12	FALSE	Start stud feeding Read 1
sw13	Bool	19.13	FALSE	Start stud feeding Read 1
sw14	Bool	19.14	FALSE	Start weld cycle Read 2
sw15	Bool	19.15	FALSE	SRX forward/back Read 2
sw16	Bool	19.16	FALSE	Start stud feeding Read 2
sw17	Bool	19.17	FALSE	Start weld cycle Read 3
swP1	struct	20.0		
sw18	Bool	20.0	FALSE	SRX forward/back Read 3
sw19	Bool	20.1	FALSE	Start stud feeding Read 3
sw20	Bool	20.2	FALSE	Start weld cycle Read 4
sw21	Bool	20.3	FALSE	SRX forward/back Read 4
sw22	Bool	20.4	FALSE	Start stud feeding Read 4
sw23	Bool	20.5	FALSE	Start weld cycle Read 5
sw24	Bool	20.6	FALSE	SRX forward/back Read 5
sw25	Bool	20.7	FALSE	Start stud feeding Read 5
sw26	Bool	21.0	FALSE	Color marking Read 1
sw27	Bool	21.1	FALSE	Color marking Read 2
sw28	Bool	21.2	FALSE	Color marking Read 3
sw29	Bool	21.3	FALSE	Color marking Read 4
sw30	Bool	21.4	FALSE	Color marking Read 5
sw31	Bool	21.5	FALSE	Shuttruck
sw32	Bool	21.6	FALSE	
sw33	Bool	21.7	FALSE	
sw34	struct	22.0		
sw35	Bool	22.0	FALSE	
sw36	Bool	22.1	FALSE	Weld automation
sw37	Bool	22.2	FALSE	Weld manual

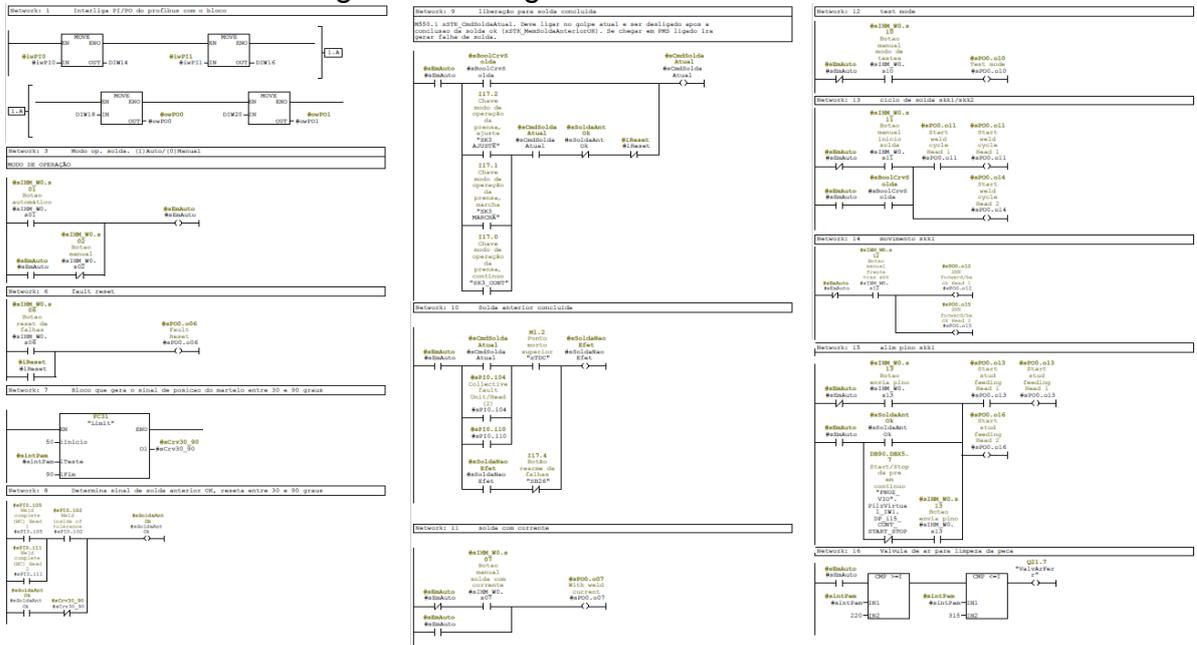
Fonte: Adaptado de Step7 Siemens (2021).

As programações foram inseridas juntamente com as existentes no programa atual, de acordo com as instruções da Norma IEC6131-3 e procedimentos internos da empresa. Pois relacionam as operações da máquina de solda a ponto à operação da prensa excêntrica

Foram criadas condições para que os operadores pudessem escolher o modo de operação, ou seja, ajustes, modo marcha, que estampa e solda uma peça e interrompe o processo e o modo contínuo, que produz de forma interrupta até que ocorra algum evento externo, seja por falta de algum sinal da prensa ou da máquina

de solda. A Figura 25 demonstra o programa criado para o funcionamento da solda a ponto.

Figura 25 - Programa de CLP em Ladder.



Fonte: Adaptado de Step7 Siemens (2021).

A sexta ação, etapa 6, é o tempo utilizado para ajustes de parâmetros de produção. Tempo utilizado com as máquinas livres para serem ajustados os devidos fatores, que por ventura viessem prejudicar a qualidade do produto, ou do processo em si, como exemplo: velocidade de produção, corrente elétrica (I), tensão elétrica (V) de solda, tempos de avanço e recuo da pistola automática, ângulo da prensa em que a solda deve ser atuada, de forma que o pino seja soldado no momento correto em relação ao processo de estampagem.

Foram utilizadas 3 semanas de produção do item, ou seja, 3 lotes de produção para realizar os testes e ajustes necessários aos processos de estampagem e soldagem a ponto com alimentação automática de pinos roscados, com a finalidade de garantir e aumentar a qualidade e a produtividade do produto.

A Figura 26 mostra o cronograma das atividades realizadas com a “máquina parada”. Com a máquina sendo utilizada especificamente para o ajuste do processo.

Os valores de tensão, corrente e tempo de solda foram definidos durante as etapas anteriores e somente são alterados pelo setor de manutenção da empresa.

A Figura 28 demonstra a lista dos parâmetros inseridos na máquina de solda para a realização do processo.

Figura 28 - Parâmetros máquina de solda.

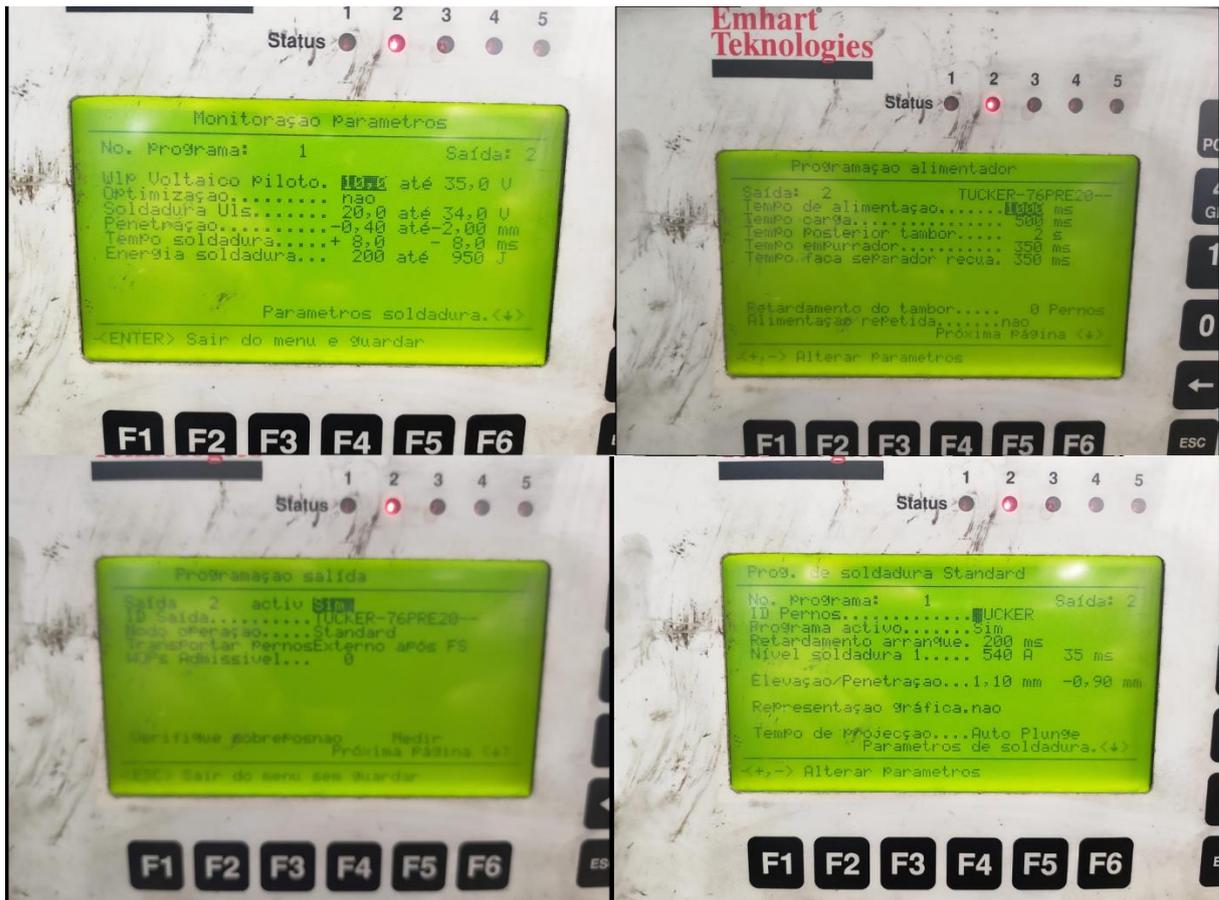
F 378 CARTAS DE PARÂMETRO			
Validação do Processo de Solda Pino			
Dados da Estação de Trabalho		Dados do Controlador de Solda	
Peça:		Nº DCE:	
Célula:	PRE020	Art. Nr:	
Robo:	N/A	Netz.V.:	
Soldadura de Pi	TUCKER	Type:	DCE1500
Código do Pino		Fabr. Nr.:	
Estação:	-	Fabricante:	EMHART
Operação:	-	País fabr.:	
		Dados da Pistola de Solda	
		Nº ident	Nº 12
		Type:	LM310
		Fabr. Nº	
PARÂMETRO DE SAÍDA		PARÂMETRO DE SOLDA	
PROGRAMAÇÃO DE SAÍDA		PROGRAMA DE SOLDADURA	
PARÂMETRO	REFERÊNCIA	PARÂMETRO	REFERÊNCIA
Saída Nº	2	Nº do Programa	1
ID de Saída	TUCKER-76PRE20	Saída	2
Modo de Operação	STANDART	ID de Pernos	TUCKER
Transportar Pernos	EXTERNO FS	Programa Ativo	SIM
WOP's Admissível	0	Retardamento de Arranque (ms)	50
Verifique sobreposição	NÃO	Nível de Soldadura (corrente - tem)	540A - 35ms
Tempo de Alimentação (ms)	600	Elevação/penetração (mm)	1,1 a -0,9
Tempo de Carga (ms)	0	Representação Gráfica	NÃO
Tempo Posterior Tambor (ms)	5	Tempo de Projecção	AUTO PLUG
Tempo Empurrador (ms)	350	Ulp Voltaico Piloto (Mín - Máx)	10 - 35V
Tempo Faca Separadora Recua	350	Optimização	NÃO
Retardamento Tambor (pernos)	0	Soldadura Uls (Mín - Máx)	20 - 34V
		Penetração (mm)	(-0,40) a (-1,15)
		Tempo de Soldadura (ms)	8 ms
		Energia de Soldadura (J)	200 - 950

Fonte: Autor (2021).

Os parâmetros foram inseridos de forma manual durante os testes realizados. Tempos de ciclo, tensão e corrente foram definidos para garantir a qualidade da solda do pino e para manter a produtividade de acordo com o esperado.

A Figura 29 mostra a tela da máquina de solda, onde são inseridos os parâmetros de soldagem a ponto.

Figura 29- Controlador da máquina de solda a ponto.



Fonte: Autor (2021).

O processo de estampagem e solda a ponto, tem como plano de controle e itens para verificações durante a produção, a presença de pino, posição e empenamento do pino, resistência da solda do pino, diâmetro dos furos, distâncias entre furações, formato e qualidade do estampado, entre outros itens listados na Figura 30.

Figura 30 - Plano de controle produto estampado e solda a ponto.

PLANO DE CONTROLE						PC-701		
PART NUMBER:		DATA:		NUMERO:		PÁGINA 1 DE 1		
CÓDIGO MP:		LOCAL:		PROJEÇÃO:				
CLIENTE:		ULTIMA REV. DES. - DATA:		REV. 03/2022		DATA: _____		
CATEGORIA:		PRODUÇÃO:				Rev. 03		
DESCRIÇÃO DA PEÇA:		SOLDA A PUNTO DE PISO				PLANO DE BOMBA		
DESCRIÇÃO DA OPERAÇÃO:		ARRABAP PROGRESSIVO + SOLDA DE PISO				CONFORME DETALHE 03-02-03		
		CÓDIGO / CENTRO DE OPERAÇÃO:						
DESCRIÇÃO DA INSPEÇÃO								
ITEM	SMB	CARACTERÍSTICA		ESPECIFICAÇÃO	MÉTODO DE INSPEÇÃO	FREQUÊNCIA	RESPONSÁVEL	REGISTRO
A		ESPESSURA DO MATERIAL		0,67 - 0,73 mm	MICRÔMETRO 0-025 mm (0,001mm)	1 PEÇA A CADA SETUP DE MP (INÍCIO E TROCA DE BORNA)		
B		SOLDAR PISO TUCKER		PRESENCIA DE 1 PISO TUCKER	INSPEÇÃO VISUAL/PEÇA PADRÃO			
C				VERIFICAR SE O PISO NÃO ESTÁ TORTO				
D		RESISTÊNCIA DA SOLDAGEM		Resistência de 1 N/m Conforme método de verificação em 2 sentidos	TORQUEÍMETRO TIPO T	300%		
E				ARRANCAMENTO DA CHAPA DE 75% DO DIÂMETRO NA BASE DO PISO Ø MÉDIO MÍNIMO DE 4,5mm	PAQUÍMETRO			
F		REBARBA				1 PÇ NO INÍCIO LOTE	OPERADOR	SD-0001-02
G		TRINCA				1 PÇ APÓS INTERVENÇÃO (FER, MAN e ENG)		
H		DEFORMAÇÃO		AUXÍLIO VISUAL AV 0036	VISUAL	1 PÇ A CADA SETUP DE MP (TROCA DE BORNA)		
I		OXIDADAÇÃO						
J		REMORTE						
K		GRAVAÇÃO DA PEÇA (PN)		PRESENCIA				
L		DATADOR		PRESENCIA	DISPOSITIVO DE CONTROLE DC-516	1 PÇ NO INÍCIO E FIM DO TURNO E FINAL DE LOTE		
M		POSIÇÃO DO PISO		CONFORME DESENHO		1 PÇ A CADA 500 PÇS (REGISTRO A CADA 1000)		
N		FORMA				1 PÇ APÓS INTERVENÇÃO (FER, MAN e ENG)		
O		CONTORNO				1 PÇ A CADA SETUP DE MP (TROCA DE BORNA)		
P		POSIÇÃO DOS FUROS						
Q		FURO		10,10 - 10,30 mm				
R		FURO		19,00 - 19,50 mm				
S		FURO		5,90 - 6,8 mm				
T		FURO		15,70 - 16,70 mm				
U		SENSOR DE TIRA		LIGADO	VISUAL			
V		ALTURA DO MARTELO		CONFORME TPE-183	VISUAL			
X		LIMPEZA		CONFORME TPE-183	VISUAL	1 PEÇA A CADA SETUP DE MP (INÍCIO E TROCA DE BORNA)		
Y		PARÂMETROS DE SOLDA		CONFORME CARTA DE PARÂMETROS, SD-379-02	VISUAL	CONFORME TB-0079	ENGENHARIA	TB-0079

Fonte: Autor (2021).

A qualidade da solda é medida através do torque do pino soldado e inspeções visuais de forma e posição. As características são analisadas conforme a Figura 31,

as verificações são realizadas durante o início e durante o processo com a periodicidade determinada nos testes.

Figura 31 - Verificações da qualidade de solda do pino

PLANO DE CONTROLE					PC-699			
PART NUMBER:		DUNS: 914663158			PÁGINA 1 DE 1			
CÓDIGO SAP:		LOCAL: PRODUÇÃO						
CLIENTE: GM		ÚLTIMA REV. DES. - DATA: 001 - 28/04/2011			PLANO DE REAÇÃO			
CATEGORIA: PRODUÇÃO		DESCRIBÇÃO DA PEÇA: BAR ASM-DA PNL FRT LWR CR			CONFORME INSTRUÇÃO 30-025-02			
DESCRIBÇÃO DA OPERAÇÃO: SOLDAR PINO TUCKER		CROQUI / DESENHO DA OPERAÇÃO						
								
DESCRIBÇÃO DA INSPEÇÃO								
ITEM	SIMB.	CARACTERÍSTICA		ESPECIFICAÇÃO	MEIO DE MEDIÇÃO	FREQUÊNCIA	RESPONSÁVEL	REGISTRO
		PRODUTO	PROCESSO					
A		SOLDAR PINO TUCKER		Presença de 1 Pino Tucker	INSPEÇÃO VISUAL / PEÇA PADRÃO	100%	OPERADOR	50-008-02
B				Pino Tucker deve estar perpendicular ao estampado				
C		RESISTÊNCIA DA SOLDAGEM		Resistência de 3 N/m. Conforme método de verificação em 2 sentidos	TORQUÍMETRO			
E		DIMENSIONAL		Posição do Pino Tucker	DISPOSITIVO DE CONTROLE DC-616	PÇ NO INICIO E FIM DO TURNO + 1 PÇ A CADA 250 PEÇAS (REGISTRO A CADA 500) + 1 PEÇA APÓS INTERVENÇÕES		

Fonte: Autor (2021).

Para manter um correto funcionamento do processo, além de criar os planos de controle, foi criado um alerta de qualidade, que ficará diretamente no posto de trabalho e terá que ser acompanhado pelos operadores durante o processo de

produção desse item. A Figura 32 demonstra o alerta de qualidade gerado para controle do processo.

Figura 32 - Alerta de Qualidade.

GRAVATAI		ALERTA DA QUALIDADE		Formulário: SI-100/02 Revisão: 02/REV Data: 14/06/2016/REV					
<input type="checkbox"/> RECLAMAÇÃO DE CLIENTE <input checked="" type="checkbox"/> NÃO CONFORMIDADE INTERNA DE PRODUTO/PROCESSO <input type="checkbox"/> MEIO AMBIENTE <input type="checkbox"/> SEGURANÇA <input type="checkbox"/> PRODUTIVIDADE EM DESENVOLVIMENTO		Número de Alerta: 17619							
SETOR: PRODUÇÃO / TIME 3		PEÇA:		FONTE: PRENSA 20					
PROBLEMA: AUSÊNCIA DO PINO TUCKER									
ERRADO		CERTO		TRECHO 1		TRECHO 2		TRECHO 3	
				CONTROLE DE COMUNICAÇÃO		CONTROLE DE COMUNICAÇÃO		CONTROLE DE COMUNICAÇÃO	
				ASS.	Nº REQ.	ASS.	Nº REQ.	ASS.	Nº REQ.
									
PEÇA NÃO OK		PEÇA OK		OBSERVAÇÕES/RECOMENDAÇÕES/PROVIDÊNCIAS ATENÇÃO PARA EVENTUAIS PEÇAS COM AUSÊNCIA DO TUCKER DURANTE O PROCESSO DE ESTAMPAGEM/SOLDAGEM. PEÇAS SEM O PINO TUCKER DEVEM SER SEGREGADAS E IDENTIFICADAS. EM CASO DE OCORRÊNCIA DEVE-SE ACIONAR O PLANO DE REAÇÃO.					
EMITIDO E 31/05/2013 RESPONSÁVEL:		RETIRAR E 31/05/2013 RESPONSÁVEL:							

Fonte: Autor (2021).

A oitava ação, etapa 8, é realizar a documentação do processo atualizada e criar comparativos de qualidade e produtividade. Calcula-se a viabilidade e o retorno do investimento, para realizar a divulgação dos resultados perante funcionários, gestores, empresa e acionistas.

A Tabela 8 realiza a demonstração do comparativo de produtividade dos processos individualizados e os processos unificados.

Tabela 8 - Comparativo Produtividade quantidade de pessoas e quantidade de peças

Processo Antigo Individual				Processo Novo Integrado			
Etapa	Horas de produção	Quantidade de peças	Número de funcionários	Etapa	Horas de produção	Quantidade de peças	Número de funcionários
Estampagem	23	24.000	2	Estampagem	30	24.000	2
Soldagem a ponto	160	24.000	1	Soldagem a ponto	--	2.400	--
Inspeção da solda	160	24.000	1	Inspeção da solda	--	2.400	--

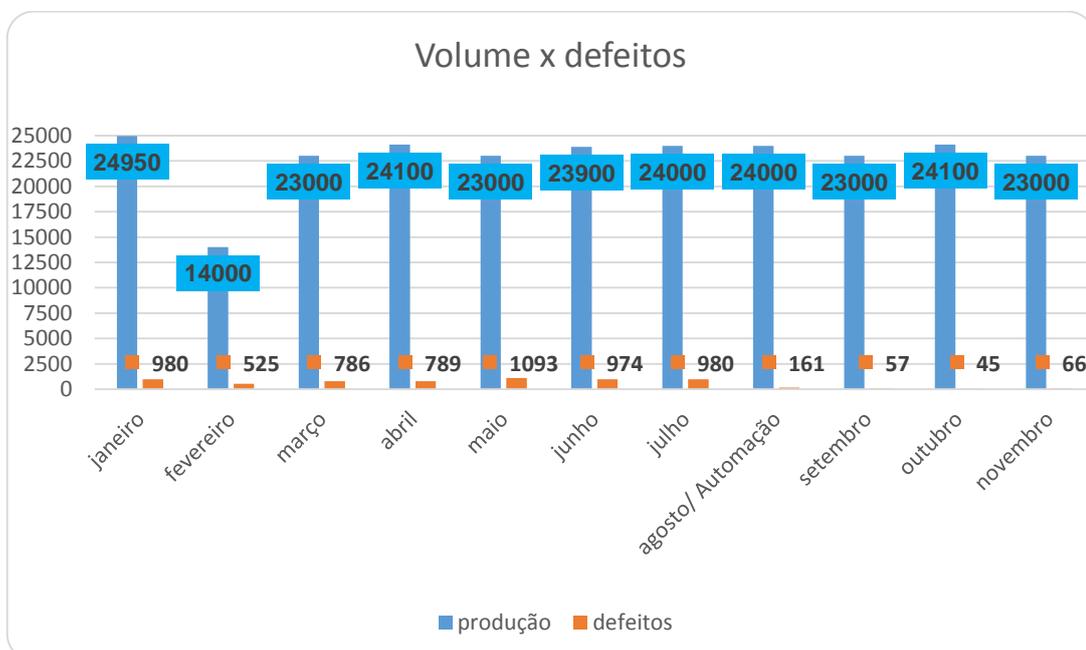
Fonte: Autor (2021).

A tabela apresentada demonstra a evolução do processo ao levar-se em conta a quantidade de peças versus a quantidade de pessoas envolvidas no processo. Com a integração das máquinas e a utilização da tecnologia de comunicação e controle, notou-se o aumento significativo da produtividade do processo.

A qualidade do processo teve aumento significativo, devido a automação das etapas, com a criação de parâmetros, planos de controles, gravação de receitas e controles durante o processo.

A eficácia do processo teve aumento significativo como demonstra a Figura 33 do gráfico abaixo.

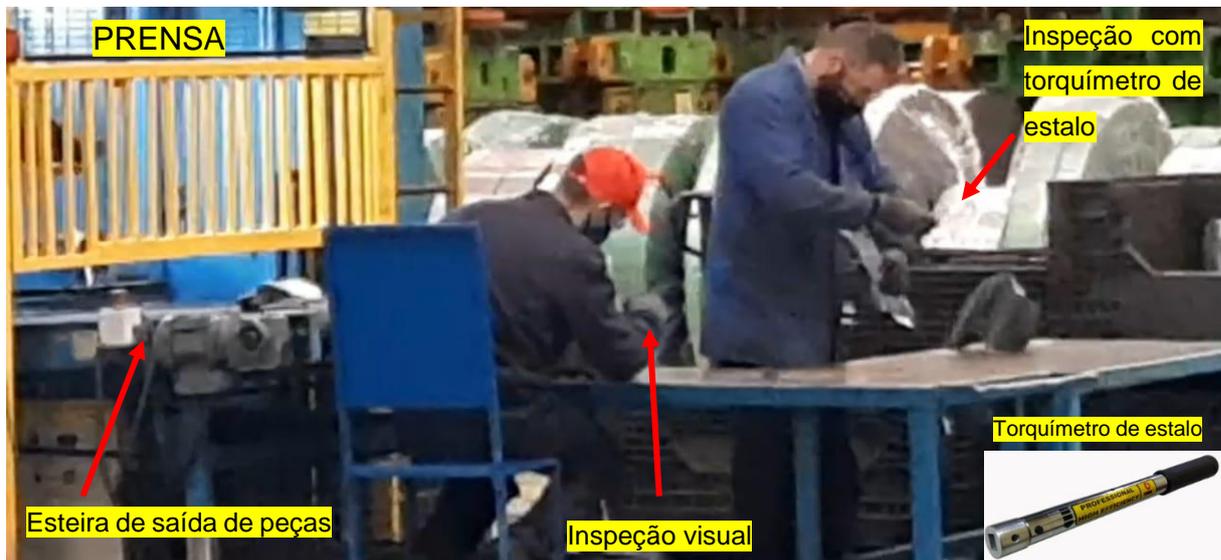
Figura 33 - Gráfico produção versus quantidade de defeitos



Fonte: Autor (2021).

A verificação da eficácia da qualidade do processo é analisada em todas as peças. A verificação ocorre no momento em que os operadores da prensa retiram a peça da esteira de saída e antes de colocarem nas caixas, como demonstra a Figura 34.

Figura 34 - Verificação da Qualidade de solda do pino



Fonte: Autor (2021).

O estoque intermediário de peças diminuiu consideravelmente, pois anteriormente havia a necessidade de uma área muito grande, devido a quantidade de peças em cada caixa.

A alta capacidade produtiva da prensa era um revés em relação à máquina de solda a ponto, pois havia a demanda de muitas caixas e uma área grande específica para armazenar as peças.

Levando em consideração a produtividade da prensa, seriam necessárias 23 horas produtivas para produzir a demanda mensal do produto. Em relação a produtividade da máquina de solda a ponto, seria necessário que algumas caixas ficassem estocadas durante um mês inteiro, pois a capacidade era de 160 horas produtivas, ou seja, 20 dias completos de 8 horas de trabalho.

Com isso era necessário um estoque intermediário de aproximadamente 37 caixas, que ocupavam em média uma área de 12m², pois as caixas mediam 1,2m x 1,2m x 1m de altura, e podiam ter no máximo 4 caixas de altura durante o empilhamento.

Com a automação do processo a quantidade de caixas, para estoque intermediário do processo estampagem e soldagem a ponto terminou. Havendo a necessidade de somente 2 caixas no final da linha da prensa, pois após a peça sair da prensa já com o pino soldado é alocada em caixas com capacidade de aproximadamente 630 peças, que vão diretamente à próxima etapa do processo de fabricação do conjunto soldado, com outras peças.

A Figura 35 demonstra a quantidade atual de caixas utilizadas durante o processo de estampagem e soldagem.

Figura 35 - Caixas de peças durante processo.



Fonte: Autor (2021).

A quantidade de movimentações de caixas para o estoque interno diminuiu, pois havia a necessidade de alocar as caixas com as peças somente estampadas, para posteriormente levá-las à máquina de solda a ponto manual.

A Figura 36 mostra a planta baixa da área utilizada para estoque interno e a distância percorrida pelo setor de logística, para realizar o armazenamento das peças.

a ferramenta de estampo, tempos de mão-de-obra dos técnicos de manutenção, ferramentaria e engenharia, que trabalharam na execução do projeto.

Os custos de refugos são calculados de acordo com a Tabela 9, que mostra as médias de produção analisadas antes e após a automação do processo, levando em conta as taxas de refugos.

Tabela 9 - Média de produção versus taxa de refugos e saldo em reais.

		média dos defeitos janeiro a julho	taxa de refugo	refugo atual em relação ao anterior
média das peças janeiro a julho	22421,43	875,29	3,90%	8,96%
↓ Automação ↓		média dos defeitos agosto a novembro		
média das peças agosto a novembro	23525	82,25	0,35%	
			prejuízo	saldo
média das peças janeiro a julho	valor R\$	R\$ 124.967,63	R\$ 4.878,48	R\$ 120.089,15
↓ Automação ↓				
média das peças agosto a novembro	valor R\$	R\$ 135.967,95	R\$ 475,38	R\$ 135.492,57

Fonte: Autor (2021).

Como visto na tabela, os valores das atividades inerentes às automações do processo custaram o valor de R\$ 16.592,40. E com base nesse valor será calculado o *payback*.

O retorno do investimento (ROI) ocorreu com um pouco mais de um mês de produção do novo processo, como demonstrado no cálculo abaixo, pois a redução do número de peças sucateadas, devido à má qualidade de solda do pino, elevou a qualidade do produto, aumentando o rendimento financeiro do processo.

$$ROI = \frac{16.592,40}{11.752,60}$$

$$ROI = 1,41$$

5 ANÁLISE

A partir dos resultados obtidos no capítulo anterior, foram realizadas análises comparativas dos valores adquiridos após a automação do processo de estampagem e soldagem a ponto. Com os valores dos processos individualizados anteriormente a realização da automação e também baseados nos trabalhos que fundamentaram o referencial teórico do presente estudo de caso: a monografia de Martins (2019), o artigo de Cabral, Silva e Del Pino (2018) e dissertação de Lewandoski (2019).

Inicialmente, foram comparados os valores de produtividade homem/hora do processo do conjunto soldado, os valores são referentes a capacidade de produção do produto final, ou seja, da peça estampada com o pino, no processo de solda a ponto.

Dessa forma, foi criada a Tabela 10 que ilustra esses ganhos de produtividade no processo automatizado.

Tabela 10 - Comparação produtividade Homem/hora

Processo Antigo Individual				
Processo	Média de produção mensal	Horas produtivas	Número de funcionários	Produtividade Homem/hora
Estampagem	22.421 peças	20 horas	2	600 peças/hora
Solda a Ponto	22.421 peças	160 horas	1	150 peças/hora
Inspeção Qualidade	22.421 peças	160 horas	1	150 peças/hora
Produtividade Total da Solda a Ponto: Homem/hora	22.421 peças	160 horas	2	75 peças/hora
Produtividade Total do Processo Homem/hora	22.421 peças	20 horas estampagem + 160 horas solda	2+2	67 peças/hora
Processo Estampagem e Soldagem a Ponto				
Processo	Média de produção mensal	Horas produtivas	Número de funcionários	Produtividade Homem/hora
Estampagem + Solda a Ponto + Inspeção Qualidade	23.525 peças	27 horas	2	444,5 peças/hora

Fonte: Autor (2021).

A tabela demonstra a evolução da produtividade do processo unificado em relação ao processo individualizado, mesmo havendo um aumento de horas produtivas de 35%, utilizadas pela prensa.

A taxa de produtividade homem/hora em relação ao produto final melhorou consideravelmente em 6,6 vezes, ou seja, o aumento da carga máquina não compromete o resultado final obtido pelo ganho de qualidade e produtividade, resultantes do processo de automação dos equipamentos.

A qualidade obtida através da integração dos processos, aumentou devido a confiabilidade fornecida pelos equipamentos, tendo em vista que antes da automação das máquinas o processo, a produtividade e a qualidade dependiam diretamente da experiência dos operadores, que produziam as peças de forma manual, com a pistola de solda manual, que havia a necessidade de alimentação dos pinos de forma individual e manual.

A Figura 37 mostra a máquina manual utilizada anteriormente e a pistola automática utilizada após a automação do processo.

Figura 37 - Máquina de solda manual e Pistola automática com alimentação de pinos.



Fonte: Autor (2021).

Os fatores que contribuíram para o aumento de qualidade, foram a inserção de parâmetros de solda, regulagem de alturas, velocidades de estampagem e velocidade de penetração e aplicação dos pinos durante a realização da soldagem. Condições essas que permitiram um aumento da confiabilidade do processo automatizado, diminuindo o índice de refugos em torno de 90% em relação aos índices anteriores,

gerando um retorno financeiro ainda maior, devido ao aumento da qualidade dos produtos.

A Tabela 11 ilustra uma comparação entre os índices de refugos antes e após a automação das máquinas.

Tabela 11 - Índice de refugos versus produção mensal antes e pós automação.

	Período	Produção	Defeitos	Taxa de refugos	Média de produção	Média de refugos
Período 1 (antes da automação)	Janeiro	24.950	980	3,93%	22.421,4	3,9%
	Fevereiro	14.000	525	3,75%		
	Março	23.000	786	3,42%		
	Abril	24.100	789	3,27%		
	Maio	23.000	1.093	4,75%		
	Junho	23.900	974	4,08%		
	Julho	24.000	980	4,08%		
Período 2 (após a automação)	Agosto	24.000	161	0,67%	23.525	0,35%
	Setembro	23.000	57	0,25%		
	Outubro	24.100	45	0,19%		
	Novembro	23.000	66	0,29%		

Fonte: Autor (2021).

Com o aumento do índice de qualidade, houve aumento também no OEE do processo, pois como o indicador de qualidade aumentou significativamente, observou-se também a melhora no indicador global de desempenho.

Para fins de cálculo nesse estudo de caso, foi levado em consideração a produção entre agosto e novembro de 2020, mais a média dos três meses seguintes. Para fins de matemáticos usou-se o valor médio de 23.525 peças como demonstrado na tabela 9, pois o período de amostragens encerrou-se em novembro devido às férias coletivas dispostas aos funcionários, no mês de dezembro.

Para obter o cálculo do OEE, primeiramente foram calculados os índices necessários para a obtenção do indicador.

O índice de Disponibilidade (ID), levou em consideração a quantidade de horas produzidas durante os meses de agosto e novembro de 2020, mais a média da produção desses meses, durante mais três meses, ou seja, foram calculados 7 meses como base.

$$ID = \frac{(183 - 6,98)}{183} = 99,6\%$$

Os valores são referentes ao total de horas utilizadas para a produção durante o período analisado, menos a quantidade de horas em que houveram peças com defeitos.

O índice de Qualidade (IQ) foi recalculado para obtenção de novos índices que servirão de parâmetros para validação do projeto e para futuros trabalhos no mesmo sentido. Da mesma forma que o índice anterior, os valores utilizados consideram os valores médios da produção no período de 7 meses.

$$IQ = \frac{(164.675 - 576)}{164.675} = 99\%$$

Os valores no cálculo acima referem-se ao total de peças produzidas no período de agosto de 2020, onde houve o início da automação, e o mês de novembro de 2020. Para fim de cálculos matemáticos, foram consideradas as médias de produção e refugos nos três meses seguintes.

O índice de Performance (IP), leva em consideração o tempo utilizado pelo processo automatizado, ou seja, o processo de prensagem e soldagem a ponto unificados.

$$IP = \frac{(164099)}{(164675)} * 100\% = 99,65\%$$

Com os índices anteriores, foi possível analisar a evolução do indicador OEE, que demonstra a eficiência global de desempenho do processo, após a realização do processo de automação.

$$OEE = 99,6 \times 99 \times 99,65 = 98,25\%$$

A comparação dos indicadores de desempenho, KPIs, são fundamentais para a avaliação e controle dos processos, pois avaliam as perdas, a qualidade e a produtividade de um determinado produto ou equipamento.

De certa forma podemos tratar os resultados dos KPIs, para eliminar paradas desnecessárias, e ou corrigir falhas que apareçam de forma sistemática nos processos. Isso traz assertividade aos processos, seja por meio de controle em si como por mudança, que é o caso desse trabalho.

A Tabela 12 demonstra um comparativo dos resultados dos KPIs, antes e após a automação dos equipamentos.

Tabela 12 - Indicadores de Desempenho-KPIs.

Processo Individual (Solda manual)		Processo Estampagem e Soldagem a Ponto Unificados	
Índice de Qualidade	96%	Índice de Qualidade	99%
Índice de Disponibilidade	93%	Índice de Disponibilidade	99,6%
Índice de Performance	96%	Índice de Performance	99,65%
O.E.E	85,7%	O.E.E	98,3%

Fonte: Autor (2021).

A tabela acima demonstra a eficácia da automação do processo, pois houve melhoria considerável nos indicadores individuais, bem como no OEE que é mede a Eficiência Global do processo analisado.

O OEE aumentou 12,5% em relação aos índices anteriores à automação. A precisão do processo de solda a ponto automática inserida no processo de estampagem do produto contribuiu para o aumento dos indicadores, pois houve menos refugos e, por consequência, os equipamentos passaram a produzir por mais tempo peças boas, nas condições de qualidade desejadas pelo cliente.

Considerando os valores a época do produto final vendido ao cliente, que era de R\$ 5,80, o retorno financeiro referente aos valores investidos no projeto tiveram o retorno do investimento (*Payback*) em um pouco mais de um mês, pois o valor investido foi de R\$ 15.082,00, como mostrado no levantamento de custos da Tabela 7. Mesmo a carga máquina aumentando, o rendimento financeiro aumentou devido à redução dos refugos e a eliminação de atividades externas a prensa, movimentações e estoques, podendo deslocar os operadores para outras atividades da empresa

Para fins de cálculos foi calculado o valor de hora/máquina em torno de R\$ 350,00, e o salário médio dos operadores é de R\$ 1.600,00, não levando em consideração os encargos trabalhistas dispostos na CLT.

A Tabela 13 demonstra os valores obtidos através das reduções de operadores e da redução do número de refugos.

Tabela 13 - Comparativo financeiro do projeto

Processo Antigo Individual			Processo Novo Automatizado		
Período de Janeiro a julho			Período de agosto a novembro		
	Quantidade média	Saldo		Quantidade média	Saldo
Peças produzidas	22.421	R\$ 130.041,80	Peças produzidas	23.525	R\$ 136.445,00
Peças refugadas	876	R\$ 5.080,80	Peças refugadas	83	R\$ 481,40
Operadores	4	R\$ 6.400,00	Operadores	2	R\$ 3.200,00
Carga máquina mensal	20	R\$ 7.000,00	Carga máquina mensal	27	R\$ 9.450,00
Saldo total		R\$ 111.561,00	Saldo total		R\$ 123.313,60
Comparativo Antes e Depois				R\$ 11.752,60	

Fonte: Autor (2021).

O resultado final da automação do processo manteve-se bom, mesmo com o tempo de carga máquina aumentando, pois é necessário que a pistola mantenha pressionado o pino, por um determinado tempo, para haver a solidificação da região soldada.

A Tabela 13 acima demonstra a comparação dos períodos antes e após a automação do processo, onde houve um aumento na média de produção de peças, redução do número de funcionários envolvidos no processo, aumento dos indicadores de produção do processo.

Por fim e o mais importante para a avaliação dos resultados da automação, a redução de peças refugadas, que poderiam gerar prejuízos financeiros e comerciais gerando reclamações dos clientes por peças fora das especificações de qualidade e segurança.

O valor de aumento de lucro em relação ao período anterior à automação, ocorreu um aumento de R\$ 11.752,60 mensais, resultando uma média de R\$ 140.000,00 anuais, mostrando a eficácia da automação nos processos de estampagem e soldagem a ponto, que servirão como amostragens e para embasamentos em automações futuras, em novos processos.

6 CONCLUSÃO

A hipótese de automatizar o processo de estampagem de um produto, que faz parte de um conjunto de carrocerias automotivas, com componentes soldados, mostrou-se viável tanto financeiramente quanto usualmente. Pois para isso foram estudados os indicadores dos processos individualizados que estavam causando um prejuízo financeiros e de qualidade para a empresa.

O estudo das métricas individualizadas dos processos de estampagem e soldagem a ponto possibilitaram a visualização dos pontos fracos do processo, e a análise de possíveis soluções para a falta de qualidade do processo de soldagem a ponto, especificamente, pois a dependência de experiências pessoais sobre a soldagem com a pistola manual, nem sempre traziam resultados significativos, gerando refugos durante a produção.

Após as análises das perdas do processo, notou-se a necessidade de atuar mais especificamente na etapa de soldagem, pois a produtividade e a qualidade eram muito baixas em relação a etapa de estampagem. Porém, com o auxílio da logística reversa citada por Cabral, Silva e Del Pino (2018), foi possível reutilizar equipamentos de soldagem a ponto com alimentação automática de parafusos, que já haviam disponíveis na empresa e foram utilizados em processos anteriores

Dessa forma a prospecção de investimentos e recursos para a automação foram menos invasivas aos cofres da organização, ou seja, foi necessário menos recursos para a aquisição de máquinas, sendo necessário somente recursos para a usinagem dos componentes, necessários para a adaptação da pistola na ferramenta de estampagem.

Com a instalação da pistola de solda diretamente na ferramenta de estampo, aumentaram significativamente os índices de qualidade e produtividade do processo de fabricação do conjunto soldado, devido ao aumento da confiabilidade adquirida através da inserção de procedimentos e trabalho padronizado, onde seguem-se parâmetros de produção e regulagens.

Houve de fato, um aumento de utilização de carga máquina da prensa. Porém, pelo fato da prensa ter o indicador de disponibilidade acima da média, não afetou a produção dos demais itens estampados. O que fez com que o objetivo final do projeto fosse alcançado, aumentando a qualidade e a produtividade homem/hora do produto

final, resultando na otimização do maquinário e de mão-de-obra.

O presente trabalho possibilitou observar os requisitos e parâmetros necessários para se determinar o quão viável é uma automação de processos já existentes. O conceito de automatizar por automatizar pode ser perigoso para as organizações. Nem sempre o investimento terá um retorno nos indicadores de desempenho ou retorno financeiro para algum determinado processo.

O que de fato ocorreu, foi que no processo de estampagem e soldagem a ponto, objeto desse estudo de caso, teve aumentos significativos de qualidade, produtividade homem/hora, redução do *lead time* do conjunto, redução do tempo de espera entre uma etapa e outra do processo, redução de estoque interno entre as operações, redução do *takt time*, redução do número de movimentações das embalagens durante os processos internos da empresa e redução de superprodução dos produtos, para suprir as peças defeituosas.

Uma oportunidade de melhoria observada durante a aplicação do método, foi a instalação de um sistema de sopro de ar, controlado via IHM, para realizar a limpeza da área de solda (pistola e base do cabo terra) para evitar que resíduos de solda prejudiquem a qualidade da peça estampada.

O presente estudo de caso da automação do processo, servirá como embasamento para projetos futuros em automações, que se façam necessárias nos diversos processos produtivos das indústrias, principalmente as automotivas. Pois possuem processos muito dinâmicos, que mudam ou sofrem alterações constantes, conforme a demanda do mercado.

Analisando as perdas dos processos de acordo com o sistema *lean manufacturing*, pode-se ter os parâmetros para agir de forma assertiva e planejada para eliminar ou reduzir as perdas.

No presente trabalho utilizou-se o conhecimento de diversos componentes curriculares do curso Superior em Tecnologia de Automação Industrial, dentre eles: Controladores lógicos programáveis, onde foi criado o programa para a comunicação entre as máquinas; Redes Industriais, pois foi utilizada a rede Profibus para a comunicação da prensa, máquina de solda a ponto e alimentador automático de parafusos; Instalações Elétricas Industriais, pois foi necessário para a realização da ligação da alimentação da parte elétrica da máquina de solda e alimentador de parafusos; Instrumentação onde foram utilizados os sensores para detecção de peças

e posição; Processos de Fabricação e Processos Industriais onde o conhecimento foi necessário para a determinação das alterações do processo; Hidráulica e Pneumática, pois foi necessário para montagem do circuito de alimentação e movimentação dos atuadores pneumáticos presentes na pistola de solda e na máquina alimentadora de parafusos; Automação da Manufatura, onde foi necessário para o entendimento de células de produção e conceito de linhas de produção; Sistemas de Controle, pois necessário conhecimento para a aplicação dos parâmetros da máquina de solda, que geravam sinais de retorno para o controlador; Acionamentos para determinar as velocidades do motor da prensa, possibilitando assim o funcionamento das máquinas; Sistemas de Supervisão e Gerenciamento, onde foi necessário para a criação de sistema de controle do processo via IHM da prensa; Economia para Engenharia, onde foi utilizado recursos para a determinação da viabilidade dos investimentos e controles do fluxo de caixa referente ao processo; Metodologia de Pesquisa que serviu para a execução desse e demais trabalhos acadêmicos, entre outros.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

AZEVEDO, Pérecles Costa. **Estudo da geração de ruído em uma prensa mecânica excêntrica de 900 toneladas**. 2003. 117 f. Dissertação (Mestrado) - Curso de Engenharia de Mecânica, Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis, 2003. Disponível em: <http://repositorio.ufsc.br/xmlui/handle/123456789/85464>. Acesso em: 02 set. 2021.

BARBOZA, Marcelo. **Conheça os maiores fabricantes de CLPs!** 2018. Disponível em: <http://blog.murrelektronik.com.br/fabricantes-de-clps/>. Acesso em: 13 set. 2021

BRESCIANI FILHO, Ettore; SILVA, Iris Bento da; BATALHA, Gilmar Ferreira; BUTTON, Sérgio Tonini. **CONFORMAÇÃO PLÁSTICA DOS METAIS**. 6. ed. São Paulo: Epusp, 2011. 258 p. Disponível em: <http://joinville.ifsc.edu.br/~emerson.oliveira/Processo%20de%20Fabrica%C3%A7%C3%A3o/Noturno/CONFORMA>. Acesso em: 02 set. 2021.

CABRAL, ALEX MENDES; DA SILVA, RAUFE CRUZ ; DEL PINO, G. Manipulador automático de entrada, troca simultânea e saída nos estágios de prensagem. p. 1–15, 2018.

CARDOSO, L. B. et al. Desenvolvimento De Supervisório Visando a Integração Entre Variáveis Fieldbus E De Sistemas De Aquisição De Dados / Development of Supervision Aiming the Integration Between Fieldbus Variables and Data Acquisition Systems. **Brazilian Journal of Development**, v. 6, n. 9, p. 70684–70694, 2020.

CARDOZA, E.; CARPINETTI, L. C. R. Indicadores De Desempenho Para O Sistema De Produção Enxuto Performance Measures for Lean Production System. v. 5, n. 2, 2005.

CHIAVERINI, Vicente. **Tecnologia Mecânica: processos de fabricação e tratamento**. São Paulo: McGraw-Hill Ltda, 1986. 1 v.

COLODETTI, T. V. et al. Crambe: aspectos gerais da produção agrícola. **Enciclopédia Biosfera**, v. 8, p. 258–269, 2012.

CYRINO, Luis. **Atuadores de máquinas e equipamentos**. 2018. Elaborada por manutenção em foco: soluções e treinamentos. Disponível em: <https://www.manutencaoemfoco.com.br/atuadores-de-maquinas-e-equipamentos/>. Acesso em: 15 set. 2021.

ELIAS, S. J. B.; MAGALHÃES, L. C. **Contribuição da Produção Enxuta para obtenção da Produção mais Limpa**. **Revista Produção Online**, v. 3, n. 4, p. 1–8, 2003.

EQUIPE TOTVS. **Quais são os principais indicadores de produção industrial e como acompanhá-los?** Disponível em: <https://www.totvs.com/blog/gestao-industrial/principais-indicadores-de-producao-industrial-e-como-acompanha-los/>. Acesso em: 27 mar. 2021.

FERREIRA, Amanda Navacinsk. **Redes Industriais: Tudo o que você precisa.** 2019. Disponível em: <http://blog.murrelektronik.com.br/redes-industriais/>. Acesso em: 15 set. 2021.

GOMES, L. DE C.; CORRÊA, R. G. DE F. **Utilização do Overall Equipment Effectiveness (OEE) em células de manufatura considerando o takt time.** *Gepros: Gestão da Produção, Operações e Sistemas*, v. 13, n. 3, p. 276, 2018. Disponível em: <https://www.gepros.feb.unesp.br/index.php/gepros/article/view/1960>. Acesso em: 30 ago. 2021.

GONÇALVES, Matheus Rocha. **Controle de nível de planta didática usando controlador lógico programável.** 2019. 38 f. TCC (Graduação) - Curso de Engenharia de Controle e Automação, Escola de Minas, Universidade Federal de Ouro Preto, Ouro Preto, 2019. Disponível em: <http://www.monografias.ufop.br/handle/35400000/2384>. Acesso em: 13 set. 2021.

KOTLER, P. **Administração de Marketing.** 10ª ed. [s.l.: s.n.].

KRAJEWSKI, LEE J.; RITZMAN, LARRY P.; MALHOTRA, M. **Administração de Produção e Operações - 8ª edição.** Disponível em : <https://plataforma.bvirtual.com.br/Acervo/Publicacao/683>. Acesso em: 02 de abr. de 2021.

KRELLING, Anael. **ESTAMPAGEM.** Disponível em: <http://joinville.ifsc.edu.br/~anael.krelling/Tecnologia%20em%20Mecatr%C3%B4nica/PFB64/7%20-%20Estampagem.pdf>. Acesso em: 02 set. 2021.

LEWANDOSKI, C. F. **Cristiano Fernando Lewandoski.** [s.l.] Universidade Estadual do Oeste do Paraná-(UNIOESTE), 2019.

LUGLI, Alexandre Baratela; SANTOS, Max Mauro Dias. **Redes industriais para automação industrial.** 2. ed. São Paulo: Érica, 2019. Disponível em: https://books.google.com.br/books?id=t4ywDwAAQBAJ&printsec=frontcover&source=gbs_ge_summary_r&cad=0#v=onepage&q&f=false. Acesso em: 15 set. 2021.

MARIANO, E. Conceitos básicos de análise de eficiência produtiva. **Simpósio de Engenharia de Produção-USP**, 2007.

MARTINS, P. F.; BONFIM. Automação de uma prensa hidráulica para prensar bucha de deslizamento em suporte da direção de caminhão. 2019.

MENDES, M. **Período de transição dos métodos manuais para a implantação das máquinas.** Disponível em: <https://www.educamaisbrasil.com.br/enem/historia/primeira-revolucao-industrial>. Acesso em: 2 abr. 2021.

MORAES, Izaque de. **O que é e como calcular o Payback?** 2016. Disponível em: <https://www.contabeis.com.br/noticias/30249/o-que-e-e-como-calculiar-o-payback/>. Acesso em: 1 ago. 2021.

NAKAJIMA, S. **TPM Development Program: Implementing Total Productive**

Maintenance. Productivity Press. Portland: OR, 1989.

PANSONATO, R. C. Lean Manufacturing. [s.l: s.n.].

PARREIRAS, Pedro. **O que é gargalo de produção? (e como resolvê-lo).** 2021. Elaborada por Nomus blog industrial. Disponível em: <https://www.nomus.com.br/blog-industrial/gargalo-de-producao/>. Acesso em: 31 ago. 2021

PEIXOTO, João Alvarez. **ESP8266 NodeMCU: do pisca led à internet das coisas.** Porto Alegre: <https://creativecommons.org/licenses/by-nc-nd/4.0/>, 2021a. 210 p. Disponível em: https://academico.uergs.edu.br/miolo25/html/file.php?folder=material&file=27380_es_p8266_nodemcu_-_do_pisca_led_a_internet_das_coisas.pdf. Acesso em: 14 set. 2021.

PEIXOTO, João Alvarez. Internet das Coisas na Manufatura Industrial: uma ferramenta da Indústria 4.0 para interação dos processos. 2021b. Disponível em: <https://redeindustria40.com.br/internet-das-coisas-na-manufatura-industrial-uma-ferramenta-da-industria-4-0-para-interacao-dos-processos/>. Acesso em 17 set. 2021.

RODRIGUES, A. F.; FERRARIN, F. V.; OLESKO, P. G. M. Implementação de indicador de desempenho oee em máquina de abastecimento de ar condicionado automotivo. 2013.

RUIZ, Douglas Criado. **Contribuição ao desenvolvimento de processos de montagem e soldagem de carrocerias automotivas.** 2005. 107 f. Dissertação (Mestrado) - Curso de Engenharia Automotiva, Escola Politécnica da Universidade, Universidade de São Paulo, São Paulo, 2005. Disponível em: https://www.livrosgratis.com.br/ler-livro-online-18887/contribuicao-ao-desenvolvimento-de-processos-de-montagem-e-soldagem-de-carrocerias-automotivas#google_vignette. Acesso em: 12 set. 2021.

SALES, R. **O que é automação industrial? Qual o seu impacto nas indústrias?** Disponível em: <https://blog.acoplastbrasil.com.br/automacao-industrial/>. Acesso em: 10 abr. 2021.

SCHWAB, Klaus. **A quarta revolução industrial.** São Paulo: Edipro, 2016.

SILVA, Edilson Alfredo da. **Introdução às linguagens de programação para CLP.** São Paulo: Edgard Blucher Ltda, 2016. Disponível em: <https://plataforma.bvirtual.com.br/Leitor/Publicacao/158961/epub/0?code=+dwSNmgKNyi4R/5sy7JAY86fyuU3u3yUnQzKqWU2Y8ZgtXEL7Ki8D/hGYYs4t57g3EdJbgwGfQCUXvwxFoNCg==>. Acesso em: 12 set. 2021.

SILVA, Luíz Favero e. **Projeto de automação CLP-SCADA de uma linha de produção simulada de portas automotivas.** 2017. 119 f. TCC (Graduação) - Curso de Engenharia Automotiva, Universidade de Brasília, Brasília, 2017. Disponível em: <https://bdm.unb.br/handle/10483/19760>. Acesso em: 13 set. 2021.

SOARES, Nelson Vicente. **Sensores e Transdutores.** 2014. Disponível em: <https://blog.render.com.br/diversos/sensores-e-transdutores/>. Acesso em: 15 set.

2021.

VACCARO, G. L. R. **Modelagem e análise da confiabilidade de sistemas**. 1997. 192 f. Dissertação (Mestrado) - Curso de Engenharia de Produção, Escola de Engenharia, Universidade Federal do Rio Grande do Sul (Ufrgs), Porto Alegre, 1997. Disponível em: <https://www.lume.ufrgs.br/bitstream/handle/10183/128105/000199240.pdf?sequence=1&isAllowed=y>. Acesso em: 29 ago. 2021.