

IMPLANTAÇÃO DO SISTEMA DE LUBRIFICAÇÃO AUTOMATIZADO DE FERRAMENTAS DE ESTAMPAGEM EM UMA FÁBRICA PRODUTORA DE LATAS

IMPLEMENTATION OF AUTOMATED STAMPING TOOL LUBRICATION SYSTEM IN A CAN MANUFACTURING COMPANY

Lucian Bispo da Silva ^{1,i}
 Leandro Cardoso da Silva ^{2,ii}
 Douglas José Baquio Ribeiro ^{3,iii}
 Norberto Goncalves Neto ^{4,iv}
 Edson Pereira da Silva ^{5,v}

Data de Submissão: 19/11/2022

Data de aprovação: 03/04/2023

RESUMO

As empresas precisam encontrar formas de se destacar dos seus concorrentes, devem encontrar maneiras de garantir que isso ocorra a fim de que possam sobreviver à competitividade do mercado. Na indústria de estampagem isso não é diferente é preciso desenvolver estratégias para otimizar os processos e evitar que possíveis problemas ocorram como os defeitos nas peças, o desgaste prematuro da matriz, entre outros problemas. Este trabalho teve como objetivo geral criar um sistema para otimizar a lubrificação de ferramentas de estampagem em uma fábrica de produção de latas. Para isso realizou-se um estudo de caso em uma empresa em que se desenvolveu um sistema automatizado para otimizar o processo de lubrificação na estampagem, a fim de evitar o desgaste excessivo da matriz, bem como danos à superfície. Os resultados mostraram que foi possível criar um sistema relativamente simples em que foi possível otimizar o leiaute do processo de fabricação para atingir o objetivo proposto e atingir os ganhos para a companhia. Concluindo, foi possível constatar que através de um sistema relativamente simples de automatização e a adoção de um conceito de maior integração e conectividade entre os processos foi possível melhorar o processo de lubrificação.

Palavras-chave: estampagem; lubrificação; processo de fabricação; ferramentas.

¹ Pós-graduando em Gestão da Manutenção Industrial 4.0 na Faculdade de Tecnologia SENAI Roberto Simonsen. E-mail: lucian.bispo@yahoo.com.br

² Docente e Doutorando em Engenharia Mecânica da Faculdade SENAI de Tecnologia Industrial. E-mail: leandro.cardoso@sp.senai.br

³ Docente e Doutor em Engenharia Metalúrgica da Faculdade SENAI de Tecnologia Industrial. E-mail: douglas.ribeiro@sp.senai.br

⁴ Docente e Me. em Processos Industriais da Faculdade SENAI de Tecnologia Industrial. E-mail: norberto.neto@sp.senai.br

⁵ Docente e Me. em Automação Industrial da Faculdade SENAI de Tecnologia Industrial. E-mail: edson@sp.senai.br

ABSTRACT

Companies need to find ways to stand out from competitors, they need to find a way to make sure that happens so they can survive the market. In the stamping industry, it is no different, companies have to develop strategies to optimize processes and prevent possible problems from happening, such as part defects, premature tool failure, among other problems. That said, the objective of this case study was to create a system to optimize the lubrication of the stamping tool in a can manufacturing company, aiming to avoid excessive tool wear, such as surface damage. The results showed that it was possible to create a simple automated system that improved the layout of the production process to achieve the proposed objective and bring profit to the company. In conclusion, it was possible to verify that through a simple automated system and the adoption of a highly integrated and connected concept between the stages of the stamping processes significantly improved the lubrication process.

Keywords: stamping; lubrication; manufacturing process; tools.

1 INTRODUÇÃO

Na estampagem a força de atrito entre a matriz e a chapa precisa ser adequada, ou seja, levemente alta a fim de que se possa evitar o surgimento do enrugamento. Contudo, valores mais elevados desse parâmetro tende a culminar no aparecimento das chamadas trincas no componente final, requerendo assim maior controle dos níveis de atrito no processo de estampagem, algo possível com a utilização de fluidos lubrificantes.

Esse procedimento pode ser alcançado com a implementação de tecnologias ligadas à rede em que se consegue determinar e regular continuamente a quantidade de lubrificante aplicado no processo. Por meio dos princípios por trás da Indústria 4.0 é possível propiciar um ambiente de integração e comunicação mais elevado, agregando valor aos processos.

A integração de um sistema de aplicação de lubrificantes automatizado em uma linha de conformação de chapas metálicas tende a trazer consigo benefícios significativos para o processo e a empresa. Isso ocorre, pois utiliza-se a quantidade correta, no momento correto, evitando desperdícios de material, o aparecimento de defeitos nas chapas e o desgaste prematuro das ferramentas. Além disso emerge uma outra possibilidade que é treinar o sistema para que possa reconhecer o material em processamento e determinar qual a quantidade de fluido requerida para garantir um excelente produto final.

1.1 Problema de pesquisa

Por causa do aumento na competitividade, bem como a elevação da demanda por novos componentes com custos mais atrativos é normal que as empresas de fabricação mecânica busquem formas de otimizar o seu processo. Diante disso visam encontrar maneiras de implementar e desenvolver ferramentas que tem como base a adaptação das suas máquinas e equipamentos. Isso ocorre, pois, muitas vezes é comum que as novas sejam caras e os empresários não dispõem de recursos financeiros para adquirir tais dispositivos.

Concomitantemente a isso, observa-se que as empresas têm buscado tal processo em tentativa e erro, especialmente quando não há muita experiência com o processo. Esse evento

traz consigo, na maioria dos casos, diversos problemas como o desperdício de ferramental e de material, pois empregam-se recursos e ferramentas inadequadas para o projeto. Soma-se a isso ainda a demora que resulta no incremento dos custos que acabam tornando os processos mais morosos.

Dessa maneira adotar estratégias pautadas em novas tecnologias pode eliminar os inconvenientes elencados anteriormente e existem diversos modos de se atingir esses objetivos na contemporaneidade. Uma forma de se fazer isso é por meio da automatização de processos em consonância com as ideias por trás da Indústria 4.0 que possibilita maior integração e comunicação entre os mais variados componentes presentes no ciclo produtivo. Nesse cenário o trabalho buscou investigar um problema, apresentado em forma de pergunta, como otimizar o sistema de lubrificação de ferramentas de estampagem em uma fábrica responsável pela produção de latas?

1.2 Objetivos

O objetivo geral do trabalho é implantar um sistema de lubrificação automático de ferramentas de estampagem em uma fábrica responsável pela produção de latas. Já os específicos são estruturar um novo layout para otimizar os processos da empresa de estampagem de latas, desenvolver um sistema de automatização para assegurar a lubrificação adequada no processo de estampagem e apontar os ganhos financeiros com a implementação do sistema criado para a companhia.

1.3 Justificativa

Para que as empresas se tornem mais competitivas é importante que busquem maneiras de otimizar seus processos, especialmente as que atuam no setor de conformação mecânica. Por meio dessa estratégia é possível agregar valor em atividades mais críticas como é o caso da estampagem que envolve o atrito direto de uma ferramenta e uma chapa metálica. Sem a interação direta entre esses elementos o procedimento não ocorre ou ainda pode se manifestar aparecendo falhas. Com isso emerge a necessidade de se lubrificar o sistema continuamente para evitar que os eventos mencionados apareçam.

Contudo é importante ter sistemas que tenham a capacidade de aplicar os lubrificantes de maneira contínua a fim de evitar desperdícios tanto de lubrificante como o desgaste prematuro das ferramentas. Algo que é possível ao se incorporar conceitos provenientes da Indústria 4.0 – maior conexão entre os processos – e a automação de processos. Frente a esse cenário o trabalho se justifica, pois, apresenta a relevância de se encontrar soluções relativamente simples e de baixo custo para otimizar os processos das empresas.

Evidencia-se que tal medida é necessária, pois nem sempre as companhias contam com recursos financeiros e técnicos suficientes para melhorar suas operações. Dessa maneira, encontrar alternativa tendo como base novos conceitos contribui para que as empresas caminhem rumo a um processo de melhoria contínua. Além disso são expostas a elementos que lhes propiciarão ter processos mais eficientes, contribuindo assim para o aumento da competitividade e, conseqüentemente, da lucratividade.

2 REVISÃO DE LITERATURA

A seguir, apresenta-se a revisão de literatura em que se discorre acerca da Quarta Revolução Industrial e da estampagem.

2.1 Quarta revolução industrial

A Quarta Revolução Industrial é considerada um instrumento proveniente do crescimento e do desenvolvimento constante da cadeia produtiva. Nesse caso tem-se uma busca contínua pelo aumento da produtividade integrada com a conexão dos mais variados elementos que integram a produção como as pessoas, as empresas, as máquinas e os processos (ALBERTIN; PONTES, 2021). Diante disso a figura 1 elenca os marcos mais relevantes em cada uma das Revoluções Industriais.

Figura 1 – Marcos principais das Quatro Revoluções Industriais



Fonte: Volpato (2017)

A Quarta Revolução Industrial tem buscado fomentar o desenvolvimento de redes mais inteligentes, tudo isso com a adoção de tecnologias denominadas emergentes. Dessa maneira, espera-se que se tenha indústrias mais autônomas e que podem se adaptar, prever falhas, programar manutenções sozinhas. Portanto as fábricas terão a capacidade de tomar decisões por conta própria e de maneira contínua, sendo supervisionadas pelo ser humano (ASSAD NETO *et al.*, 2018).

Por meio da Indústria 4.0 espera-se que haja mais autonomia para os processos de modo que possam executar suas atividades de modo autônomo, ou seja, sem a intervenção direta de pessoas. Dessa forma é possível realizar inúmeras atividades como efetuar a aquisição de estoques ao se atingir o nível de segurança mínimo projetado. Portanto, consegue-se ter uma cadeia produtiva que é mais segura e eficiente, tudo isso associado com a redução de erros humanos que ocorrem com frequência na contemporaneidade (ALMEIDA, 2019).

É importante citar que o termo Indústria 4.0 foi empregado pela primeira vez em 2011 na Europa, na Feira de Hannover que aconteceu na Alemanha. Na ocasião buscava-se conceber um movimento que visava a integração plena dos processos produtivos. Evidencia-se que a conceituação de tal vocábulo como Quarta Revolução Industrial se deu posteriormente (SAKURAI; ZUCHI, 2018).

Com a Indústria 4.0 busca-se promover a união e a interação das informações que se encontram disponíveis. Dessa forma tem-se um trabalho integrado ao longo do ciclo, culminando assim em uma nova estratégia para a produção. Por meio dessa estratégia é possível controlar, monitorar, coordenar e integrar os processos, tudo isso graças aos chamados *Cyber-Physical Systems* (CPS) que consistem em uma central computacional (BORLIDO, 2017).

Existem inúmeros fatores que se relacionam com as fábricas inteligentes, contudo, o maior deles tem relação direta com a conexão contínua e em tempo real. Essa interação que ocorre a todo momento se dá entre os sujeitos, os sistemas, as máquinas e demais componentes que constituem a cadeia produtiva. Tal conexão se dá graças à conexão dos dispositivos à internet, fazendo assim com que o mundo real, o físico e o virtual caminhem rumo ao mesmo objetivo (TESSARINI; SALTORATO, 2018).

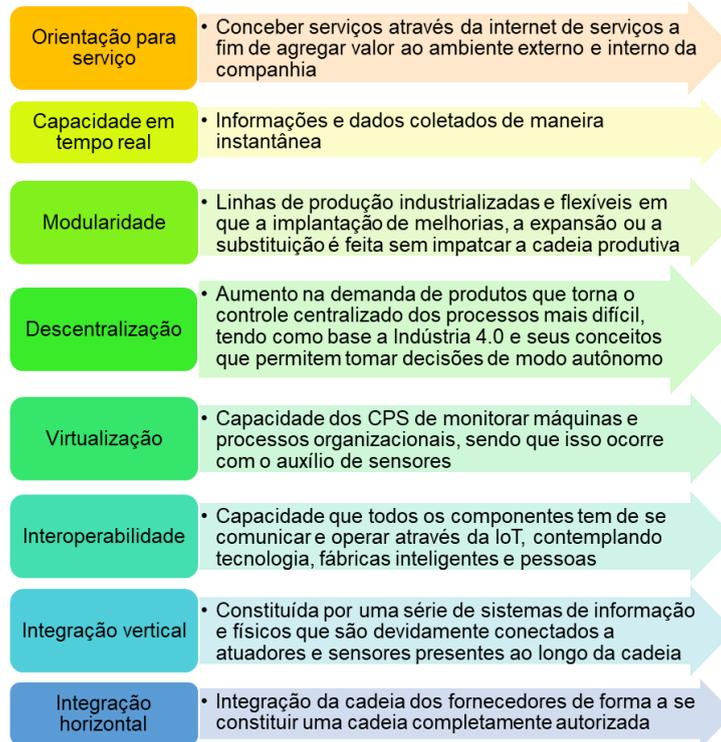
Frente a esse cenário a Indústria 4.0 e as manufaturas são elementos que caminham juntas e de modo integrado. Através da primeira promete-se alterar a dinâmica dos processos de fabricação que resultam em maiores níveis de eficiência das operações. É preciso buscar esses níveis em todos os setores e nas demais questões associadas à cadeia de produção (MATA *et al.*, 2018).

Em fábricas inteligentes busca-se a otimização de processos produtivos visando maximizar a produtividade, além de uma integração direta com os fornecedores através das inovações tecnológicas. Portanto, as fábricas inteligentes fomentam o desenvolvimento de toda a cadeia produtiva, indo desde a obtenção da matéria-prima até a entrega para o consumidor. Com as tecnologias consegue-se garantir a potencialização dos níveis de eficiência, bem como auxiliar as empresas a fortalecer o seu ciclo de produção (TEIXEIRA *et al.*, 2019).

Com a Revolução Industrial tem-se um movimento em que se promove a aplicação de inúmeras tecnologias avançadas ao longo do fluxo produtivo. Isso possibilita agregar novos valores e tipos de serviço, beneficiando as empresas e os consumidores. Através desses elementos consegue-se potencializar a qualidade ao mesmo tempo em que se flexibiliza a cadeia produtiva de forma a satisfazer as demandas acerca de modelos empresariais novos e inovadores. Tudo isso ocorre sem deixar de lado os serviços e a agilidade (ABREU *et al.*, 2018).

As particularidades citadas anteriormente apresentam definições próprias e relevantes que precisam ser trabalhadas de modo integrado e sinérgico. Através disso é possível alcançar os objetivos associados à Indústria 4.0 e os estipulados pelas companhias (MENDES *et al.*, 2017). Diante disso a figura 2 ilustra de forma detalhada os conceitos relacionados às características atreladas à Indústria 4.0.

Figura 2 – Características da Indústria 4.0 e sua conceituação



Fonte: Adaptado de Schules (2018)

Portanto, as particularidades elencadas anteriormente são imprescindíveis para as companhias e os consumidores. Para as empresas isso ocorre, pois consegue-se tomar decisões de modo rápido para minimizar e/ou eliminar possíveis perdas e atrasos no ciclo produtivo. Já para os clientes se torna possível disponibilizar a esse público diversos tipos de produtos de maneira rápida e customizada, suprimindo assim a exigência desses agentes (RIBEIRO, 2017).

Frente ao exposto, destaca-se que há inúmeras tecnologias responsáveis por auxiliar e embasar a Indústria 4.0 como é o caso da *Internet of Things (IoT)* ou Internet das Coisas, a computação nas nuvens, a *Big Data*, entre outras. Por meio dessas ferramentas é possível ter uma cadeia produtiva mais integrada que propicia o alcance de demandas corporativas (AMORIM, 2017).

Além disso consegue-se gerar grandes volumes de dados que podem auxiliar os gestores em outros tipos de processo de tomada de decisão. Outro ponto que merece atenção é que com a adoção de elementos como os sensores, por exemplo, se torna possível obter dados que serão analisadas pelas máquinas, propiciando-lhes *insights* que auxiliarão a determinar de modo autônomo a estratégia adequada caso seja constatado uma anormalidade (SOUZA *et al.*, 2020).

2.2 Estampagem

A estampagem consiste em um processo no qual se pode executar a conformação a frio ou a quente, contudo, em grande parte dos casos, ocorre a frio. Tal evento traz consigo diversas modificações no formato geométrico de uma chapa plana por meio da realização de várias operações usando estampo ou matrizes e prensas específicas para tal (FRITZEN, 2012).

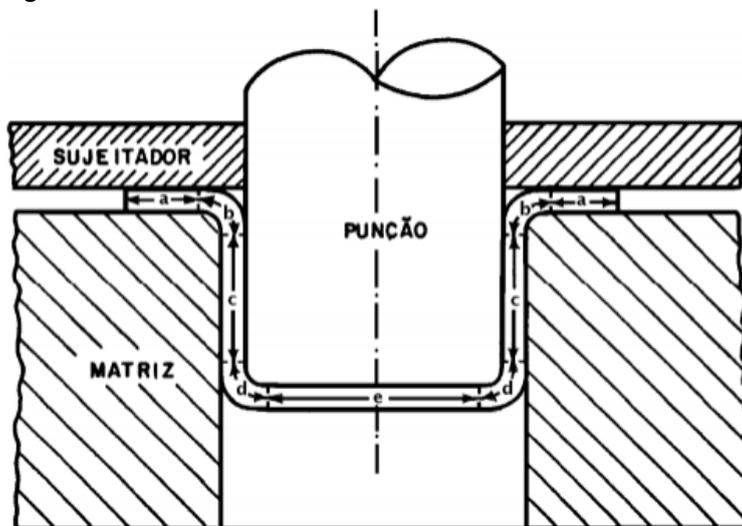
O termo estampagem é empregado para determinar inúmeras operações executadas nas chapas metálicas. Nesse caso tem-se a alteração das formas geométricas a fim de obter cunhas, furos, saliências, dobras e cavidades. Tais modificações no formato são realizadas por meio da deformação plástica em que se observa o escoamento do componente. A maior vantagem desse processo se liga ao fato de se ter menores índices de desperdício (DALEFFE, 2014).

É possível estratificar a estampagem nos seguintes processos, estampagem profunda ou embutimento, dobramento, estiramento e corte. Entre os elencados, tanto o dobramento como o estiramento e o corte são executados a frio. O embutimento pode ser executado à quente, contudo isso variará em função da profundidade exigida na deformação (LOPES, 2013).

O embutimento consiste em uma atividade de estampagem em que se tem a conformação de uma chapa que é inicialmente plana. Nesse caso obtém-se um componente com um formato do tipo copo oco sem que haja a alteração em sua espessura. É importante mencionar que no processo não pode surgir trincas e rugas. Por meio dessa operação obtém-se copos dotados de diâmetros distintos contendo fundos planos ou esféricos, bem como paredes dotadas de laterais inclinadas (ANDRADE *et al.*, 2017).

No processo de embutimento faz-se o uso de uma ferramenta chamada de estampo que é composta por um sujeitador, um punção e uma matriz. Nesse caso a estampagem se dá por meio da aplicação de uma força realizada pelo punção na chapa de modo a forçar uma penetração na matriz como mostra a figura 3. Através dessa estratégia obtém-se diversos tipos de produtos como cápsulas, portas de automóveis, painéis, entre outros componentes (CORDEIRO *et al.*, 2019).

Figura 3 – Embutimento

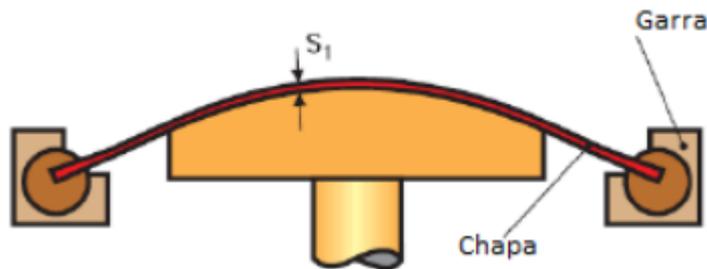


Fonte: Cetlin (2005)

Quanto à conformação pelo estiramento tem-se uma operação em que há aplicação das forças de tração que atuam promovendo o estiramento do componente estampado por uma matriz ou ferramenta definida previamente. Dessa forma, o bloco responsável pelo modelamento irá determinar o contorno do componente obtido como mostra a figura 4. Por causa do baixo gradiente das tensões, bem como da atuação de força de tração tem-se um efeito de retorno elástico praticamente nulo. Nessa atividade consegue-se obter deformações

elevadas nos componentes que apresentam boa ductilidade por causa dos efeitos ligados à tensão de tração (CARVALHO, 2020).

Figura 4 – Estiramento



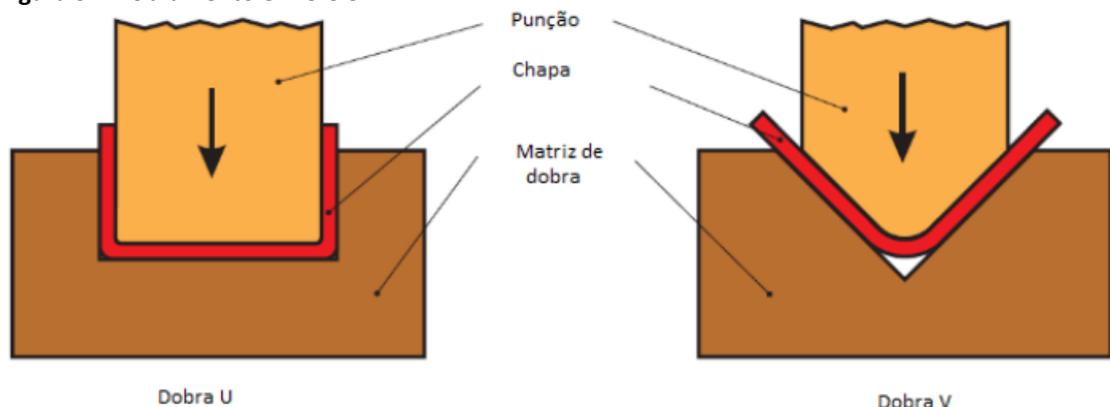
Fonte: Schaeffer (2018)

Utiliza-se o processo de estiramento para produzir componentes para o setor automobilístico, especialmente os que são de materiais como titânio, níquel, aço e alumínio. Além disso é possível utilizá-lo na indústria aeroespacial para a obtenção de chapas empregadas em cabines e na fuselagem dos aviões. Entre os principais benefícios dos componentes fabricados utilizando esse método, aponta-se a elevação da resistência a tração, bem como a dificuldade de se aparecer fivelas ou rugas nos componentes estirados (MARQUES, 2014).

Contudo, o estiramento é um processo que conta com algumas restrições, sendo a principal delas a lentidão em determinadas situações em comparação com a estampagem convencional. Outro problema se liga ao fato de ser mais difícil esticar componentes que apresentam uma ductilidade mais baixa, bem como a limitação quanto à obtenção de determinados ângulos nos itens produzidos (MORGADO, 2016).

Ao se tratar do dobramento, aponta-se que se empregam o chamado estampo da dobra que consiste basicamente em um tipo de matriz e um punção. Nessa operação tem-se a aplicação dos esforços que culminam em deformações plásticas que alteram a forma de uma dada superfície plana para outras duas concorrentes em um ângulo específico (FISCHER *et al.*, 2011). A figura 5 mostra com mais detalhes dois processos de dobramento, em U e em V.

Figura 5 – Dobramento em U e em V

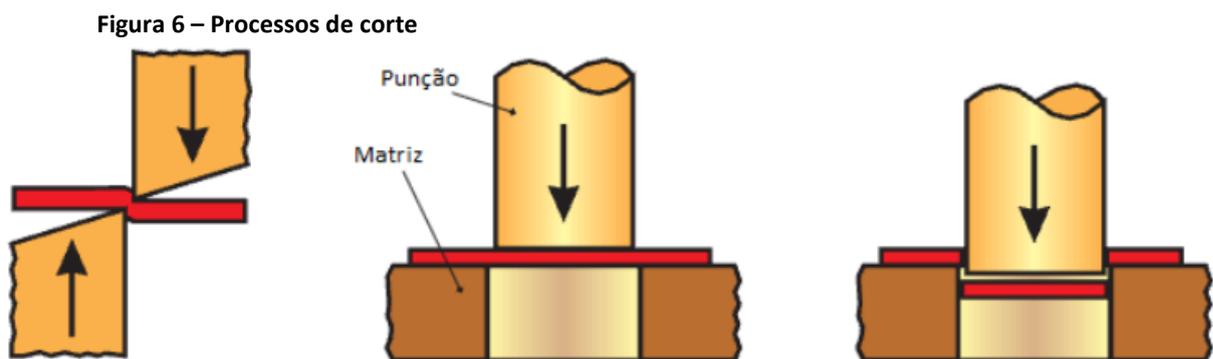


Fonte: Schaeffer (2018)

Por meio do dobramento consegue-se obter componentes que vão desde os mais simples até os mais complexos como emendas, rugas, flanges e bordas empregados na indústria automobilística e naval. Durante a execução da operação é imprescindível evitar cantos vivos a fim de que não se tenha elementos concentradores de tensão nas chapas (AFFONSO, 2012).

Recomenda-se também fixar o raio de curvatura em função da dureza do componente. Em materiais mais duros os raios podem ser de até 4 vezes a espessura, já para os dúcteis esse valor pode ser de 1 a 2 vezes o valor da espessura. Por causa do retorno elástico de materiais com maior dureza se faz necessário produzir matrizes dotadas de ângulos de dobramento maiores, bem como usar diversas fases para conseguir as requisições em projetos. É importante estar atento ainda a outros problemas que possam vir a ocorrer no produto acabado como alterações na seção e na espessura do componente, elementos que são indesejáveis em um projeto (GROOVER, 2014).

A operação de corte, mostrada na figura 6 se dá ao fazer um punção ou uma ferramenta entrar em contato com uma chapa que se encontra apoiada em uma matriz. O punção, com o auxílio de uma prensa, aplicará uma força de compressão que atua na chapa que, posteriormente se transformará em um esforço cisalhante que promoverá a ruptura de uma dada região do material (MORAIS; BORGES, 2010).



Fonte: Schaeffer (2018)

No corte tem-se a deformação plástica do material até o ponto de sua ruptura, nessa operação determina-se uma regra, obtida experimentalmente, que consiste em fazer o uso de um punção dotado de espessura menor ou igual à da chapa. Deve-se determinar no processo outros parâmetros como o valor da folga, isto é, o espaço existente entre os cantos afiados de uma ferramenta (MOREIRA, 2018).

O valor da folga oscila em função de alguns elementos principais, a espessura e o material da chapa. A força máxima de corte também pode impactar o valor da folga, por isso também deve ser levada em consideração. Por convenção, aponta-se que quanto menor o diâmetro do punção e a espessura da chapa, mais reduzida precisa ser a folga existente (SILVA, 2019).

2.2.1 Lubrificação na estampagem

Ferrarini (2014) afirma que há vários tipos de lubrificantes que podem ser utilizados no processo de estampagem, contudo é imprescindível aplicar todos de modo uniforme ao longo da superfície do componente a fim de reduzir possíveis problemas que possam vir a

ocorrer como a adesão a frio de metais. Dessa forma, existem diversos modos de aplicação, os mais comuns são:

- a) A de película sólida em que a separação entre os metais se dá por meio da interposição de uma capa contendo componentes sólidos.
- b) A de pressão extrema em que se tem a mudança das superfícies metálicas através da ação de uma dada reação química que formará compostos contendo baixa resistência que cede facilmente ao se aplicar a deformação.
- c) A de fronteira em que se possibilita a aderência física entre a superfície e o lubrificante, minimizando assim a espessura do filme.
- d) A de película mista ou fina que possibilita um pequeno contato entre os metais.
- e) A de película grossa, nesse caso, impede-se que haja um contato direto entre os metais.

A determinação do melhor lubrificante não é algo simples, é imprescindível levar em conta outros fatores como a remoção, especialmente no caso de ações especiais que necessitarão de um tratamento térmico posterior como o recozimento. Ao se tratar de aços inoxidáveis, por exemplo, executa-se essa atividade a fim de otimizar o visual do componente, uma vez que a queima dos elementos contidos no material pode culminar em manchas superficiais (FOLLE; SCHAEFFER, 2017).

De forma geral, com o aumento da efetividade dos lubrificantes tem-se também o aumento na dificuldade de se remover o produto. Outro ponto que precisa ser considerado é a capacidade de ataque dos lubrificantes, uma vez que determinados tipos tendem a reagir com algumas classes de materiais. Em alguns casos é possível que haja a corrosão intergranular, podendo culminar em falhas catastróficas. Isto posto, o quadro 1 mostra com mais detalhes os lubrificantes mais usados e que são estratificados em função da facilidade que apresentam de ser removidos (TAYDER, 2011).

Quadro 1 – Tipos de lubrificantes que podem ser empregados na estampagem e a sua facilidade de eliminação

Redução R %	Lubrificante		Eliminação		Efetividade de aplicação
	Base	Tipo	Com Veículo Aquoso	Com Desengraxante / Solvente	
R % ≤ 10	Aquosa	Emulsão de óleo 5 - 20%	10	8	6
11 ≤ R % ≤ 20	Aquosa	Solução de sabão 5 - 20%	10	3	6
21 ≤ R % ≤ 40	Aquosa	Pasta diluída de sabão e graxa	6	5	8
		Emulsão de óleo p uso pesado, com Cl-e S	10	8	7
% > 40	Aquosa	Pasta pigmentada sabão/ graxa	5	3	10
		Pasta cera/ sabão/ borax	8	3	8
R % ≤ 10	Oleosa	Óleo residual de processo	8	10	6
		Óleo mineral	8	10	6
11 ≤ R % ≤ 20	Oleosa	Óleo mineral c 10 - 30% de ácido graxo	8	10	8
		Idem com 2 -20% de óleo clorado ou sulfuradoi	7	8	7
21 ≤ R % ≤ 40	Oleosa	Ácidos graxos	6	6	8
		Óleo mineral com 5 - 50% de:			
		-óleo clorado não emulsionável	5	8	6
		-óleo clorado emulsionável	8	8	6
		Óleo fosfatado concentrado	6	6	7
% > 40	Oleosa	Mistura de óleo mineral com pastas pigmentadas sabão/ graxa	5	5	9

Fonte: Adaptado de Cetlin (2005)

Ainda no que tange ao quadro 2, menciona-se que houve uma estratificação dos lubrificantes em uma escala que vai de zero até dez, sendo que o zero equivale ao comportamento pior, enquanto que o dez é o melhor. A redução corresponde ao percentual de redução de espessura dos componentes. Aponta-se que a graxa do sulfeto de molibdênio e o pó de grafite podem ser utilizados quando se efetua as operações em temperaturas elevadas (CETLIN, 2005).

Com os lubrificantes na estampagem busca-se reduzir o desgaste do estampo, defeitos em peças, os esforços aplicados e a resistência ao deslizamento. Destaca-se que lubrificantes distintos são empregados nas operações de repuxo, isso implica que existe um tipo de lubrificante que é melhor para um dado material a ser processado. É possível fazer o uso dos lubrificantes em sua forma pura ou diluída, contudo, na maior parte dos casos adota-se a segunda opção (DALEFFE; LACERDA, 2016). Isto posto, o quadro 2 mostra com mais detalhes os lubrificantes mais utilizados em função do material.

Quadro 2 – Lubrificantes utilizados em função do material

Material	Lubrificante
Aços	Sabão em pasta, óleo de rícino, talco, emulsões de óleos minerais.
Alumínio e suas ligas	Querosene, óleo de coco, vaselina, sebo, óleo grafitado.
Zinco, estanho, chumbo e metal branco.	Sebo
Cobre, bronze e latão	Óleo mineral grosso, pasta de sabão com água, petróleo grafitado.
Aço inoxidável	Água grafitada

Fonte: Cetlin (2005)

Segundo Parise (2015) a utilização de óleos na estampagem traz consigo inúmeros benefícios que otimizam o processo ao mesmo tempo em que se evita problemas de fabricação. Entre as principais vantagens de se utilizar esses produtos, destaca-se a preservação das particularidades dimensionais do componente, com isso evita-se que ocorra o estrangulamento ao longo das atividades que podem causar danos à espessura do material; a otimização do processo de deslize do material para dentro da cavidade do molde, desse modo impede-se o aparecimento de trincas, fissuras e rugas do metal processado; a redução dos níveis da resistência de atrito de uma prensa sobre o material metálico; a possibilidade de se obter acabamentos uniformes e superiores nos componentes; a redução do manchamento e da corrosão na região superficial das peças e a elevação da vida útil das ferramentas.

Bastos (2012) destaca que a escolha dos lubrificantes precisa levar em conta algumas questões principais, entre as mais relevantes, destaca-se a necessidade de se empregar um óleo de estampagem com uma qualidade superior a fim de evitar que surjam as trincas no componente; a utilização de produtos que apresentam cor clara, pois isso permite a visualização mais fácil de todo o processo; a facilidade de se remover o óleo das peças, algo que ocorre com o emprego de vapor, desengraxante alcalino e solvente; a adesão nas chapas e nas ferramentas deve ocorrer de forma uniforme; o desempenho elevado nas operações, bem como um ótimo poder de lubrificação; o poder de ação de ativos anticorrosivos, algo imprescindível para assegurar a proteção temporária dos componentes estampados, dispensando assim a utilização dos chamados óleos protetivos; a isenção de componentes como boro, compostos fenólicos, nitritos, metais pesados e cloro.

Assim, os óleos empregados na estampagem são imprescindíveis nos processos de conformação a frio. Nessa operação que também é denominada embutimento tem-se o posicionamento de uma chapa metálica em um molde oco e após a aplicação de uma pressão com o auxílio de uma prensa faz-se com que o metal adquira a geometria da matriz/molde (MELO, 2013).

3 METODOLOGIA

O trabalho, no que tange à natureza pode ser denominado aplicado, uma vez que promoveu a melhoria no sistema de lubrificação de ferramentas utilizadas na estampagem em uma fábrica responsável pela produção das latas. Segundo Marconi e Lakatos (2017) os trabalhos de natureza aplicada são os que visam resolver um problema prático que tende a resultar em diversos impactos negativos no fluxo produtivo como é o caso da eficiência reduzida na produção.

Ao se tratar da perspectiva de abordagem a pesquisa é considerada quantitativa, pois apresenta os ganhos obtidos com a implantação do sistema de lubrificação de ferramentas de estampagem em uma fábrica de produção de latas que fez o uso de um sistema de automação, algo diretamente ligado à Indústria 4.0. Gil (2019) evidencia que os trabalhos do tipo quantitativo são os que exploram as variáveis relacionadas a um processo em uma empresa a fim de mensurá-las.

Prodanov e Freitas (2013) citam que os trabalhos de caráter quantitativo buscam validar as hipóteses partindo de dados estatísticos para tal. Isso permite alcançar o objetivo final da pesquisa através de um processo de medição, isto é, quantificação das informações, bem como da generalização de resultados na amostragem.

Quanto aos objetivos a pesquisa é considerada exploratória, uma vez que visou compreender uma das muitas estratégias ligadas à Indústria 4.0 que contribuíram para otimizar a lubrificação das ferramentas no processo de produção de latas. Segundo Gil (2019) a partir de tal tipo de trabalho busca-se entrar em contato direto com os eventos a fim de analisar os fatos para que se possa compreender e resolver um determinado problema.

O procedimento técnico escolhido para a realização do trabalho foi o estudo de caso em que se entrou em contato direto com um problema apresentado na empresa que era a baixa eficiência no sistema de lubrificação de estampagem em uma fábrica. Por meio da adoção dos conceitos advindos da Indústria 4.0 foi possível encontrar as soluções mais adequadas para eliminar o problema e garantir a evolução da companhia rumo a esse novo movimento (Quarta Revolução Industrial).

Segundo Marconi e Lakatos (2017) o estudo de caso consiste em um procedimento técnico empregado na coleta de dados em que se atua com o intuito de compreender de modo exaustivo e profundo poucos objetos de estudo. Apontam ainda que através dessa estratégia coletam-se os dados e possibilita-se que os pesquisadores construam hipóteses para opinar e analisar acerca do campo em investigação.

3.1 Coleta dos dados

Os dados foram coletados na empresa X que teve seu nome ocultado a pedido da mesma. O procedimento ocorreu na prensa, mostrada na figura 7, que é um dos componentes indispensáveis para o processo de produção de latas. Durante as operações constatou-se que era necessário retirar continuamente a matriz e o punção devido ao desgaste excessivo desses componentes. Com isso, despendia-se muito tempo na realização dessa atividade, afetando assim a produtividade e, conseqüentemente, os custos da companhia.

Figura 7 – Prensa



Fonte: Elaborado pelo autor

Contudo, notou-se que a utilização de lubrificantes poderia resolver o problema, pois a máquina não apresentava um sistema responsável por tal tarefa. Desse modo convencionou-se que era preciso implementar um sistema automatizado, uma vez que deixar um profissional para a realização dessa atividade seria inviável do ponto de vista econômico e técnico.

Concomitantemente a isso observou-se que no processo havia uma etapa que consistia em aplicar óleo nas chapas metálicas para protegê-las contra a oxidação. Essa fase era denominada parafinadeira e pode ser vista com mais detalhes na figura 8 que mostra a sequência de produção de uma lata de 18 litros.

Figura 8 – Sequência de produção de uma lata de 18 litros



Fonte: Elaborado pelo autor

Sob essa ótica chegou-se à conclusão que era necessário promover a lubrificação e otimizar o sistema de forma conjunta a fim de potencializar a produtividade. Após os estudos iniciais constatou-se que a alternativa mais viável seria automatizar o processo e aplicar o lubrificante na etapa de estampagem, eliminando assim uma etapa ao mesmo tempo em que se aumenta a vida útil do punção e da matriz.

4 RESULTADOS E DISCUSSÕES

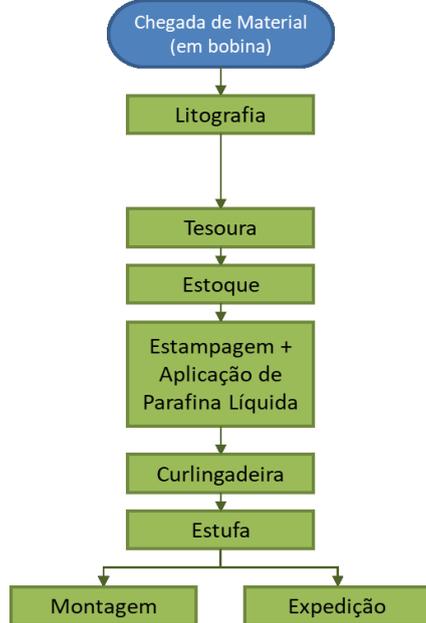
A empresa produtora de latas tem enfrentado continuamente com a baixa quantidade de matérias-primas disponíveis no mercado devido à crise mundial vivenciada pela Covid-19. Esse evento impactava diretamente a produtividade, bem como o estado físico das máquinas que muitas vezes ficavam ociosas, requerendo então manutenções continuamente.

Um desses problemas ocorreu na prensa que não contava com um sistema de lubrificação, fazendo com que a interrupção da produção somado com a ausência de tal atividade culminasse em desgaste excessivo. Por causa da falta de lubrificação tanto a matriz como o macho/punção se desgastavam rapidamente, algo que impactava diretamente o processo de corte. Para que voltassem a operar era necessário remover esses componentes da máquina e afiá-los, operações que demoravam muito tempo.

Diante desse problema determinou-se que era necessário intervir no processo, contudo, em uma das etapas já havia a lubrificação das chapas metálicas, algo que ocorria em um processo denominado parafinamento como mostrado na figura 8. Dessa forma buscou-se

integrar ambos os sistemas e automatizá-los a fim de aproveitá-los e, conseqüentemente, otimizar o processo. Com isso conseguiu-se juntar a aplicação do lubrificante à etapa de estampagem como mostra a figura 9.

Figura 9 – Nova seqüência de produção de latas

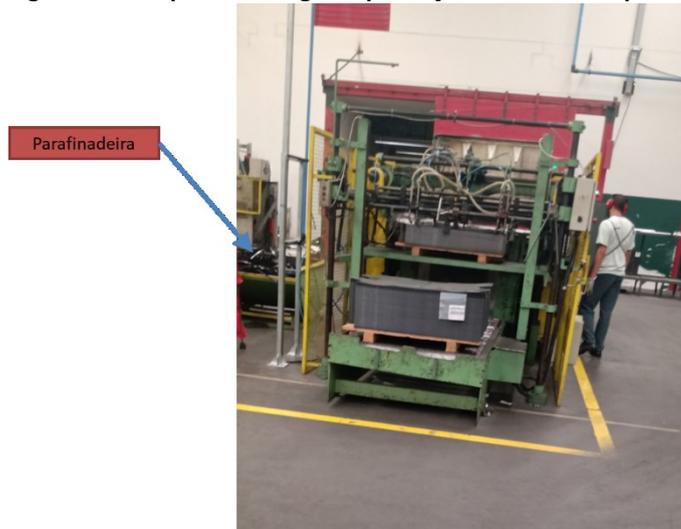


Fonte: Elaborado pelo autor

Portanto, com o novo sistema eliminaram-se dois problemas principais que afetavam a produtividade do sistema. Com isso passou-se a ter um sistema único e automatizado destinado a lubrificar a ferramenta e a aplicar uma camada do lubrificante para proteger a folha. Tal evento contribuiu ainda para otimizar o processo de estampagem, isto é, com essa melhoria os materiais chegavam mais rápido na máquina.

A figura 10 mostra como o processo era executado anteriormente, inicialmente era necessário que um colaborador posicionasse a chapa na parafinadeira que depois ia para a tesoura. Somente após disso é que o material ia para o estoque, local em que era acondicionado antes de ser estampado.

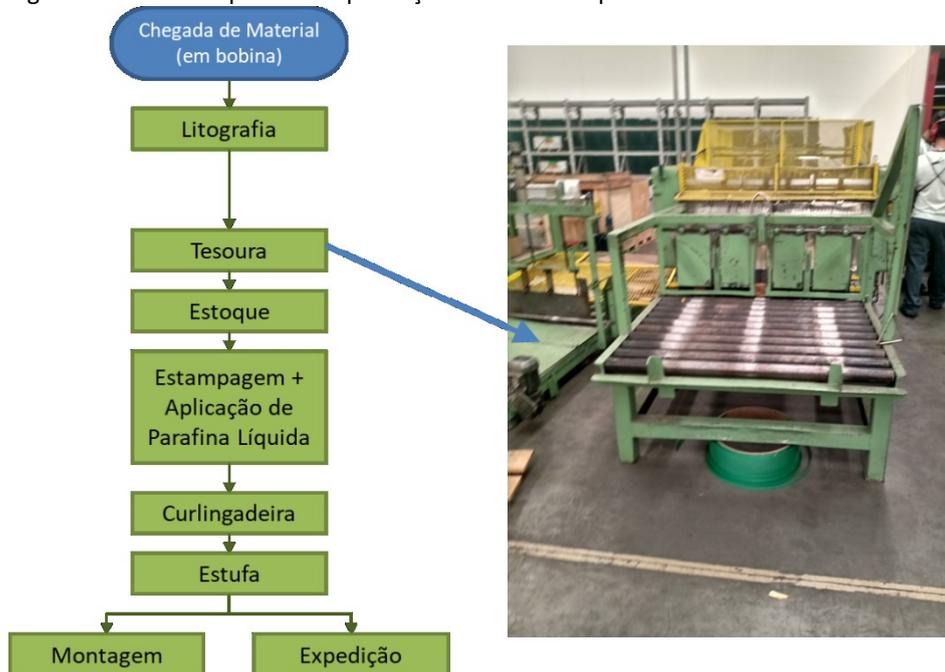
Figura 10 – Sequência antiga de produção de latas com parafinadeira



Fonte: Elaborado pelo autor

Depois da intervenção as chapas eram cortadas e já iam para o estoque aguardar a realização da operação de estampagem. Isso trouxe consigo mais agilidade para o processo, pois passou-se a aplicar óleo somente uma única vez no material. Isto posto, a figura 11 mostra como ficou o novo processo, mais limpo sem a parafinadeira no *layout*.

Figura 11 – Nova sequência de produção de latas sem parafinadeira



Fonte: Elaborado pelo autor

O processo foi melhorado por meio da implementação de um sistema de lubrificação automático, com isso, cada vez que a chapa entra na linha para ser conformada tem-se a injeção do lubrificante. Tudo isso ocorre para otimizar o desempenho da ferramenta e proteger o componente. Diante disso a figura 12 mostra com mais detalhes a unidade de lubrificação utilizada no processo.

Figura 12 – Unidade Lubrifil



Fonte: Elaborado pelo autor

O lubrifil ou ainda a unidade de preparação do ar ou a unidade de conservação pneumática consiste em um dispositivo responsável por preparar o ar comprimido para um dado tipo de aplicação. Inicialmente o ar comprimido passará pelo regulador em que se consegue ajustar a pressão para os valores almejados (o regulador conta com um manômetro em seu corpo).

Em seguida o ar comprimido passa através do filtro de ar que visa retirar as impurezas presentes nele, uma vez que podem causar danos ao longo do processo. Para finalizar a chamada unidade lubrificadora insere uma névoa de ar ou de outro fluido para lubrificar o sistema, algo que contribui para potencializar a vida útil das ferramentas ou dos componentes pneumáticos.

Figura 13 apresenta o IHM da máquina com os valores encontrados a partir dos testes práticos realizados na máquina, não foi usado nenhum software de simulação para esse projeto, pois foram testes empíricos realizados na operação, os resultados foram obtidos através do software disponível na máquina. Todos os valores mostrados na figura 13 estão representados em ms (milésimo de segundos).

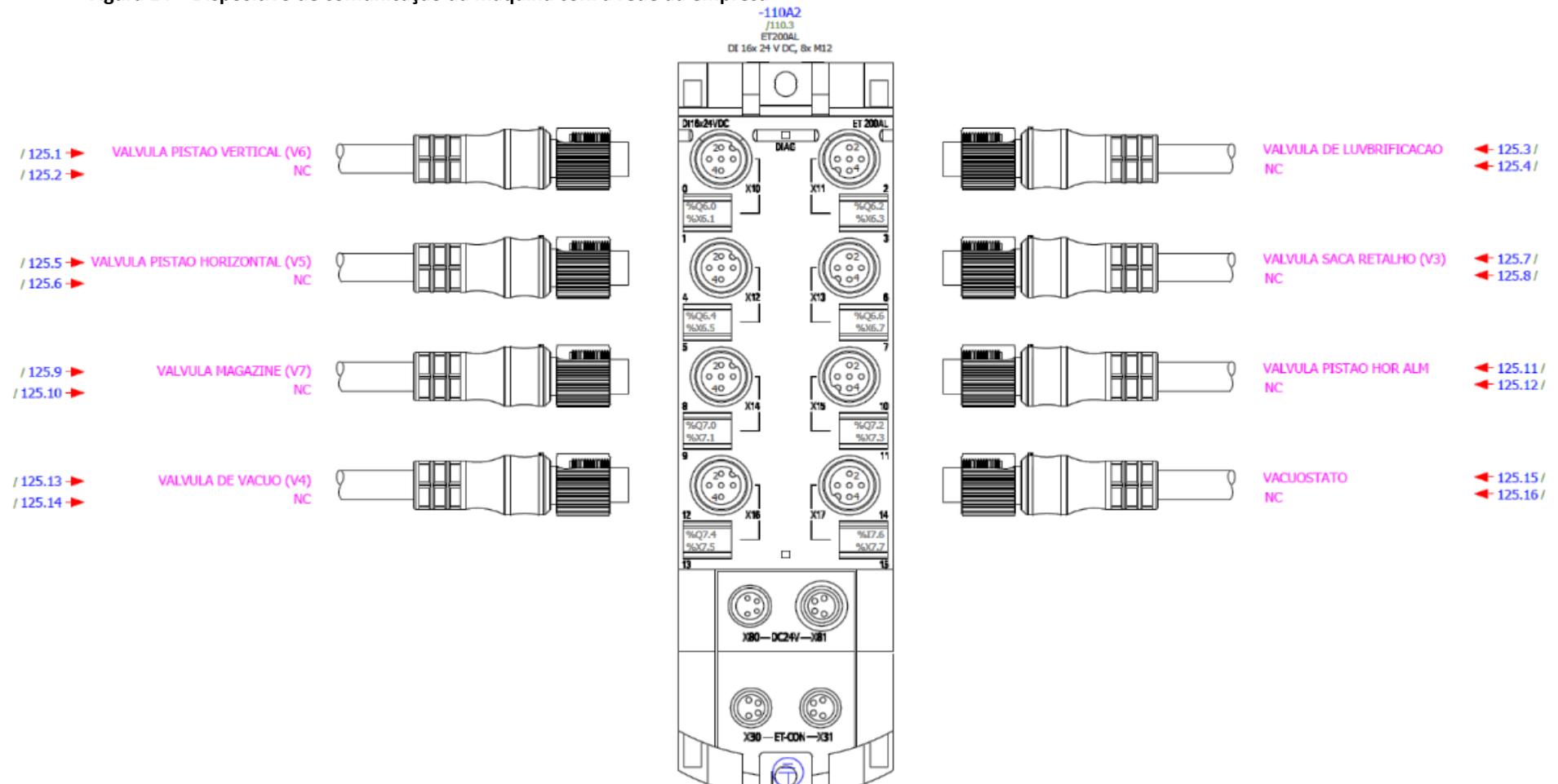
Figura 13 – IHM da máquina com os valores encontrados nos testes práticos



Fonte: Elaborado pelo autor

Já a figura 14 mostra o dispositivo responsável pela comunicação da máquina com a rede da empresa. Através dele consegue-se transmitir o programa para a máquina, a conexão é feita por uma saída do CLP, interligado via rede com as remotas (remotas são dispositivos alocados em painéis elétricos, eles recebem comandos do CLP e os transmite para máquina), tornando as possível fazer a programação via rede desses módulos, bem como coletar as informações necessárias após os testes práticos, tais como tempo de lubrificação, intervalo de lubrificação, tempo de lubrificação do componente e intervalo lubrificação de componente.

Figura 14 – Dispositivo de comunicação da máquina com a rede da empresa



Fonte: Elaborado pelo autor

Ao ligar o acoplamento da máquina é habilitada a válvula de lubrificação (figura 14), e esta válvula aciona a lubrificação de componentes pelo tempo pré-determinado na IHM no campo tempo lub componente, após isso inicia-se o intervalo lub componente, também pré-determinado na IHM e o ciclo se mantém até que a máquina seja desacoplada

A figura 15 mostra com mais detalhes o bico de injeção de fluido no sistema (elipse vermelha). Por meio dele é possível injetar uma pequena quantidade de lubrificante que assegura a qualidade do produto final e se evita outros danos que possam vir a ocorrer.

Figura 15 – Bico de injeção do lubrificante



Fonte: Elaborado pelo autor

Ao final desse processo é possível ter um produto final de boa qualidade como mostra a figura 16. Isso ocorre, pois há menos atrito entre a ferramenta de estampagem e a chapa devido à criação de uma película fina entre as partes, contribuindo assim para atingir esse objetivo, bem como maximizar a vida útil da ferramenta.

Figura 16 – Lata conformada depois da aplicação do lubrificante



Fonte: Elaborado pelo autor

Frente ao exposto, menciona-se que o projeto criado trouxe ganhos anuais significativos para a empresa. Ao se avaliar o panorama global observou-se que houve uma economia mensal de R\$ 3.993,47 ao mês ou R\$ 47.921,64 ao ano. Abaixo serão explicados os cálculos realizados para chegar a estes valores.

Primeiramente, um dos custos que foram eliminados do processo é o com a manutenção mecânica como mostra o quadro 3. Com a implantação do sistema foi possível reduzir 21 horas do trabalho de 4 profissionais, sendo 2 mecânicos, 1 torneiro e 1 fresador, algo que resultou em uma economia de R\$ 1530,36 em um mês.

Conseguiu-se também reduzir os custos de ferramentaria, como mostra o quadro 3. Nesse caso as atividades de reparo das ferramentas exigiam o trabalho de três profissionais dessa área, o ferramenteiro, o torneiro ferramenteiro e o retificador. Com a alteração no sistema foi possível eliminar cerca de 23 horas despendidas com esses agentes e suas atividades, algo que culminou em uma diminuição nos custos de R\$ 1.368,94 por mês, e quando somado ao valor de manutenção mecânica, atinge R\$ 2.899,30 por mês.

Quadro 3 – Custos com manutenção mecânica e advindos da ferramentaria

Profissional	Quantidade	Horas/mês	Valor/hora	Encargos	Total
Mecânico	2	12	28,99	1,7	1.182,79
Torneiro	1	6	24,34	1,7	248,27
Fresador	1	3	19,47	1,7	99,30
Ferramenteiro	1	3	33,30	1,7	169,83
Torneiro Ferramenteiro	1	16	38,00	1,7	1.033,60
Retificador	1	4	24,34	1,7	165,51
Total/mês					2.899,30

Fonte: Elaborado pelo autor

Foram reduzidos também os custos de movimentação de fardos de parafina e da tesoura, como mostra o quadro 4. Por mês tinha-se uma movimentação de fardos igual a 384 minutos, no que tange à movimentação das tesouras esse número era ainda maior, 1.152 minutos, totalizando de 3.072 minutos ou 51,2 horas despendidas com a movimentação. Com um custo de operação da empilhadeira igual a R\$ 19,28 por hora, o gasto de R\$ 987,03 foi eliminado, resultando assim em economia para a companhia.

Quadro 4 – Custos com a movimentação

Atividade	Tempo em minutos
Movimentação da parafinadeira	768
Movimentação da tesoura	2304
Total em minutos	3072
Custo total/mês R\$	987,03

Fonte: Elaborado pelo autor

Outro custo recorrente era o das fitas PET, nesse caso eram utilizados 2,48 metros por fardo, contudo tinha-se uma quantidade de 192 fardos. Cada 1.000 metros desse produto custavam cerca de R\$ 224,28, resultando em um valor por metro igual a R\$ 0,22, culminando em um gasto de R\$ 107,14 por mês.

Pode-se observar conforme o quadro 5, que o custo de implantação do sistema de lubrificação foi de R\$1.705,61, portanto pode-se concluir que em apenas um mês de uso o projeto se pagou, tendo em vista que a economia mensal foi de R\$ 3.993,47.

Quadro 5 – Custos do projeto

Componentes	Preço
Lubrúfil filtro regulador	166,00
Válvula Solenoide Tigre 5/2 Vias 1/4 MFH Festo	1.264,73
Bobina eletromagnética msfg festo	205,68
Mangueira Pneumática Tubo 8mm (1 metro)	8,10
Conexão reta 1/4 x 8 mm (3 unidades)	20,7
Conexão cotovelo 1/8 x 8 mm	7,10
Isoparafina líquida (1,5 litros)	33,31
Custo total do projeto	1.705,61

Fonte: Elaborado pelo autor

1 CONCLUSÃO

Os objetivos do trabalho foram alcançados quanto ao geral implantar um sistema de lubrificação automatizado para otimizar a lubrificação de ferramentas de estampagem em uma fábrica responsável pela produção de latas, aponta-se que foi possível desenvolver uma estratégia relativamente simples. Por meio da automatização e de um conceito ligado à Indústria 4.0 – maior integração e conectividade entre os processos – conseguiu-se estruturar

um sistema capaz de aplicar quantidades predeterminadas de fluido em intervalos regulares e de modo autônomo considerando as particularidades do processo.

Quanto ao específico estruturar um novo *layout* para otimizar os processos da empresa de estampagem de latas aponta-se que a implementação do ocorreu com a reorganização do leiaute. Isso se deu, pois havia um processo que podia ser juntado com a lubrificação visando reduzir o desgaste, com isso a aplicação da parafina líquida deixou de ocorrer no começo do processo e se integrou à estampagem. Dessa maneira conseguiu-se melhorar o processo e fazer com que o lubrificante fosse utilizado para evitar danos à superfície do material e, conseqüentemente, lubrificar a ferramenta.

Ao se tratar do objetivo específico desenvolver um sistema de automatização para assegurar a lubrificação adequada no processo de estampagem, menciona-se que o processo ocorreu de modo relativamente simples utilizando mangueiras e o lubrificador para tal. Além disso utilizou-se um dispositivo que promoveu a conexão da máquina com a rede da empresa, tudo isso com o intuito de se ter um processo mais integrado e autônomo.

No que tange ao objetivo específico apontar os ganhos financeiros com a implementação do sistema criado para a companhia evidencia-se que foi possível reduzir de modo considerável a quantidade de mão de obra e de insumos utilizados no processo. A partir disso conseguiu-se obter uma economia média de R\$ 3.993,47 por mês, totalizando um montante R\$ 47.921,64 no ano.

REFERÊNCIAS

ABREU, P. H. C. *et al.* Perspectivas para a gestão do conhecimento no contexto da Indústria 4.0. **South American Development Society Journal**, v. 4, n. 10, 2018.

AFFONSO, L. O. A. **Equipamentos mecânicos de estampagem: análise de falhas e solução de problemas**. 3. ed. São Paulo: Qualitymark, 2012.

ALBERTIN, M. R.; PONTES, H. L. J. **A engenharia de produção na era da indústria 4.0: estudos de casos e benchmarking da indústria 4.0**. 1. ed. São Paulo: Appris, 2021.

ALMEIDA, P. S. **Indústria 4.0: princípios básicos, aplicabilidade e implantação na área Industrial**. 1. ed. São Paulo: Erica, 2019.

AMORIM, J. E. B. A Indústria 4.0 e a sustentabilidade do modelo de financiamento do regime geral da segurança social. **Revista de Engenharia Atual**, v. 6, n. 5, 2017.

ANDRADE, E. P. *et al.* Caracterização mecânica e análise de falhas de chapas fabricadas pelo processo de tailor welded blank submetidas a estampagem profunda. In: SEMINÁRIO DE LAMINAÇÃO E CONFORMAÇÃO, 54., 2017, São Paulo. **Anais...** São Paulo: ABM, 2017.

ANTUNES, R. **Uberização, trabalho digital e Indústria 4.0**. 1. ed. São Paulo: Boitempo, 2020.

ASSAD NETO, A. *et al.* A busca de uma identidade para a Indústria 4.0. **Brazilian Journal of Development**, v. 4, n. 4, 2018.

AZEVEDO, M. T. **Transformação digital na indústria: indústria 4.0 e a rede de água inteligente no Brasil.** 2017. 177 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia) – Universidade de São Paulo, São Paulo.

BASTOS, A. L. **Análise do processo de estampagem de chapas de aço através da curva limite de conformação.** 2012. 123 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia) – Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis, 2012.

BORLIDO, D. J. A. **Indústria 4.0: aplicação a sistemas de manutenção.** 2017. 77 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia) – Universidade do Porto, Porto, 2017.

CARVALHO, M. A. F. **Eliminação das orelhas de estampagem na produção de componentes axissimétricos.** 2020. 152f. Dissertação (Mestrado em Engenharia) – Universidade de Coimbra, Coimbra, 2020.

CETLIN, P. C. **Fundamentos da conformação mecânica dos metais.** 2. ed. São Paulo: Artliber, 2005.

CORDEIRO, B. *et al.* Comparação de estampabilidade entre aço e alumínio para utilização em embalagens metálicas. **Revista de Engenharia e Tecnologia**, v. 11, n. 2, 2019.

DALEFFE, A. **Fabricação de próteses cranianas personalizadas em chapas de titânio através da estampagem incremental.** 2014. 184 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia) – Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, 2014.

DALEFFE, A.; LACERDA, J. Estudo do processo de estampagem incremental em chapa de alumínio puro. **Revista Vincici**, v. 1, n. 1, 2016.

FERRARINI, J. L. **Análise e determinação do coeficiente de atrito no processo de estampagem profunda.** 2014. 197 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia) – Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, 2014.

FISCHER, U. *et al.* **Manual de tecnologia metal mecânica.** 2. ed. São Paulo: Blucher, 2011.

FOLLE, L. F.; SCHAEFFER, L. Avaliação das condições tribológicas em estampagem de chapas através do ensaio de dobramento sob tensão. **Matéria**, v. 22, n. 2, 2017.

FRITZEN, D. **Estudo do processo de estampagem incremental em chapa de latão 70/30.** 2012. 124 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia) – Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, 2012.

GIL, A. C. **Métodos e técnicas de pesquisa social.** 7. ed. São Paulo: Atlas, 2019.

GROOVER, M. **Introdução aos processos de fabricação**. 1. ed. São Paulo: LTC, 2014.

LIMA, A. G.; PINTO, G. S. Indústria 4.0: um novo paradigma para a indústria. **Revista Interface Tecnológica**, v. 16, n. 2, 2019.

LOPES, T. R. F. S. **Estampagem Incremental: compensação do retorno elástico e análise à rotura**. 2013. 156 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia) – Faculdade de Engenharia da Universidade do Porto, Porto, 2013.

MARQUES, R. P. M. **Otimização da geometria inicial do esboço na estampagem de componentes cilíndricos**. 2014. 87 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia) – Universidade de Coimbra, Coimbra, 2014.

MATA, V. S. *et al.* Indústria 4.0: a Revolução 4.0 e o impacto na mão de obra. **Revista de Ciências, Exatas e Tecnologia**, v. 13, n. 13, 2018.

MELO, A. P. B. Estudo da influência do lubrificante na dureza de uma peça de aço eletrolgalvanizado. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE ENGENHARIA DE FABRICAÇÃO, 7., 2013, Itatiaia. **Anais...** Itatiaia: COBEF, 2013.

MENDES, C. R. *et al.* Estudos de caso da Indústria 4.0 aplicados em uma empresa automobilística. **Revista Posgere**, v. 1, n. 4, 2017. Disponível em: <https://posgere.spo.ifsp.edu.br/index.php/posgere/article/view/120>. Acesso em: 10 out 2022.

MORAIS, W. A.; BORGES, H. C. Adequações nas práticas dos novos processos de corte e dobra para otimizar o desempenho de aços planos. **Tecnologia em Metalurgia, Materiais e Mineração**, v. 7, n. 2, 2010. Disponível em: <https://tecnologiammm.com.br/article/doi/10.4322/tmm.00701010>. Acesso em: 11 nov. 2022. Acesso em: 10 out 2022.

MARCONI, M. A.; LAKATOS, E. M. **Técnicas de Pesquisa: Planejamento e Execução de Pesquisas, Amostragens e Técnicas de Pesquisas, Elaboração, Análise e Interpretação de Dados**. 8 ed., São Paulo: Atlas, 2017.

MOREIRA, B. G. P. **Análise Numérica de Corte e Estampagem em Punçonadora**. 2018. 124 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia) – Instituto Superior de Engenharia do Porto, Porto, 2018.

MORGADO, D. M. S. **Otimização da geometria inicial da chapa no processo de estampagem**. 2016. 93 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia) – Universidade de Coimbra, Coimbra, 2016.

PARISE, K. **Estudo do comportamento tribológico de líquidos iônicos como fluidos lubrificantes em processos de estampagem**. 2015. 198 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia) – Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, 2015.

PRODANOV, C. C.; FREITAS, E. C. **Metodologia do Trabalho Científico**: métodos e técnicas da pesquisa e do trabalho acadêmico. 2. ed. Novo Hamburgo: FEEVALE, 2013.

RIBEIRO, J. M. **O conceito da indústria 4.0 na confecção**: análise e implementação. 2017.87 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia) – Universidade do Minho, Braga, 2017. Disponível em: <http://repositorium.sdum.uminho.pt/handle/1822/49413>. Acesso em: 10 out 2022.

SAKURAI, R.; ZUCHI, J. D. As revoluções industriais até a Indústria 4.0. **Revista Interface Tecnológica**, v. 15, n. 2, 2018. Disponível em: <https://revista.fatectq.edu.br/index.php/interfacetecnologica/article/view/386>. Acesso em: 5 out. 2022.

SCHAEFFER, L. **Fundamentos da estampagem incremental de chapas aplicados ao aço AISI 304L**. 1. ed. São Paulo: Appris, 2018.

SCHULES, M. V. **Proposta de diagnóstico para adoção das tecnologias da indústria 4.0 em um processo produtivo com base em indicadores de sustentabilidade**: um estudo de caso. 2018. 90 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia) – Universidade Federal do Paraná, Curitiba, 2018.

SILVA, J. C. **Criação de modelos de custeio e melhoria da produtividade, na indústria de ferramentas de corte e estampagem**. 2019. 139 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia) – Instituto Superior de Engenharia do Porto, Porto, 2019.

SOUZA, B. D. *et al.* Indústria 4.0: um estudo sobre a influência de novas tecnologias no mercado de trabalho. **Revista Libertas**, v. 10, n. 1, 2020.

TAYDER, S. S. **Estudo da influência do lubrificante na estampagem de aço eletro galvanizado**. 2011. 132f. Dissertação (Mestrado em Engenharia) – Universidade Federal do Rio Grande do Sul, São João del Rei, 2011.

TEIXEIRA, R. L. P. *et al.* Os discursos acerca dos desafios da siderurgia na Indústria 4.0 no Brasil. **Brazilian Journal of Development**, v. 5, n. 12, 2019. Disponível em: <https://ojs.brazilianjournals.com.br/ojs/index.php/BRJD/article/view/5094>. Acesso em: 5 out. 2022.

TESSARINI, G.; SALTORATO, P. Impactos da indústria 4.0 na organização do trabalho: uma revisão sistemática da literatura. **Revista Científica de Engenharia de Produção**, v. 18, n. 2, 2018. Disponível em: <https://www.producaoonline.org.br/rpo/article/view/2967>. Acesso em: 05 out. 2022.

VOLPATO, N. **Manufatura aditiva**: tecnologias e aplicações da impressão 3D. 1. ed. São Paulo: Blucher, 2017.

AGRADECIMENTOS

Agradeço a Deus por me dar forças e sabedoria em todos os momentos. Aos meus pais, abdicaram de tantos sonhos para que os meus se tornassem realidade. À minha esposa, Fernanda Bernardo pela paciência e por entender os momentos que estive ausente ao longo dessa caminhada.

Agradeço a todo corpo docente do curso de pós-graduação da Faculdade SENAI Roberto Simonsen por todos os ensinamentos e incentivos.

SOBRE O(S)AUTOR(ES)

i LUCIAN BISPO DA SILVA



Graduação em Engenharia Mecânica pela Universidade São Judas Tadeu (2017), cursando atualmente a Pós-Graduação em Gestão da Manutenção Industrial 4.0 pela Faculdade SENAI de Tecnologia Roberto Simonsen (2022). Tem mais de 11 anos de experiência como mecânico de manutenção industrial. <https://orcid.org/0009-0000-1022-7645>

ii LEANDRO CARDOSO DA SILVA



Graduação em Engenharia de Produção Mecânica pelo Centro Universitário Nove de Julho, Mestrado em Engenharia dos Materiais pela Universidade Presbiteriana Mackenzie e Doutorando em Engenharia Mecânica na Universidade de São Paulo. Atuação nos seguintes temas: Tem experiência industrial e acadêmica nas áreas de engenharia industrial, mecânica automobilística, materiais poliméricos, análise estrutural por elementos finitos, manutenção industrial, cadeia de suprimentos, logística, administração geral e produção, planejamento e controle da produção e gestão organizacional. <https://orcid.org/0000-0003-1636-3685>

iii DOUGLAS JOSE BAQUIAO RIBEIRO



Graduado em Engenharia de Materiais pela UNESP, Mestre em Engenharia e Tecnologias Espaciais: Materiais e Sensores pelo INPE, além de Doutor em Nanociência e Materiais Avançados pela UFABC e Licenciado em Química pela UniCSul. Trabalhou por 3 anos em empresas tanto no setor de planejamento, controles e processos quanto como cientista de dados. Também atuou por outros 3 anos como docente de Química, Matemática e inglês. <https://orcid.org/0000-0002-4995-3799>

iv NORBERTO GONCALVES NETO

Formação acadêmica: Graduação em Tecnologia Mecânica pela Faculdade de Tecnologia de São Paulo, Especialização em Administração Industrial pela Universidade de São Paulo, Especialização em Programa Especial de Formação Pedagógica pelo Centro Estadual de Educação Tecnológica Paula Souza, Mestrado profissional em Processos Industriais Instituto de Pesquisas Tecnológicas do Estado de São Paulo. <https://orcid.org/0009-0002-1766-3794>

v EDSON PEREIRA DA SILVA

Formação acadêmica: Graduação em Tecnologia Mecânica pela Faculdade de Tecnologia de São Paulo, Especialização em Administração Industrial pela Universidade de São Paulo, Especialização em Programa Especial de Formação Pedagógica pelo Centro Estadual de Educação Tecnológica Paula Souza, Mestrado profissional em Processos Industriais Instituto de Pesquisas Tecnológicas do Estado de São Paulo.