


**Universidade do Minho**

Escola de Engenharia

**Marcelo Duarte Vieira**

**Aumento da Capacidade de  
Tratamento Térmico de Peças  
em uma Indústria de Motocicletas**





**Universidade do Minho**  
Escola de Engenharia

Marcelo Duarte Vieira

**Aumento da Capacidade de Tratamento  
Térmico de Peças em uma Indústria de  
Motocicletas.**

Tese de Mestrado

Mestrado em Engenharia e Gestão Industrial

Trabalho efetuado sob a orientação do(s)

Doutor Rui Manuel Alves da Silva e Sousa

Doutor José Carlos Reston Filho

Outubro de 2019



## DECLARAÇÃO

Nome: Marcelo Duarte Vieira.

Endereço eletrónico: marcelo.duarteep@gmail.com      Telefone:+55 92 99108-0518

Número do Bilhete de Identidade: 2034332-9

Título da dissertação: Aumento de Capacidade de Tratamento Térmico de Peças em uma Indústria de Motocicletas.

Orientador(es): Rui Manuel Alves da Silva e Sousa.

José Carlos Reston Filho.

Ano de conclusão: 2019.

Designação do Mestrado: Mestrado em Engenharia e Gestão Industrial.

---

Nos exemplares das teses de doutoramento ou de mestrado ou de outros trabalhos entregues para prestação de provas públicas nas universidades ou outros estabelecimentos de ensino, e dos quais é obrigatoriamente enviado um exemplar para depósito legal na Biblioteca Nacional e, pelo menos outro para a biblioteca da universidade respetiva, deve constar uma das seguintes declarações:

1. DE ACORDO COM A LEGISLAÇÃO EM VIGOR, NÃO É PERMITIDA A REPRODUÇÃO DE QUALQUER PARTE DESTA TESE/TRABALHO.

Universidade do Minho, 18 / 11 / 2019

Assinatura:



## **DECLARAÇÃO DE INTEGRIDADE**

Declaro ter atuado com integridade na elaboração do presente trabalho académico e confirmo que não recorri à prática de plágio nem a qualquer forma de utilização indevida ou falsificação de informações ou resultados em nenhuma das etapas conducente à sua elaboração.

“Mas declaro que conheço e que respeitei o Código de Conduta Ética da Universidade do Minho”.

## DIREITOS DE AUTOR E CONDIÇÕES DE UTILIZAÇÃO DO TRABALHO POR TERCEIROS

Este é um trabalho académico que pode ser utilizado por terceiros desde que respeitadas as regras e boas práticas internacionalmente aceites, no que concerne aos direitos de autor e direitos conexos.

Assim, o presente trabalho pode ser utilizado nos termos previstos na licença abaixo indicada.

Caso o utilizador necessite de permissão para poder fazer um uso do trabalho em condições não previstas no licenciamento indicado, deverá contactar o autor, através do Repositório da Universidade do Minho.

### *Licença concedida aos utilizadores deste trabalho*



### **Atribuição-Não Comercial-Compartilha Igual**

#### **CC BY-NC-SA**

<https://creativecommons.org/licenses/by-nc-sa/4.0/>

[Esta licença permite que outros remisturem, adaptem e criem a partir do seu trabalho para fins não comerciais, desde que lhe atribuam a si o devido crédito e que licenciem as novas criações ao abrigo de termos idêntico].

## **AGRADECIMENTOS**

Quero agradecer a Deus por ter permitido que eu tivesse a oportunidade de concluir uma pós-Graduação Stricto Sensu, em uma Universidade Renomada como a Universidade do Minho. Quero também expressar meus sinceros agradecimentos aos Doutores: Rui Manuel Alves da Silva e Sousa, e Carlos Reston Filho, pela orientação.

## **DEDICATÓRIA**

Ao universo que sempre conspirou a favor, a minha família e amigos, e a todos que direta ou indiretamente contribuíram para a realização desse projeto.



## RESUMO

São inúmeras as ações de melhorias que as indústrias aplicam para aumentar o nível de satisfação dos seus clientes. Elaboraões de planos preventivos e diagnósticos corretivos são algumas dessas práticas, entretanto sem uma metodologia o foco da atuação pode ser incorreto e o propósito pode não acontecer de modo expectável. Por outro lado, a filosofia *Lean manufacturing* surgiu com ideias desafiadoras de “fazer melhor com menos”. Desenvolveu técnicas que facilitaram a identificação do núcleo do desperdício. É neste ângulo, que esta pesquisa apresenta como objetivo de propor alternativas para aumentar a capacidade de uma empresa do segmento de duas rodas do polo industrial de Manaus, localizado no Estado do Amazonas/Brasil. Na construção investigativa, utilizou-se a metodologia do mapa de fluxo de valor, também conhecida como VSM (*Value Stream Mapping*) para localizar os problemas, conjecturar melhorias e tomar as decisões, pois a princípio a empresa não possuía diretrizes que norteassem a adversidade organizacional. O setor de Tratamento Térmico de peças foi selecionado. Números apontavam desperdícios na produção por baixa capacidade e uma conservação cultural de elevados stocks de processo. Intervenções foram feitas por meio da melhoria no processo de indução de eixo através da ferramenta *Kaizen* na máquina gargalo, diversos estudos desafiadores no campo da metalurgia aplicados e esclarecimentos sobre desperdícios aos funcionários a fim de causar mudanças comportamentais. O resultado do estudo foi excepcional. Economia de mais de R\$600mil com a redução de custos de fábrica com a compra de máquina, aumento da capacidade do setor, redução de *lead time* e ganhos anuais acima de R\$40mil com o total na redução destes custos de fabricação. A partir desses valores foi proposta a expansão transversal para os outros departamentos da fábrica.

**PALAVRAS-CHAVE:** *Lean Manufacturing, Kaizen, Tratamento Térmico, Aumento de Capacidade.*



## **ABSTRACT**

There are numerous improvement actions that industries apply to increase the level of satisfaction of their customers. Preparations of preventive plans and corrective diagnoses are some of these practices, however without a methodology the focus of action may be incorrect and the purpose may not be expected. On the other hand, the lean manufacturing philosophy developed techniques that facilitated the identification of the core of waste. It is in this angle, that this research presents as objective, alternatives to increase the capacity of a company of the segment of two wheels of the industrial pole of Manaus, located in the State of Amazonas / Brazil. In the investigative construction, it was used the value stream mapping methodology to locate the problems, conjecture improvements and make decisions, because at first the company did not have guidelines to guide the organizational adversity. The heat treatment part sector was selected, numbers pointed to waste in production by low capacity and a cultural conservation of high process stocks. Interventions were made in the bottleneck machine, several challenging studies in the field of metallurgy applied and clarifications about waste to employees in order to cause behavioral changes. The result of the study was a savings of more than R\$ 600,000 with machine purchase, increased industry capacity, reduced lead time and annual gains over R\$ 40,000 with reduced manufacturing cost. From these values, a lateral revision was proposed for the other departments of the factory.

**KEYWORDS:** Lean manufacturing, Kaizen, Heat Treatment, Capacity Increase.



## ÍNDICE

<b>AGRADECIMENTOS</b> .....	<b>vi</b>
<b>DEDICATÓRIA</b> .....	<b>vii</b>
<b>RESUMO</b> .....	<b>ix</b>
<b>ABSTRACT</b> .....	<b>xi</b>
<b>ÍNDICE DE FIGURAS</b> .....	<b>xv</b>
<b>ÍNDICE DE TABELAS</b> .....	<b>xix</b>
<b>LISTA DE ABREVIATURAS, SIGLAS E ACRÔNIMOS</b> .....	<b>xx</b>
<b>1. INTRODUÇÃO</b> .....	<b>1</b>
1.1 Enquadramento.....	1
1.2 Objetivos.....	3
1.3 Metodologia da Pesquisa .....	4
1.4 Estrutura da Dissertação.....	5
<b>2. FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA</b> .....	<b>7</b>
2.1 Ascensão do Sistema Toyota de Produção .....	7
2.2 Os Sete (7) Desperdícios da Filosofia <i>Lean</i> .....	9
2.3 Just In Time.....	10
2.4 Filosofia <i>Lean Manufacturing</i> .....	11
2.5 As Ferramentas <i>Lean</i> .....	12
2.5.1 Kaizen .....	12
2.5.2 Kanban .....	12
2.5.3 Jidoka.....	13
2.5.4 Ferramenta 5S.....	14
2.5.5 Mapa de Fluxo de Valor.....	15
2.6 Processo de tratamento térmico/termoquímico .....	20
2.6.1 Cementação.....	21
2.6.2 Têmpera .....	22
2.6.3 Revenimento .....	22
2.6.4 Shotpeening.....	23
2.6.5 Propriedades mecânicas do aço.....	23
2.6.6 Ferrita.....	24
2.6.7 Perlita .....	25
2.6.8 Bainita .....	25

2.6.9 Martensita .....	26
2.6.10 Fornos e equipamentos de indução .....	26
<b>3. INFORMAÇÕES DA EMPRESA PEQUISADA.....</b>	<b>29</b>
3.1 Breve história da indústria X .....	29
3.2 Indústria X em Manaus/Amazonas.....	30
3.3 Produtos Fabricados na Empresa X.....	31
3.4 Fluxo de Fabricação da Empresa X.....	32
<b>4. ANÁLISE DO PROCESSO .....</b>	<b>37</b>
4.1 Fabricação do Eixo GW-N no Setor de Tratamento Térmico.....	39
4.2 Especificações do Eixo GW-N.....	46
4.3 Histórico de Problemas na Produção.....	46
<b>5. IMPLANTAÇÃO DA MELHORIA .....</b>	<b>53</b>
5.1 Ações de Melhoria no Processo .....	55
5.2 Melhoria na Máquina de Indução .....	56
5.3 Implementação de Produção Puxada.....	68
5.4 Implantação de melhoria Ferramenta 5S .....	69
<b>6. RESULTADOS.....</b>	<b>71</b>
6.1 Análise da Qualidade do Eixo GW-N Após Melhoria.....	71
6.2 Novo Mapa de Fluxo de Valor .....	74
6.3 Resultado do Custo de Fabricação.....	76
6.4 Mudanças.....	78
<b>7. CONCLUSÃO .....</b>	<b>81</b>
<b>REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....</b>	<b>83</b>

## ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1 – Estágios e Finalidades do VSM .....	16
Figura 2 - Símbolos de materiais e processos da ferramenta do mapa de fluxo de valores .....	18
Figura 3 - Ícones de comunicação representados no mapa de fluxo de valores.....	19
Figura 4 - Ícones gerais representados no mapa de fluxo de valores.....	19
Figura 5 - Diagrama de equilíbrio de ferros e aços.....	24
Figura 6 - Processos de fabricação dos produtos da empresa X. ....	32
<i>Figura 7 - Custo de fabricação por modelo de produtos da fábrica X. ....</i>	<i>37</i>
Figura 8 - Mapa de fluxo de valor do estado atual de fabricação do eixo GW-N.....	38
Figura 9 - Layout do processo de fabricação do eixo GW-N da empresa X. ....	39
Figura 10 - Parâmetros dos fornos: a) Forno contínuo de cementação, b) forno de revenimento.....	41
Figura 11 - Layout da linha de fornos automática DOWA do processo de cementação....	41
Figura 12 - Diagrama de mapeamento de peças de um lote. Os números destacados na cor amarela, representam a coleta de 3 amostras para análise.....	41
Figura 13 - Croqui de eixo GW-N para análise de dureza e camada. ....	42
Figura 14 - Ensaio metalográfico para aprovação de Set Up da indutora: a) região induzida, b) posição do indutor c) área aferida com o microdurômetro.....	44
Figura 15 - Foto de processo de desempenar eixos. Modelo GW-N recebendo tensão do martelo para correção de distorção térmica.....	45
Figura 16 - Foto de eixo GW-N após todo processo de Tratamento Térmico.....	46
Figura 17 - Mapa de fluxo de valor do setor de Tratamento Térmico para o processo de fabricação do eixo GW-N.....	47
Figura 18 - Índice de sucata do setor de Tratamento Térmico.....	48
Figura 19 - Número de reclamações da qualidade dos produtos feitos na empresa X nos anos de 2018 e 2019.....	48
Figura 20 - Dados de custo por processo de fabricação do eixo GW-N.....	49
Figura 21 - Indicador de produção e entrega de pedidos real e planejado do setor de Tratamento Térmico no período de 2018 e 2019. ....	50
Figura 22 - Mapa de fluxo de valor com propostas de melhoria no setor de Tratamento Térmico.....	53
Figura 23 - Análise do processo de indução de eixos. ....	56

Figura 24 - Croqui da máquina de indução proposto para melhoria.....	57
Figura 25 - Processo de indução de eixo: a) encaixe do eixo no contraponto fixo, b) fixação do eixo no contraponto móvel c) movimento nos botões de ligar aquecimento. ....	58
Figura 26 - Eixo posicionado na bobina de indução.....	58
Figura 27 - Comparativo de bobinas de indução: a) bobina atual, b) proposta de bobina modificada dupla.....	60
Figura 28 - Desenho 3d das bobinas duplas. Peça explodida e detalhes em ângulo.....	60
Figura 29 - Croqui da bobina dupla e corte na região da passagem de água. ....	61
Figura 30 - Desenho da bobina e suas medidas principais. ....	61
Figura 31 - Desenho em três vistas do suporte de apoio as bobinas. ....	61
Figura 32 - Croqui de duto de passagem de água de resfriamento da bobina dupla de indução.....	62
Figura 33 - Imagem de corte do sistema de resfriamento das bobinas duplas.....	62
Figura 34 - Desenho 3D do dispositivo de fixação de eixos.....	63
Figura 35 - Desenho da chapa de fixação ao conjunto da máquina. ....	63
Figura 36 - Regulador de comprimento do conjunto.....	63
Figura 37 - Chapa de união do dispositivo de fixação. ....	64
Figura 38 - Croqui da chapa de apoio às garras.....	64
Figura 39 - Desenho da garra de fixação de eixos. ....	64
Figura 40 - a) bobina dupla e b) dispositivo de fixação de eixos. ....	65
Figura 41 - Pontas utilizadas para fixar eixo na indutora: a) pontas novas, b) e c) pontas gastas após 3 meses de uso. ....	65
Figura 42 - indutora de eixos com as bobinas duplas e dispositivos de fixação de eixos instalados.....	66
Figura 43 - Configurações do processo de indução. ....	66
Figura 44 - Gráfico de dureza nas bobinas de indução. As quatro bobinas identificadas por letras encontram –se com microdureza abaixo do determinado de 300Hv a 390Hv após teste com 375v de tensão.....	67
Figura 45 - Microestrutura na região da rosca do eixo GW-N. Propriedade de agulhas de martensita revenida (marrom) e demasiada presença de grãos de ferrita (branco). ....	67
Figura 46 - Gráficos de microdureza após teste com 280v de tensão .Os valores estão acima do especificado de 300Hv a 390Hv.....	68

Figura 47 - Morfologia da região da rosca induzida. Presença de agulhas espessas de martensita pouco revenida na coloração marrom e bege. ....	68
Figura 48 - Gráfico comparativo de simulação de produção com uma bobina por estação e acompanhamento real diário com bobinas duplas nos meses de junho e julho de 2019. ....	69
Figura 49 - Estabelecimento da Meta com base no Lean manufacturing.....	70
Figura 50 - Comparativo de microdureza com bobinas duplas e bobina única por estação.....	72
Figura 51 - Comparativo de microestrutura das bobinas duplas e única. A composição maior de ripas de martensita revenida e poucas grãos livres de austenita.....	72
Figura 52 - Média de microdureza analisadas durante uma semana de produção em diferentes horários.....	73
Figura 53 - Mapa de fluxo de valor atual após mais de um mês de implantação de melhoria.....	75
Figura 54 - Comparativo do custo de fabricação no processo de indução antes e depois da melhoria. ....	77
Figura 55 - Previsão de ganhos após implantação de melhoria. ....	77
Figura 56 - Organização da bancada de espera de amostras a serem analisadas.....	78
Figura 57 - Marcação do piso da área do stock para limitar quantidade de peças.....	79
Figura 58 - Comparativos de antes e depois da organização na área de stock de peças tratadas. ....	79
Figura 59 - contraste da aplicação dos 5S nas ferramentas das bancadas de trabalho. ...	79



## **ÍNDICE DE TABELAS**

Tabela 1 - Organograma da empresa X em Manaus/Amazonas. ....	31
Tabela 2 - Composição química (%) do aço SCM420H para fabricação do eixo GW-N. ....	40
Tabela 3 - Especificação técnica de tratamento térmico do eixo GW-N.....	46
Tabela 4 - Especificação da máquina de indução de eixos.....	55
Tabela 5 - Tempo de indução de eixos da máquina proposta.....	56
Tabela 6 - Gastos com a Melhoria na Indutora.....	76

## **LISTA DE ABREVIATURAS, SIGLAS E ACRÔNIMOS**

**JIT** - *Just In Time*

**MFV** - Mapa do Fluxo de Valor

**SESMT** - Serviço Especializado em Engenharia de Segurança e em Medicina do Trabalho

**SIG** - Sistema de Gestão Integrada

**SPT** - Sistema de Produção Toyota

**TR** – Tempo de Retrabalho

**VSM** - *Value Stream Mapping*

**WID** - *Waste Identification Diagram*

**WIP** - *Work In Process*

## 1. INTRODUÇÃO

Neste capítulo está exposta uma introdução ao trabalho por meio do enquadramento sobre o aumento da capacidade de tratamento térmico de Peças em uma indústria de motocicletas dos Serviços de uma empresa privada Brasileira, assim como os objetivos, metodologia e a organização da dissertação.

### 1.1 Enquadramento

A produção de motocicletas no Brasil consiste na fabricação de peças, montagem dos componentes e venda no mercado de atacado e varejo. Fábricas montadoras do produto (motocicleta), contam com o auxílio de empresas terceirizadas fabricantes de acessórios e peças de armação. Geralmente essas empresas atuam em regiões próximas de seus clientes a fim de reduzir custos com a logística. O Estado do Amazonas possui cerca de 10 montadoras instaladas no Polo Industrial de Manaus e 13 multinacionais fornecedoras de componentes de motocicletas (Abraciclo, 2019).

Embora o setor de duas rodas tenha sofrido uma queda de mais de 26% no faturamento nos últimos 3 anos, o ano de 2018 fechou em alta de 19% na comparação com o mesmo período do ano passado. Esse desempenho ocorreu em função da recuperação do cenário econômico do país, elevação da oferta de crédito e lançamento de novos modelos de motos que formam 40 unidades no qual anteriormente eram apenas 32 para ano de 2017. A projeção para o ano de 2019 é de um crescimento na produção de 4,3% (Abraciclo, 2019).

Nesse contexto, as empresas estão inovando paulatinamente as suas estratégias de mercado e produção. O avanço tecnológico permite os ajustes relevantes para tomada de decisão. Sistemas integrados, bancos de dados salvo nas nuvens, automações, comunicação por som e imagens, softwares de simulação precisos, impressoras 3D, modelagem rigorosa de estatística de dados e fábrica inteligentes são alguns dos exemplos de modificações que as indústrias estão adotando a fim de se tornarem mais competitivas no mercado e resguardadas nos períodos de crise. Porém, caso esses mecanismos não sejam aplicados de maneira correta, à organização poderá sofrer impactos prejudiciais irreversíveis (Pimenta, 2019).

Uma alternativa utilizada no passado pelo o segmento automobilístico e atualmente adotada por indústrias de diversos ramos é a filosofia da produção enxuta ou *lean manufacturing*. As ferramentas *lean* têm apresentado resultados excelentes nas empresas,

diversas pesquisas de artigos científicos e trabalhos instrutivos abordam positivamente a repercussão da implantação (Gupta e Jain, 2013).

A filosofia *lean manufacturing* de modo geral contribui significativamente para o crescimento econômico das empresas. Rother e Shook (2008), “a filosofia *lean manufacturing* pode ser obtida através de várias tecnologias nos processos de fabricação que alterar-se as matérias primas em produtos acabados e em seguida atende vários requisitos dos clientes”. Atualmente a indústria de duas rodas busca melhorar os seus processos e suas relações com os clientes internos e externos. Muitas fábricas fornecedoras de componentes e acessórios de motocicletas desejam reduzir o custo/peça para as montadoras a fim de prolongar a sua relação com os seus clientes, como também as montadoras aproveitam a diminuição do valor do produto a fim potencializar as suas vendas ao cliente final. Dessa forma, Investir nos conceitos da manufatura enxuta possibilita atuar continuamente com criatividade e melhorias (Moraes e Nogueira, 2014).

Contribuições importantes para a filosofia *lean* foram feitas por muitos pesquisadores, entretanto, Taiichi Ohno (1988), defende que “o patriarca do Sistema Toyota de Produção, é conhecido por ser um dos principais patriarcas da produção enxuta”. *Lean manufacturing* foi implementada pela primeira vez pela Toyota Co, depois que os engenheiros da Toyota observaram que os modelos de produção em massa não eram totalmente eficientes na eliminação do tempo ocioso, *Setup* e retorno financeiro. No entanto o termo “*Lean*” foi mencionado no livro que se tornou *best seller* de 1990, “A máquina que mudou o mundo”, A História da Produção Enxuta de Jones, Roos e Womack (1990). Os benefícios da produção enxuta são evidentes em muitas fábricas do mundo todo. As empresas relatam melhoria da qualidade do produto, reduções de tempo, diminuição de stock em processo (WIP), entregas no prazo, melhoria do lucro líquido, redução de custos, otimização da utilização da mão de obra, redução de stocks, maior flexibilidade, melhor utilização de espaço, maior foco no trabalho e melhor aprimoramento de habilidades (Jones, Roos e Womack, 1990). A máquina que mudou o mundo

As organizações também observaram uma tendência na produção de produtos customizados. Portanto o sistema de produção enxuto deve responder as mudanças nas características do produto, qualidade e pontualidade com base nos requisitos dos clientes. Além das exigências dos clientes que ocorrem em constante mudança, existe a busca de redes globais de empresas com o objetivo de maximizar o lucro por meio de baixo custo de

material e recursos. Isso levou muitas empresas a se adequarem a atender desafios globais. O efeito disso é que os produtos e os mercados estão globalmente centrados. Redes de empresas terceirizadas se comunicam para reduzir os valores dos produtos e é nesse momento em que os conceitos da manufatura enxuta opera (Kumar e Kumar, 2014).

O conceito por trás do Lean é simples, o problema é sustentar um sistema *lean* a longo prazo, pois mudar hábitos de uma organização e disciplinar equipes é um desafio que ocorre com muito trabalho. Ko, Wang e Kuo (2018), ilustra que sustentar práticas *lean* de longo prazo é uma meta ambiciosa e quando comprovada que fora alcançada e mantida, a organização desenvolve uma cultura enxuta eficaz. Uma cultura *lean* incentiva todos os colaboradores de uma empresa a contribuir com ideias, sugerir rapidamente propostas de melhoria, proporcionar um ambiente de aprendizado colaborativo, buscar a perfeição em seus produtos, serviços e processos, além de desfrutar do suporte de líderes e funcionários. Assim, as indústrias de duas rodas buscam conceitos e metodologias para empregar a melhor tecnologia no espaço e tempo que as favoreçam, bem como, reduzir custos e eliminar desperdícios. Este trabalho possui como foco eliminar os desperdícios e aumentar a capacidade de produção do processo de tratamento térmico de peças em uma indústria do segmento de duas rodas do Polo Industrial de Manaus. A investigação é fundamentada na aplicação da filosofia enxuta (*lean*) principalmente no uso da gestão visual através do VSM para diagnóstico de desperdícios, proposição de melhorias visando diminuir os desperdícios.

## **1.2 Objetivos**

Aplicar a ferramenta VSM da filosofia *lean manufacturing* a fim de identificar os desperdícios no tratamento térmico do aço e desenvolver melhorias em uma fábrica de componentes mecânicos de motocicletas do Polo Industrial Manaus.

1. Elaborar o mapa de fluxo de valor do cenário atual no setor de tratamento térmico e identificar os desperdícios;
2. Propor ações de melhoria para os desperdícios identificados e elaborar o mapa de fluxo de valor futuro;
3. Implementar as ações de melhoria como: modificação de métodos de processo em um ou mais equipamentos do setor de Tratamento Térmico;
4. Analisar os desempenhos dos resultados.

### 1.3 Metodologia da Pesquisa

Em busca de criar melhorias no ambiente industrial estudado, bem como envolver os funcionários da empresa na abordagem da pesquisa, será utilizado nesse trabalho a metodologia Pesquisa-Ação.

Essa técnica foi dividida em duas etapas, a primeira iniciou nos anos de 1920 e 1950 pela publicação do autor Kurt Lewin com o trabalho contendo a respectiva metodologia. Ele utilizou o termo Pesquisa Ação para diferenciar de todos os outros procedimentos criados na época, pois a abordagem se tratava de uma aglutinação da teoria com a alteração do mecanismo de ação social por meio da intervenção do pesquisador. A segunda etapa ocorreu por volta de 1970 em uma área educacional no Reino Unido. Pode-se afirmar que se tratava de uma versão melhorada da proposta de Lewin, por rejeitar o conceito positivista e favorecer um método mais interpretativo que denota a concepção dos participantes e dos protagonistas sociais (Miguel et al., 2013).

Segundo Minayo & Sanches (2005), afirma que a pesquisa quantitativa trata-se de uma descrição matemática como uma questão de linguagem. Tudo que for quantificável e identificado como necessidade de registro permanente nas investigações. É designado pelo emprego das ferramentas estatísticas na análise do objeto de estudo. O autor sustenta que diversas áreas da ciência como astronomia, biologia e engenharia evoluíram historicamente por meio dessa técnica.

Os autores Miguel et al. (2013), versa que a abordagem qualitativa tem um foco no processo da pesquisa, ou seja, pode ser o resultado de um “mapa” no qual o investigador efetiva a sua visão sobre o “território” estudado. A metodologia quantitativa qualifica os dados, obtém a perspectiva do indivíduo e interpretar o ambiente que se sucede a percepção.

De acordo com Olds et al. (2005), a pesquisa qualitativa é caracterizada pela coleta de dados, análise textual de questionários, entrevistas, foco em grupo, análise convencional, observações e etnografia. Ela enfatiza o contexto em que o estudo ocorre. Sob uma visão epistemológica adotou-se nessa pesquisa uma estrutura de complementaridade no que se fundamenta a ótica de análise quantitativa e qualitativa.

Miguel et al. (2013), afirma que o estilo de pesquisa qualitativa é desenvolvido quando existe a necessidade de analisar as ações no ambiente estudado, como simular, estruturar mapas de análises e validar as entradas e saídas de dados.

Segundo Teixeira e Neto (2018), a Pesquisa-Ação não limita-se em apenas investigar e formalizar o conteúdo, uma vez que causa duas ações, como levantar informações do objeto de pesquisa e transformar os cenários do ambiente estudado.

Segundo Franco (2016), executar a metodologia da pesquisa ação é trabalhoso, pois requer do pesquisador foco e persistência nos seus objetivos, de modo que ele e toda a equipa possam manifestar uma construção de novas ideias no interior do ambiente estudado. Essa é uma atividade que deve ser realizada aos poucos e com equilíbrio. A insuficiência de pesquisa e conhecimento no objeto a ser analisado resulta na perda de oportunidades de melhorias dispendiosas.

Já Menelau et al. (2015), explica que a pesquisa ação divide-se em duas fases a acadêmica identificada pelo vigor das revisões literárias, planejamento do estudo e ideias abstratas em conjunto com o objeto da pesquisa. Em seguida inicia-se a etapa de execução, todo o conhecimento é posto em prática. começa o diagnóstico do problema, verificações minuciosas são realizadas, implementação de mudanças são feitas e em seguida ocorre o encerramento das atividades com pelo menos alguns dos resultados das atuações satisfatórias.

Assim, a pesquisa aplica técnicas de investigação no setor de Tratamento térmico de uma empresa do Polo Industrial de Manaus/Amazonas, são coletados números dos indicadores de desempenho, dados das fichas de acompanhamentos, informações de custos e pesquisa com colaboradores que trabalham na produção. Em seguida, após o diagnóstico e análise, é laborado melhorias para diminuição/eliminação de desperdícios e perdas.

#### **1.4 Estrutura da Dissertação**

Os capítulos da dissertação foram divididos da seguinte configuração:

**Capítulo 1:** Neste capítulo apresenta o histórico da pesquisa, a descrição do problema, objetivo da abordagem, método da investigação (metodologia da pesquisa) e a formatação da dissertação com uma explicação sucinta.

**Capítulo 2:** O conteúdo explora na revisão bibliográfica a filosofia *lean manufacturing*, a ascensão da empresa Toyota após a implantação do novo panorama e as principais ferramentas da produção enxuta empregadas em uma organização a fim de causar mudanças culturais. Este capítulo também contém conceitos técnicos alusivos a transformação do metal por meio do processo de tratamento térmico/termoquímico, os

principais mecanismos para elevar o tempo de vida de um componente mecânico, apresentação de alguns equipamentos implementados para processo de tratamento do metal e uma descrição das propriedades dos microconstituintes.

**Capítulo 3:** Aborda a história da empresa estudada, a localização geográfica, quantidade de funcionários e participação econômica. Menciona também o mercado de atuação, a contribuição para a sociedade, a missão, produtos de fabricação e os processos desenvolvidos.

**Capítulo 4:** Este capítulo fornece análise da situação atual do processo. É utilizada uma ferramenta da filosofia *lean* para o levantamento de dados, como: Mapa de Fluxo de Valor. São selecionados critérios para obter informações relevantes e em seguida eles são aplicados em cada fase da produção a fim de identificar as dificuldades.

**Capítulo 5:** descreve as etapas para implantação da melhoria, propostas do cenário futuro e apresenta ideias para eliminação de desperdícios. Este capítulo explica por meio do método de pesquisa-ação a intervenção direta no processo de maior perda a fim de ocasionar o aumento da capacidade fabril.

**Capítulo 6:** Insere o resultado das melhorias aplicadas no setor da fábrica estudada. Com base na análise dos dados coletados, os valores do desempenho são explicados. É elucidado levantamento do panorama atual e comparado com o proposto a fim de dissertar os ganhos com a implantação.

**Capítulo 7:** Este capítulo finaliza a pesquisa por meio da conclusão e recomendações. São expostas as principais dificuldades durante o estudo e como elas foram tratadas.

## **2. FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA**

As empresas que estão aderindo às exigências do mercado no que tange o produto e serviço estão se tornando cada vez mais sustentáveis no seu segmento. Nessa prática, a principal razão é a satisfação do cliente, pois ter somente qualidade deixou de ser um diferencial (Pompeu, 2014).

Embora as organizações estejam a potencializar os seus processos é necessário modernizar e surpreender o cliente. Por isso, Ohno (1988), propõe em não sobrepor o que ele fez em função da melhoria do mercado automobilístico japonês, porém ser criativo em momentos de necessidade. Isso torna as organizações menos passivas. Em outras palavras não somente identificar os procedimentos que obtiveram prosperidade, mas compreender o motivo pelo o qual ele teve êxito.

Nesse sentido, obter lucro para a sobrevivência é o ensejo comum de todas as empresas, entretanto adquirir uma boa relação com o cliente que é a garantia da permanência no mercado considera-se um desafio para toda a gestão (Lima, Tegner, Veit e Neto, 2015).

Muitas organizações se esforçaram no passado para realizar essa conquista. Entre notoriedades históricas, destaca-se a elaboração da filosofia Lean Manufacturing que foi oportunizada na década de 1950 após a crise da guerra no Japão. O seu maior objetivo era eliminar desperdícios e implantar melhorias (Jones, Roos e Womack, 1990).

O resultado foi próspero para as indústrias japonesas, sobretudo a montadora Toyota, que se tornou um diferencial no atendimento ao cliente e competitiva no segmento até então de hegemonia americana. A estratégia de enxugar a produção e identificar custos que não agregam valor colaborou na constituição de técnicas e ferramentas de inovação contínua.

### **2.1 Ascensão do Sistema Toyota de Produção**

A fabricante de maquinaria têxtil com o nome Toyota, modificou o ramo de fabricação e o seu nome para Toyota Motor Company em 1937 após mudanças na família fundadora. A partir desse período iniciou produção automobilística que logo fora interrompida com o advento da segunda guerra mundial em 1939 - 1945. O colapso na indústria Toyota manifestou greves, demissão e falta de verba principalmente para estocar ou produzir em massa como era o modelo de produção. Isso motivou repetidas peregrinações de gestores estratégicos a montadoras americanas (Womack, 2006).

As comparações deram início a um estudo do método de processo no sistema Fordista, uma vez que se tratava do recurso superior ao japonês no início da década de 1950. O mecanismo de produção desenvolvido por Frederick Taylor e Henry Ford empenhava-se na fabricação em larga escala, especialização de mão de obra e divisão de trabalhos. No entanto, foram observados diversos tipos de desperdícios nomeadamente em produção de grande quantidade homogêneas (Ohno, 1988).

As visitas eram realizadas na complexa fábrica Rouge da Ford a mais avançada do mundo na época, localizada em Detroit. A identificação de perdas no sistema Ford de produção culminaria no reconhecimento de gastos desnecessários na linha de produção da Toyota. Assim, o gestor Eiji Toyoda e o engenheiro Taiichi Ohno, o seu "gênio de produção", desenvolveram um novo modelo de fabricação que mudaria por completo o processo de produção automobilístico, chamado de Sistema Toyota de Produção (STP). A sua abordagem era conduzida inteiramente na eliminação de desperdícios e solução de problemas por meio de melhorias no processo produtivo (Jones, Roos e Womack, 1990).

Embora tenha existido resistência de gerentes e funcionários da produção na implantação do STP, após alguns anos, resultados positivos foram apresentados na Toyota Company. Produzir em lotes menores, autonomia de operadores de máquina, multifuncionalidade da mão de obra e organização do espaço de trabalho foram algumas das ações trazidas para o ambiente. No sistema Ford de produção quem tinha o poder de parar uma linha se encontrava em um cargo importante de decisão. Em relação ao STP a linha poderia ser paralisada todas as vezes que problemas de qualidade fossem detectados por qualquer operador (Ohno, 1988).

O custo com reparos e indenizações seriam maiores se fossem compartilhados com gastos da "não qualidade". Situações como desmontar todo um produto ou remover pintura corroboravam com desperdícios propostos pelo STP. Dessa forma, a nova metodologia de enxugar a produção não apenas apontava os empecilhos, mas remodelava o sistema a fim de erradicar o desperdício (Antunes, 2008).

Na atualidade todas essas conquistas estabeleceram a Toyota Company uma posição de multinacional de importância mundial. No ano de 2018 a empresa japonesa do ramo de fabricação automotiva ascendeu valores extraordinários de receitas de \$261 bilhões. As estatísticas apontam que no ano de 2017 o *market Share* nos EUA foi de 14,2% (Newsweek,

2018). Esses números demonstram a notoriedade da cultura de STP e a essência de extinguir gastos que não agregam valor ao produto.

## **2.2 Os Sete (7) Desperdícios da Filosofia *Lean***

O Segundo Gupta e Jain (2013), acabar com os desperdícios e produzir produtos de alta qualidade são os objetivos finais da filosofia *lean manufacturing*. Algumas organizações têm uma perspectiva diferente sobre o processo. Elas entendem que o valor do produto é definido pelo ponto de vista do cliente, quando na verdade é focado na eliminação dos desperdícios de uma organização, uma vez que esses definem a adição de custos inertes ao produto, tudo aquilo que o cliente não está disposto a pagar.

Para Tyagi et al. (2015), o desperdício ocasionam prejuízos infindáveis a uma empresa. Identificar os principais pontos de perdas não somente provoca melhorias como também conduz o encontro de outros grandes desperdícios antes não visualizados ou levantados inicialmente como pouco importantes.

Ohno (1988), admite que a eliminação de perdas, cria uma reflexão alusiva ao processo de fabricação. Considera-se que o aumento da eficiência é relevante apenas à diminuição de custos. Deve-se produzir mais com menos mão de obra. Nesse sentido, é importante avaliar o grupo de produção, pois ele determina todo o sistema.

Uma produção mais habilidosa concebe mais produtos com menos movimentos. Por isso, a implementação do STP está inerente à identificação dos gastos que não agregam valores e estão presentes em toda a volta (Pompeu e Rabaioli, 2014). Sendo estes de acordo com Ohno (1988):

- 1- Perda por superprodução: demanda de fabricação excessiva, desnecessária para o cliente. É comum e pode ser a causa de outros desperdícios.
- 2- Desperdício de tempo disponível (espera): Em função de insumos, ferramentas e demais fontes não estarem completas. Uma consequência disso é aumento do "*lead time*" e a produção empurrada.
- 3- Perda por transporte: Está relacionada a movimentações desnecessárias dentro ou fora da fábrica.
- 4- Desperdício por processo: são atividades mal formuladas que consomem tempo e procedimentos ilógicos para a fabricação do produto. Corresponde principalmente a falhas na formulação do processo pela Engenharia.

- 5- Desperdício de stock: a falta de planejamento eleva o stock de peças entre processos, bem como peças para manutenção de máquinas. Isso culmina em custos supérfluos na folha financeira.
- 6- Perda por movimentação: está intrínseca ao movimento do operador. Trata-se de atividades que não desenvolve o produto acabado. Existem também atividades que não são revertidos em lucros como monitorar e controlar processos.
- 7- Desperdício por fabricação de produtos defeituosos: conceito inerente a produtos fabricados fora da especificação e não atende os requisitos de qualidade que o cliente exige.

Segundo Moraes e Nogueira (2013), Investir em redução de custos com stock por meio da aplicação estratégica de estudo do menor deslocamento, bem como pronta entrega, torna a organização mais enxuta.

O desperdício é definido pelos indicadores de desempenho de um sistema de produção. O não cumprimento dos requisitos de um cliente é um desperdício, assim como o tempo inútil, stock parado e movimentos irrelevantes. Por isso para diminuir as perdas Ohno (1988), teve que direcionar o seu foco de melhoria nas atividades do sistema de entrega.

### **2.3 Just In Time**

Segundo Gupta e Jain, (2013), a técnica *Just In Time* (JIT), é um dos estudos de Ohno (1988), que se refere a uma ferramenta para encorajar as organizações a fabricar o que for necessário no momento certo e na quantidade exata. JIT sinaliza uma superprodução ou produção a mais do que for preciso, como também produzir antes da necessidade. Isso reduz o stock para uma quantidade mínima e melhora o fluxo de processo. JIT é conhecido como produção puxada é baseada no princípio de “nós produzimos apenas o que o cliente desejar puxar da estante do stock (Ohno, 1988)”, a produção puxada é oposta da empurrada.

Just in time não é apenas um princípio da manufatura enxuta, ela também deve ser um dos principais objetivos das organizações. Na prática o JIT tem sido frequentemente expresso como um sistema de gerenciamento holístico que visa reduzir o desperdício, maximizar a eficiência de custos e assegurar uma vantagem competitiva. Assim, várias condições adicionais são consideradas necessárias para implementação bem-sucedida do JIT. Estes incluem tamanhos de lotes pequenos, tempo curto de *Setup*, controle de qualidades

eficientes e efetivos. Talvez projetar todo o processo de produção para diminuir os retrabalhos e otimizar a eficiência de trabalho humanos e máquinas.

#### **2.4 Filosofia *Lean Manufacturing***

Womack (2006), afirmam que apenas uma pequena fração do tempo e esforço completos agregam valor para a produção e prestação de serviço ao cliente. Portanto é importante que uma organização enxuta defina claramente o valor durante os processos de produção do pedido do cliente ao eliminar gradativamente as atividades sem valor.

Existem diversos princípios do pensamento *lean manufacturing* que evoluíram ao longo dos anos as organizações. Muitas evidências mostram o quanto essas práticas foram significativas para a melhoria do processo e redução de custo, nesse contexto Rehman, Alkhatani, & Umer (2018), explica que é preciso:

Aumentar o valor da produção por meio da consideração sistemática do que o cliente pede. Não é a empresa que define o valor do produto, é o cliente que deve manter o negócio e aumentar o lucro da empresa ( Jones, Roos e Womack, 1990).

- 1- Reduzir as atividades que não agregam valor, também conhecidas como desperdício. Isso inclui diminuir ou simplificar o número de tarefas, peças e fluxos de produção. Deve-se trabalhar para o aumento da flexibilidade de saídas.
- 2- Empenhar-se no fluxo contínuo. Constitui em mudar a mentalidade separatista ou de divisão de departamentos da produção e de toda a equipe de apoio. Isso promove rapidez no atendimento ao cliente (Pompeu e Rabaioli, 2014).
- 3- Adotar a produção puxada. Essa prática não responsabiliza o cliente pelos pedidos de lotes maiores, uma vez que ele passa a puxar a produção, evita desperdícios com grandes stocks e problema de qualidade.
- 4- O conhecimento: ocupa a fase em que a comunicação, compartilhamento de ideais e suporte para formação de líderes se manifesta nas organizações mais efetivas quanto a implantação da filosofia *lean manufacturing* .

O processo de implantação gera estresse e resistência às mudanças. Mas são sempre bem vindas em diversos segmentos econômicos, uma vez que o foco da melhoria é independente do processo (Gupta e Jain, 2013).

## **2.5 As Ferramentas *Lean***

Ao longo dos tempos a cultura *lean* desenvolveu ferramentas para melhorar processos e trabalhar na eliminação de desperdícios. Silva e Laureano (2018), salienta que somente a filosofia *Lean* não é o suficiente para comprometer a equipe e promover resultados, pois as práticas e ferramentas são eficazes para que a filosofia *Lean* funcione dentro do chão de fábrica. Também Chiarini (2014), manifesta que a melhoria não está elencada ao número de ferramentas utilizadas, mas na implantação seletiva e apropriada de tais práticas é que são importantes. Cada técnica pode ser implantada em muitos níveis de dificuldades e em cada fase de implantação de análise para solução. Assim, as mais debatidas no sistema *Lean* são:

### **2.5.1 Kaizen**

O *Kaizen* é o termo japonês para “Melhoria contínua”. *Kaizen* é um trabalho onde todos os funcionários estão engajados na melhoria total do processo, sejam gerentes ou subordinados. Eles se deparam com atividades de remoção de desperdício em máquinas, mão de obra e produção (Gupta e Jain, 2013).

*Kaizen* é uma filosofia complementar que empodera os funcionários a realizar o trabalho de eliminar os desperdícios, projetar e implementar processos mais eficientes. *Kaizen* são simples, porém altamente focados e definidos para melhorias (Tyagi et al., 2015).

A utilização da melhoria contínua pode ser aplicada em vários segmentos, por exemplo Pakes et al. (2018), apresentou uma solução para eliminar desperdícios com manutenção de banheiros em shoppings center. Somente com a troca de papel higiênico de modo eficaz economizou 44% no período de um ano.

### **2.5.2 Kanban**

*Kanban* é descrito por um mecanismo de sinalização visual de necessidades da produção, isto é, o que deve ser produzido para reabastecer os materiais puxados pelo próximo fluxo do processo ou cliente final (M. H. Silva e Oliveira, 2016).

O termo *Kanban* é originalmente provido de uma palavra japonesa que significa “sinal visual”. Trata-se de um método que regulariza o lote de suprimento de uma fábrica por meio de sinais visuais baseados em cartões com cores em postos de trabalho. A cada momento em que o um posto de trabalho necessita ser reabastecido, ele envia um sinal luminoso ou

com cartões com cores ao posto anterior a fim de avisá-lo na movimentação das peças e assim continuar as atividades do seu processo (Gupta e Jain, 2013).

No que versa Tyagi et al. (2015), a finalidade do sistema de produção puxada também conhecida por “sistema *Kanban*” é de obter lotes de materiais medidos de acordo com a precisão sem integrar desperdícios, ou seja, é importante calcular a quantidade exata do lote em: stock entre processo (em inglês *work in process* de sigla *WIP*), componentes e etc. Dessa forma os materiais são “puxados” pelo o próprio processo. Depois que isso ocorre um sinal é enviado para cada etapa do processo anterior a fim de substituir o que foi tomado

### **2.5.3 Jidoka**

O *Jidoka* é uma palavra em japonês que significa “automação com toque humano”. Isso geralmente é ilustrado pelo exemplo de uma máquina que detecta um problema e para a produção automaticamente em vez de continuar a produzir peças defeituosas. Está é uma condição na qual é empregada a filosofia do STP que promove a ação onde todo o processo poderá parar até que todos os problemas de qualidade sejam corrigidos, uma vez que se torna mais caro fabricar peças nessas circunstâncias por não limitar o desperdício (Syed, 2014).

Gupta e Jain (2013) expressa que *Jidoka* é um dos pilares mais importantes do Sistema Toyota de Produção, pois a sua aplicação transforma a fábrica e ajuda a alcançar a verdadeira excelência. Com a prática de permitir que o sistema de controle supervisione a produção ao ponto de interromper qualquer processo imediatamente assim que um problema ou erro for detectado, poderá acelerar a identificação da causa-raiz.

Nesse contexto, Syed (2014), explica que a origem do *Jidoka* ocorreu em 1902, quando *Sakichi Toyoda* inventou um mecanismo simples, mas engenhoso. Ele detectou um fio quebrado na máquina de tear tecidos de sua antiga fábrica. Para não colocar um operador em cada posto de trabalho a fim de supervisionar a qualidade da produção, ele criou um dispositivo que realizava essa detecção e parava a máquina automaticamente. Esse desfecho proporcionou um melhor aproveitamento dos funcionários da produção, pois permitia que eles desempenhassem múltiplas atividades.

#### 2.5.4 Ferramenta 5S

Método visual e sistemático que envolve os colaboradores da empresa. O 5S é uma metodologia para organizar o local de trabalho e torná-lo adequado para a execução das atividades. Ele é aplicado em todos os departamentos (Pakes, 2018).

O 5S deve ser um esforço da equipe e os resultados devem permitir que cada um perceba de um jeito rápido o que está fora do lugar a fim de facilitar o trabalho. A implementação dos 5S ocorre em duas fases: inicial e detalhada. A inicial acontece na organização posto a posto para melhorar o fluxo, em seguida certificar se todos os recursos necessários estão colocados no lugar acessível. Na etapa detalhada ocorre uma limpeza sistemática onde os materiais úteis são rotulados e os que não são fundamentais são descartados, por fim procede-se uma padronização das atividades conjugada com a conscientização dos funcionários da organização (Ahmad et al., 2017). Os 5S são providos das palavras em japonês e possui os significados (Gupta e Jain, 2013):

**Seiri** – Senso de utilização: o primeiro passo, distinguir o que é indispensável e o que não é necessário e depois desfaz-se do último. Ele estabelece critérios e estratifica as prioridades.

**Seiton** – Senso de organização: passo seguinte que exerce a função de estabelecer um layout limpo para que se possa obter o máximo de aproveitamento do espaço. Ele aumenta a produtividade ao eliminar o desperdício de tempo em procurar coisas, uma vez que o armazenamento é funcional, pois possui identificação visual e fácil substituição.

**Seiso** – Senso de limpeza: é determinado por meio de um local limpo livre de lixos, sujeiras e materiais estranhos. É responsável pela inspeção da limpeza nos postos de trabalhos e equipamentos. Organiza ferramentas de modo sistemático em seu devido lugar.

**Seiketsu** – Senso de padronizações: após a eliminação da desordem através da dedicação nos três primeiros passos, o resultado é um local limpo e organizado. Porém somente com a padronização das atividades dos 5S é que garantirá a permanência das etapas anteriores. Essa fase ocorre a inclusão das responsabilidades aos funcionários nas rotinas de trabalho. Assegurar que todas as ferramentas foram guardadas no final do dia, a mesa foi organizada antes de ir para casa. São algumas das práticas que normaliza o ambiente. Independente do cargo na empresa, cada um deve fazer a sua parte.

**Shitsuke** – Senso de disciplina: a etapa final do processo é a disciplina e o treinamento do 5S. Para manter essa metodologia, todos os membros da empresa devem receber o mesmo nível de treinamento. As maiores lideranças devem evidenciar exemplos de modelos e

garantir que todos os colaboradores estejam participando. Ao fazer isso, todos os funcionários entenderão a importância do processo e verão o comprometimento da administração com a manutenção desse sistema.

### **2.5.5 Mapa de Fluxo de Valor**

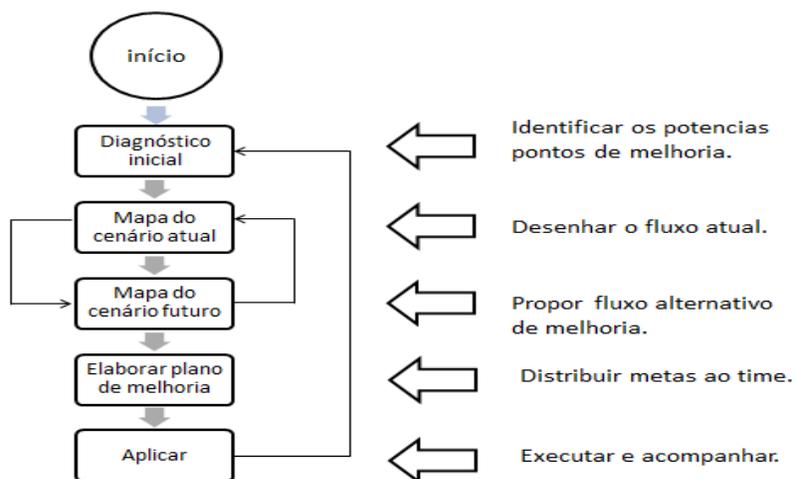
A sigla VSM constitui de uma palavra em inglês *Value Stream Mapping* e é definida em português por Mapa de Fluxo de Valor, Trata-se de uma ferramenta utilizada para mapear e visualizar a produção no chão de fábrica. O VSM poderá mostrar o cenário atual e futuro do processo de tal forma que realça as necessidades de melhorias contínuas. Por isso, o Mapa de Fluxo de Valor é adequado a expor os desperdícios atuais do processo fabril e criar alternativas de roteiro de fluxo de produção. A fase principal do processo é mostrada em conjunto com os dados relacionados o fluxo, qualidade, *lead time* (Intervalo de tempo) e taxa de capacidade relacionada ao Takt time (Syed, 2014).

Através de um formato de gráfico simples de entender, a condição futura pode ser demonstrada por diagramas que visam exibir o processo com as melhorias a fim de definir o método que motiva os participantes por meio de uma abordagem de equipe e mediante a coleta de dados de indicadores de desempenho onde os integrantes desenvolvem a sistemática de atividades críticas construtivas. dessa forma, eles são incentivados a sugerir melhorias e plano de ação (Jia et al., 2017).

Rehman et al. (2018), afirmam que um dos aspectos do Mapa de Fluxo de Valor é de aumentar o valor agregado do produto, pois este é o único preço em que o cliente está disposto a pagar, uma vez que incluir os gastos com desperdício promove o enfraquecimento da procura. Esse procedimento ocorre desde o momento em que o cliente faz o pedido até o seu recebimento final. O VSM é um tipo especial de fluxograma que representa a movimentação dos materiais e informações dentro de uma organização. Ícones específicos e símbolos conhecidos como “Linguagem Lean” são usados para mostrar cada etapa do processo que um determinado produto tem que passar, desde a compra de matéria prima até o ponto de entrega.

Muitas organizações que buscam conversões para produção “enxuta” percebem que trabalhar com melhorias sem uma metodologia não é o suficiente. Melhorias na produção criam outras melhorias, porém para obter o fortalecimento dos ganhos é preciso aplicar o

VSM, pois ele fornece visão e planos que conectam todas as atividades de melhoria. A figura 01 ilustra as etapas de formação.



**Figura 1** – Estágios e Finalidades do VSM. (Tyagi et al., 2015).

O primeiro passo é identificar um produto ou família de produtos para o qual o fluxo de valor será mapeado. Os produtos que passam por processos semelhantes dentro de uma fábrica podem ser agrupados e compartilhados ao mesmo VSM (Tyagi et al., 2015).

É através do cenário atual que é realizada a análise de cada atividade ou etapa de processo, após isso é elencado ao valor específico que sua etapa adiciona ao produto. De acordo com Silva e Oliveira (2016), comentam que existem atividades que acrescentam valor, outras que não agregam importância alguma, mas, são necessárias para a produção e uma terceira que adiciona valor ao produto. As atividades que não adicionam valor representam desperdícios puros e devem ser extintas completamente. Isso pode incluir tempo de espera, acúmulo de produtos entre processos e operações duplicadas. Já as atividades que não agregam valor, porém não se pode eliminá-las, integram o transporte de produtos de uma área para outra, desembalar o stock de chegada, mover ferramentas de uma mão para outra. Essas ações podem ser eliminadas apenas com alterações importantes no procedimento operacional, por exemplo, mudança de *layout* e entrega de peças individuais no recebimento, o que nem sempre será possível essa realização. As atividades que adicionam valor constituem-se daquelas que transformam a matéria prima ou peças inacabadas em produto, como o cliente deseja. Estes podem abranger operações de montagem, acabamento e pintura. A condição atual também compõem cálculo do *Takt time* a fim de averiguar o departamento ou posto de trabalho que ocupa maior tempo de produção (Rehman et al., 2018).

*Takt time* é um termo em inglês com tradução livre de “Tempo de Batida” ou “Taxa de tempo”. A produção usa o *Takt time* como quantidade de tempo em que o produto é concluído. Esse é um elemento vital no balanceamento do Mapa de Fluxo de Valor. O *takt time* é calculado dividindo a demanda diária total de unidades de produtos acabados pelo o número total de minutos de produção ou segundos de trabalhados em um determinado período.

A fórmula estabelece a seguinte configuração:

$$1 - \textbf{Takt time:} = \frac{\textit{Tempo disponível (horas por mês)}}{\textit{Demanda (unidade por mês)}}$$

Onde:

$$2 - \textbf{Tempo disponível} = QT \times HT \times DT$$

QD = Quantidade de turnos

HT = Horas de trabalho

DT = Dias de trabalho

$$3 - \textbf{Tempo} = \textit{Necessidade do cliente}$$

Supomos que seja necessário medir o *takt time* de uma linha de produção de um dado produto. Sua quantidade total do mês é de 50.000 peças. Ele deverá ser produzido em um turno de 8 horas durante 24 dias do mês. Assim a contagem ocorre na fórmula:

$$4 - \textbf{Takt time} = 1 \times 8 \times 24 / 50.000 = 0,0384 \text{ horas de unidade ou } 13,8 \text{ segs. por unidade}$$

Isso significa que em média o mercado precisa de 13,8 segundos para produzir cada produto, sendo assim o sistema têm que disponibilizar um produto a cada 13,8s, no mínimo.

O fator mais importante do VSM atual é o tempo de atravessamento em geral. Esse tempo é medido a partir do momento em que a produção de um produto é iniciada, até ser entregue ao cliente. Reduzir o tempo de processamento foi o maior objetivo de Taiichi Ohno (1988), ao projetar o STP. Esse tempo é o indicador mais preciso de como todo o fluxo de valor está funcionando. O tempo gasto para as atividades que agregam valor, em oposição ao tempo consumido sob atuações que nada acrescentam, também são observados, uma vez que o último será direcionado e avaliado a redução ou eliminação.

Quando o VSM do estado atual é concluído, o foco é nas possíveis melhorias do fluxo de valor atual para criar um VSM. Como mencionado anteriormente, dois princípios-chave para encontrar oportunidades de melhoria podem ser colocados em prática, essas são: reduzir ou

eliminar atividades que nada agregam valor entre elas estão o retrabalho e/ou armazenamento que devem ser extinguidas completamente, bem como os processos individuais que devem ser organizados para criar um fluxo contínuo. Estes são os dois métodos para uma produção e obter maior retorno, uma vez que eliminar os desperdícios torna o cliente satisfeito por causa da melhoria da qualidade e rapidez de entrega (Womack, 2006). As figuras 2, 3 e 4 apresentam os símbolos que projetam um Mapa de Fluxo de Valor e estão divididos em processo, comunicação e ícones gerais (Jia et al., 2017).

SÍMBOLO	DESCRIÇÃO
	<u>Símbolo de fornecimento externo</u> : representa o fornecedor extrínseco ao abastecimento da fábrica. No diagrama ele se localiza no canto esquerdo e fornece ao cliente no canto direito.
	<u>Símbolo de processo</u> : caracteriza por todos os processos, operações, máquina ou departamento através do qual o material flui.
	<u>Quadro de dados</u> : contem dados necessários para analisar e observar o sistema. Ele administra outros símbolos no sistema.
	<u>Estoque</u> : representa o estoque e o tempo entre processos.
	<u>Símbolo de emissão externa</u> : representa a periodicidade de entregas ao cliente ou fornecedor quando utiliza transporte externo via caminhão.
	<u>Supermercado</u> : representa o estoque fabril para planeamento da produção.
	<u>Símbolo de produção empurrado</u> : retrata o fluxo de material a ser "empurrado" para a próxima etapa.
	<u>Produtos acabados</u> : demonstrar o fluxo de produtos acabados.
	<u>Linha FIFO</u> : Estoque FIFO (Palavra em Inglês <i>first in first out</i> ). Usa-se esse símbolo quando os processos estiverem conectados a um sistema que limita as entradas e saídas. O primeiro que entra é o primeiro que sai.
	<u>Ícone de retirada de materiais</u> : o supermercado (Estoque) se conecta com a informação de processos futuros através do planeamento de produção e este símbolo indica a remoção física dos materiais do estoque.

**Figura 2** - Símbolos de materiais e processos da ferramenta do mapa de fluxo de valores. (Jia et al., 2017).

SÍMBOLO	DESCRIÇÃO
	<u>Bola para puxada sequenciada</u> : representa a produção imediata de um determinado lote de produção (Rother e Shook, 2008).
	<u>Planeamento "vá ver"</u> : Símbolo responsável pela regulação do plano de produção por meio da verificação visual (Rother e Shoker).
	<u>Operador</u> : representa o funcionário da organização no processo, bem como o número necessário dos mesmos.
	<u>Símbolo de explosão Kaizen</u> : destaca a necessidade de melhoria no processo e planeamento de reuniões com times específicos de aprimoramento.
	<u>Ícone de estoque de segurança</u> : representa um pulmão de segurança e tem por objetivo proteger o pedido de clientes contra flutuações ou problemas adversos (Rother e Shook, 2003).

**Figura 3** - Ícones de comunicação representados no mapa de fluxo de valores. (Jia et al., 2017).

SÍMBOLO	DESCRIÇÃO
	<u>Sinal de Kanban</u> : utilizado para avisar que os níveis de estoque entre processos está baixo e precisa de reposição.
	<u>Kanban de produção</u> : símbolo que representa a quantidade que deve ser produzida.
	<u>Ícone de posicionamento de Kanban</u> : trata-se do local onde será residido o sistema de cartões do kanban.
	<u>Fluxo de informação manual</u> : seta que caracteriza o movimento das informações relevantes como ordem de produção, relatórios de desempenho e memorandos.
	<u>Fluxo de informação eletrônica</u> : representa a passagem eletrônica de dados, como em internet, intranet, redes de área local e de longa distância.
	<u>Símbolo de nivelamento de carga</u> : é uma ferramenta para agrupar kanbans e balancear várias produções durante um determinado período.

**Figura 4** - Ícones gerais representados no mapa de fluxo de valores. (Jia et al., 2017).

Outro passo para melhorar o fluxo de valor na condição atual é nivelar a saída do fluxo. Um mapa de fluxo de valor pode precisar ser dividido em vários fluxos de valores menores para acomodar produtos com diferentes necessidades de processamento de maneira mais

apropriada. O ponto inicial do fluxo são as ordens de fabricação. Esse ponto deve ser identificado, depois um stock padrão é atribuído a ele, e isso permite que as variações de processo incontroláveis operem sem problemas. O fluxo do primeiro que entra é o primeiro que sai são utilizados em conjunto com o a produção puxada. Tudo isso finaliza quando os produtos montados, estocados e acabados são demonstrados no VSM (Ahmad et al., 2017). Após o estudo um novo mapa de valor é apresentado e as operações do fluxo são ajustadas de acordo com os seus objetivos. A implementação é almejar um resultado na redução do tempo, de custo e melhoria da qualidade. As consequências das ações de sua implementação para alcançar um estado futuro torna-se um elemento muito importante, pois o mapeamento múltiplo do mesmo fluxo de valor pode ser descoberta outras fontes de desperdícios a serem eliminadas. Portanto uma melhoria contínua pode ser realizada com muito sucesso com a utilização do Mapa de Fluxo de Valor (Krolczyk, Legutko, e Szczepańska, 2017).

## **2.6 Processo de tratamento térmico/termoquímico**

Para compreender melhor o tratamento térmico/termoquímico de peças é preciso buscar na técnica de modificação das propriedades dos microconstituintes do ferro, aço carbono ou liga a finalidade do processo. Por isso, Zambaldi et al., (2017), afirmam que as indústrias automobilísticas estão buscando técnicas aprimoradas de tratamento do metal a fim de aumentar a eficiência dos seus produtos e o controle dos seus processos. Avanços tecnológicos no método de medição, instrumentos de diagnósticos, sensores, atuadores que não apenas amplificam a identificação das propriedades do material e suas ligas, como também contribuem para novos desenvolvimentos de recursos de fabricação. No entanto, o aço ainda continua sendo o material mais utilizado na indústria automobilística devido ao seu baixo custo, disponibilidade no mercado, capacidade de reciclagem, resistência e versatilidade.

O uso dos ferros ligas de carbono expandiu-se em conjunto com as diferentes formas de tratamento térmico que podem elevar a vida útil do aço. Este processo é fundamental para esse setor, porque as peças possuem formas geométricas diversificadas e são utilizadas em muitos sistemas mecânicos. O tratamento térmico/termoquímico ocasiona endurecimento seguida de um alívio de tensão. As peças adquirem uma certa dureza e assumem as propriedades mecânicas finais (Zambaldi et al., 2017).

O tratamento térmico constitui no aquecimento seguido de resfriamento de um metal sólido ou liga de tal modo a obter condições ou propriedades desejadas. O aquecimento sem nenhum objetivo não se insere nessa definição (ASM, 1991).

As ligas metálicas são capazes de melhorar a sua qualidade através dos processos de termoquímico. Esses tratamentos são fundamentados na mudança localizada na propriedade química da superfície da peça. Ela ocorre em altas temperaturas e tem por objetivo aumentar a dureza superficial e preservar o núcleo dúctil (Carla e Santos, 2007).

Os tratamentos térmicos mais utilizados no segmento de automóveis são: recozimento, normalização, têmpera, revenimento, coalescimento, austêmpera e martêmpera. No que tange o processo termoquímico os mais conhecidos são: cementação, nitretação e carbonitretação (Metals Handbook, 2004). Alguns desses processos mais relevantes serão aprofundados.

### **2.6.1 Cementação**

Processo que ocorre geralmente em peças de baixo teor de carbono entre 0,008 a 0,25% e ocasiona o endurecimento da superfície por meio da formação de uma camada de carbono dissolvida em temperaturas suficientes para tornar o aço austenítico, seguido de têmpera e revenimento a fim de produzir uma microestrutura martensítica. A diferença de temperatura resultante causa um gradiente na dureza entre a superfície e o núcleo da peça. A camada cementada é forte, resistente ao desgaste por fadiga e contato entre duas peças. O processo de cementação a gás é preferencialmente conhecido no comércio por existir diversos equipamentos que executam esse processo, são considerados baratos na categoria. A fonte da cementação a gás é uma câmara de forno rica em gás carbônico produzida a partir de hidrocarbonetos gasosos, por exemplo metano (CH<sub>4</sub>), propano (C<sub>3</sub>H<sub>8</sub>), e butano (C<sub>4</sub>H<sub>10</sub>), (ASM, 1991). Esses gases são também vendidos no comércio e utilizados pelos fornos de cementação como gás liquefeito de petróleo (GLP) ou gás natural (GN).

Segundo Drehmer, Gerhardt, & Missell (2013), a cementação acontece em temperaturas que atingem condições críticas na presença de gases carbonosos e a profundidade da camada depende diretamente de exposição da peça e o tempo permitido para essa reação. Em geral a absorção de carbono em ligas ferrosas provoca a mudança superficial do percentual de carbono e torna-o mais duro que o núcleo.

### **2.6.2 Têmpera**

A Têmpera do aço consiste em um aquecimento a altas temperaturas e resfriamento rápido. Como resultado as peças de produção devem desenvolver microestruturas aceitáveis em toda a sua geometria. As propriedades mecânicas encontradas também precisam atender o mínimo especificado para ser conduzido ao processo seguinte, o revenimento. Frequentemente esses tipos de processos ocorrem com água, óleo ou em resfriamento forçado no ar (Drehmer et al., 2013).

O resfriamento de peças de metal em velocidades instantâneas. Tipicamente saem da temperatura de autenitização, dentro da faixa de 815°C a 870°C para aço. A maioria desses materiais seja aço carbono, liga ou ferramenta recebem resfriamento a fim de adquirir quantidades controladas de martensita na microestrutura. O endurecimento bem-sucedido geralmente significa alcançar a microestrutura, dureza, resistência ou tenacidade precisa. Minimizar o estresse residual, a distorção e a possibilidade de trincas ou fissuras na superfície da peça são metas cruciais para esse processo (ASM, 1992).

A têmpera direta ocorre por meio da queda brusca de temperatura, usualmente em ferros fundidos ou em alguns aços ferramentas. Para o processo de têmpera por tempo o resfriamento acontece em dois estágios, o primeiro lento e o seguinte com taxas rápidas de resfriamento, com e sem elementos, ligas de baixo carbono, geralmente seguida do processo de cementação (Drehmer et al., 2013).

### **2.6.3 Revenimento**

Trata-se de um processo que sucede a têmpera ou a normalização do aço. Ela decorre em temperaturas abaixo da crítica (autenitização), é resfriada logo em seguida. O aquecimento aumenta a ductilidade e tenacidade, bem como o tamanho de grão da matriz. Aços revenidos após o endurecimento adquirem valores de durezas específicas nas propriedades mecânicas, alivia as tensões da têmpera e garantem a estabilidade dimensional (ASM, 1991). Uma peça de aço pode ser endurecida por têmpera e se ela for destinada a esforços elevados por contato ou durezas extremamente altas não haverá problemas para a execução dos seus serviços, caso contrário, fenômenos catastróficos podem ocorrer, pois a peça temperada geralmente se torna frágil e quebradiça. De fato, poucos aços entram em uso quando estão totalmente endurecidos por têmpera. Esta fragilidade por ser reduzida pelo processo de revenimento (Bo et al., 2013).

Alguns materiais com adição elevada de elementos de liga como: cromo, níquel e molibdênio requerem maior faixa de temperatura empregadas geralmente entre 400°C a 670°C (Teagho et al., 2018).

Na condição de resfriamento o aço temperado consiste em microestrutura de martensita na superfície, comumente com um pouco de austenita retida e núcleo de perlita e ferrita. Após o revenimento a superfície concebe agulhas de martensita menores, a porcentagem de austenita retida diminui em função da sua decomposição e em algumas situações a matriz de ferrita aumenta no núcleo (Bo et al., 2013).

#### **2.6.4 Shotpeening**

Processo de endurecimento superficial e alívio de stress residual na peça de aço por meio de arremessos de grãos de granalha ou feixe de luz a laser. Os grãos de granalha geralmente são angulares ou arredondados, essa opção está relacionada ao tipo de resultado desejado. Ela ocasiona pequenos esmagamentos superficiais e aumenta a rugosidade. Na morfologia o grão de austenita torna-se compacto, menor e irregular, além de limpar toda a extensão dos resíduos de tratamento térmico como fuligem ou carepa (Child, West, e Thomson, 2011).

*Shotpeening* com granalha de metal trata-se basicamente de jatos de granalhas de tamanhos específicos que comprimem a superfície da peça de aço a fim de diminuir as tensões residuais formadas pelos processos anteriores como conformação do aço, acabamento e tratamento térmico, pois ao final de cada um desses processos, uma tensão de tração é concebida, com o impacto dos grãos de aço uma outra tensão é formada, a de compressão. As duas tensões formulam um equilíbrio, pois a força residual da peça é diminuída. Esse fenômeno auxilia na prevenção de fissuras e trincas. Estudos revelaram um aumento do tempo de vida útil das peças jataadas. Componentes de motores e estruturas de aeronaves obtiveram um ótimo desempenho (Toparli, Yurtdas, e Kılınçdemir, 2018).

#### **2.6.5 Propriedades mecânicas do aço**

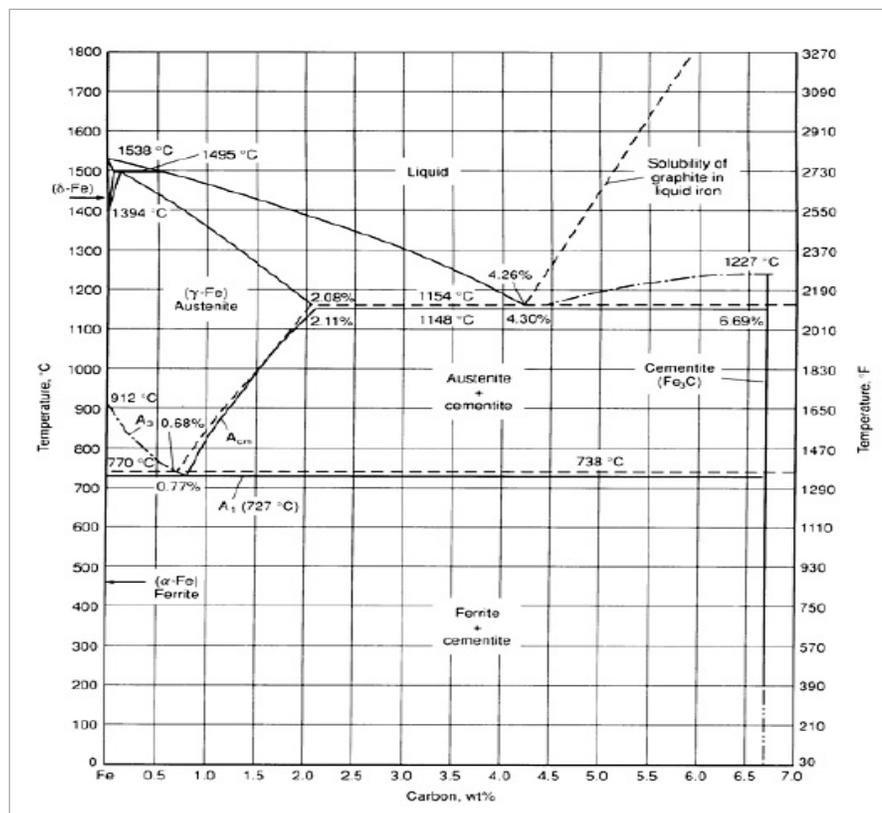
A necessidade de uma correlação mais fundamental entre a microestrutura dos materiais de aços levou a um aumento de interesse na compreensão da natureza básica das transformações de suas propriedades mecânicas no momento do processo de tratamento térmico/termoquímico. Muitas indústrias controlam a nova formação morfológica

microestruturas de suas peças a fim de identificar a qualidade dos seus produtos, bem como a realização de melhorias.

Assim, para que os processos ocorram durante o tratamento térmico do aço, é necessário ter algum conhecimento das propriedades mecânicas microestruturais do mesmo em várias condições. Portanto o resumo define nas etapas.

### 2.6.6 Ferrita

A ferrita constitui de uma forma de ferro na qual outras propriedades podem estar em conjunto com a sua microestrutura. É geralmente mais mole por dureza baixa, muitas vezes apenas um pouco mais rígida que o cobre. Na condição de ferro puro é estável a temperaturas de até 911°C e possui ponto de fusão após 1392°C, como mostra a figura 5, é conhecido como ferro alfa e gama respectivamente.



**Figura 5** - Diagrama de equilíbrio de ferros e aços.

A linha contínua representa o aço carbono (Fe-Fe<sub>3</sub>C) e o tracejado ferro grafite (ASM, 1992).

A ferrita possui uma coloração branca e formatos de grãos espessos. Concentra-se na fase alfa ou gama por designar em ferrita e austenita. Embora a austenita em alguns aspectos

seja parecida com a ferrita, a diferença que ela é capaz de dissolver muito mais carbono que a ferrita, pois ela pode conter até 2,11% de carbono, oposto da ferrita que possui apenas 0,025% (ASM, 2004).

### **2.6.7 Perlita**

A descrição da propriedade do aço perlita, foi registrada pela primeira vez por Sorby em 1984 como sendo um composto de lamelas alternadas de carboneto de ferro duro e ferrita. Quando um aço eutetóide (um aço contendo de 0,80% de carbo) é resfriado a uma temperatura de 850°C para 750°C de acordo com o diagrama de ferros e aços (fig.05) nenhuma transformação ocorrerá.

Entretanto, se a temperatura baixar para 650°C então haverá formação de perlita. Abaixo da temperatura de eutetóide com a perda gradativa de calor, as lamelas de perlita se tornam cada vez mais finas e a estrutura mais dura. Na condição de um aço hipoeutetóide (inferior ao eutetóide) por exemplo, com cerca de 0,4% de carbono exposto em temperaturas de 750°C apenas a ferrita se separará da austenita e o equilíbrio é estabelecido entre elas. Muito embora, quando a transformação ocorre a 650°C a ferrita se dissocia primeiro, seguida da formação de perlita a um breve intervalo de tempo. No caso dos aços hipereutetóide (superior ao eutetóide), a cementita separa primeiro, seguida pela perlita. Em um outro ponto de vista da reação de perlita do aço, entende-se que a cementita e a ferrita atuam como parceiros iguais na formação da perlita e qualquer um pode ser o núcleo ativo.

### **2.6.8 Bainita**

A reação da bainita acontece com um mecanismo de mudança de precipitação de carboneto. Esse procedimento transcorre a temperaturas abaixo de 550°C a bainita começa a se separar ao longo da perlita. A sua formação inicia em núcleos de ferrita e crescem ao longo das plaquetas dos limites de grão. O teor de carbono da austenita aumentam continuamente e quando atinge um valor limite, as plaquetas de cementita se formam em justaposição com as plaquetas de ferrita. À medida que a temperatura cai, a bainita produz a nucleação no interior dos grão e nos seus contornos. Simultaneamente o modelo de formação muda. Com o uso do microscópio metalográfico pode ser difícil diferenciar a Bainita de outros constituintes, já que ela altera a sua aparência de acordo com a sua

formação e composição da microestrutura do aço. Dependendo da temperatura de formação a Bainita pode ser classificada como superior ou inferior. A Bainita superior é relativamente frágil, o contrário da inferior que é resistente (ASM, 2004).

### **2.6.9 Martensita**

O termo martensita foi aplicado na década de 30 em microestruturas a circulares formadas no resfriamento de certas ligas de cobre agora é comum encontrar a expressão em estruturas de metais puros ou ligados, como titânio, cobalto, urânio e até mesmo lítio. A cristalografia, a cinética de crescimento e as propriedades das diversas microestruturas analisadas, podem ser muito diferentes, de fato, a única semelhança entre elas é que ocorrem por uma reação de martensita.

A transformação é sem difusão de nenhuma molécula, o que significa que o estágio principal não tem diferenças de composição, por exemplo os materiais com ou sem elemento liga, se transformam em martensita após o processo de resfriamento rápido.

A reação começa após rápida queda de temperatura, como em processos de têmpera que estão abaixo da temperatura eutetóide, conhecida como martensita inicial. Essa fase geralmente é sustentada por aços com adição de elementos ligas, pois eles formam carbonetos na mesma matriz de martensita oposto a aços com menos liga que chegam a atingir matriz próximas de martensita final.

A martensita ocorre por um processo de cisalhamento que forma placas de cristal único (ou as vezes ripas). Restringir por meio do processo de resfriamento as extremidades dessas placas resulta em produtos lenticulares. A martensita tem uma forma "a circulada", isto é, em forma de agulha. Elas são mais duras que outras estruturas.

### **2.6.10 Fornos e equipamentos de indução**

A fim de alcançar uma qualidade de produção mais arrojada as indústrias investem em tecnologia e equipamentos de tratamento térmico cada vez mais inovadoras. Fornos e indutoras são máquinas que estão adquirindo paulatinamente dispositivos de controle precisos, automação e menores problemas com impacto ambiental negativo (Zambaldi et al., 2017). Para o processo de estudo, será necessário desenvolver apenas três classes de equipamentos, entre eles: os fornos batch, contínuo e equipamentos de indução.

São utilizados comumente dois tipos de categoria de fornos: os tipos *batchs* e os contínuos. Fornos tipos *batchs* são normalmente manuais no carregamento e descarregamento de lotes de peças. Consiste em um formato básico com uma câmara isolada por manta e alvenaria fabricada com materiais resistentes ao calor, carcaça de aço reforçado, sistema de aquecimento, uma ou mais portas de acesso para cada câmara. Fornos padrão compostos por duas salas de aquecimento, elevador, tanque de resfriamento e sistema de deslocamento do lote de uma câmara para outra, são utilizados amplamente para ciclos com variadas temperaturas. O uso desses equipamentos requer geralmente mão de obra notória para montar lote, manusear, carregar e descarregar cestos de peças. Isso impacta em altos custos e por possuir muito contato humano os riscos de erros são maiores.

Os fornos contínuos possuem as mesmas configurações básicas dos fornos *batchs*, como: câmaras de aquecimento, tanque de resfriamento, portas de acesso e conjunto de aquecimento. Porém, esses fornos operam em ciclos ininterruptos à medida em que a peça se desloca dentro dele. Os fornos contínuos são adaptáveis a automação, portanto quase sempre são utilizados para produção em massa. São os casos de fornos de cementação contínua tipicamente preferidas para cargas de produção que extrapolam 180kg ou para processos que exigem tratamento contínuo de 24 horas (ASM, 1991).

O equipamento de indução de peças de metal ocorre por um processo eletromagnético e geralmente executam tratamentos térmicos como têmpera e revenimento (Das, Mukhopadhyay, e Bhattacharyya, 2015). Entretanto ao contrário dos fornos, esses equipamentos possuem ciclos rápidos, sempre abaixo de um minuto (Wang & Chen, 2017).

Bobinas de indução são utilizadas para esse trabalho. Correntes alternadas passam por bobinas de tubo de cobre e criam um campo magnético altamente concentrado. A força desse campo depende principalmente da magnitude da corrente que flui na bobina. O campo magnético é estabelecido e induz um potencial elétrico na região a ser aquecida. Essa área corresponde a um circuito fechado, por isso a tensão induzida provoca o fluxo de corrente e esquenta a peça. Vale ressaltar que o desenho ou formato da bobina são fatores que exercem forte influência no tempo e poder de aquecimento. Pode-se ainda citar a geometria da peça, matéria prima e número de peças a serem produzidas (Chiaverini, 2008).



### **3. INFORMAÇÕES DA EMPRESA PEQUISADA**

A empresa a ser estudada será chamada por um nome fictício de indústria X. Ela foi formada por capital social do próprio grupo. Se localiza no Polo Industrial de Manaus/Amazonas-BR, é fabricante dos conjuntos de transmissão e outros componentes mecânicos para motocicletas. Segmento de mercado do grupo no âmbito nacional: automobilístico (duas e quatro rodas) com o fornecimento de peças e componentes que compõem a motocicleta / automóvel. Iniciou-se na parceria com a uma fabricante e líder de mercado no polo de duas rodas. Conquistou novos clientes no polo de 4 rodas em paralelo à crise econômica no país, tem buscado novos mercados para suprir as suas necessidades de sobrevivência, inclusive na fabricação de peças de outros segmentos.

#### **3.1 Breve história da indústria X**

O fundador era filho de camponeses e migrou para a cidade de Tóquio (Japão) a fim de realizar o sonho de estudar na universidade da então megalópole japonesa. Durante os seus estudos ele se empregou em uma fábrica de peças para avião e nesse momento iniciou uma carreira sólida até o momento em que a empresa declarou falência. No outono de 1937 ele resolveu investir toda a sua poupança com objetivo de reabrir a fábrica, contou com a ajuda dos seus colegas da administração e operadores de máquina da produção sem garantias de retorno financeiro. Em abril/1938, reinaugurou a empresa com outro nome e apenas um tipo de produto para produção: peças de carburador para aeronaves. Em janeiro/1944 próximo do advento da segunda guerra mundial, ela foi incorporada como empresa pública (administrada pelo poder público japonês). Depois de resistir a crise da segunda guerra, a organização mudou de mercado em setembro/1956 para produção e venda de peças no ramo de duas rodas. Tornou-se sociedade limitada em setembro/1963. Em maio/1966 lançou a produção de suas próprias matrizes de peças forjadas. Em dezembro/1967 empreendeu o desenvolvimento do pivô de direção para veículos automotores (4 rodas) que permitiu realizar até novembro/1961 o desenvolvimento da engrenagem cônica. Em julho/1978 fechou acordo para fornecimento do pivô de direção para montadora FORD. A mudança de mercado em virtude da exigência da clientela e o avanço tecnológico promoveu em abril/1982 as atividades de CCQ (Círculo do Controle da Qualidade) no qual possibilitou melhorias no processo e produto. Em setembro/1984 iniciou-se a produção de comandos de

válvula para veículos automotores (4 rodas). Em junho/1989 deu abertura a fabricação de peças forjadas de alta precisão, pois o corpo técnico tornou-se mais experiente. Em dezembro/1998 iniciou a venda de ações de balcão na JSA (*Japan Securities Association*). Em 1997 estabeleceu uma unidade fabril no Brasil, no Estado de Pernambuco. E em março/2003 fundou a unidade em Manaus/AM. Em setembro/2008 foi fundado o Centro de Pesquisa Global do grupo. Nesse período a participação de universidades e instituições de pesquisa proporcionou maior conhecimento e contribuição na reengenharia de peças. Em junho/2016 comprou a empresa concorrente no mercado europeu. Permanece até o momento, fabrica peças e desenvolve novos modelos.

### **3.2 Indústria X em Manaus/Amazonas**

A empresa tem parceria com a líder de mercado. Concorre com outras unidades do grupo (unidades da Ásia principalmente), devido ao seu baixo custo-peça. Outras empresas fabricantes de motocicletas possuem fornecedores (concorrentes da indústria X) em seus países de origem (Ásia). O elevado custo no Brasil impede momentaneamente dela disputar mercado com os fabricantes fora do país.

Os principais fornecedores, são: peças estampadas, origem nacional: São Paulo e importada: Índia. Forjados, todos importados da Índia e Japão. Aço, nacional: Santa Catarina e importado: Japão. Fundidos, nacional: Santa Catarina. Serviço de tratamento superficial (zinco e fosfato): fornecedor local.

A mão de obra é efetiva com 418 pessoas e a organização por departamento se dispõe conforme tabela 1. A empresa fabrica peças para pelo menos 25 modelos de motos. Possui 2 clientes que trabalham com montagem completa desses veículos e eles se localizam na mesma região. São responsáveis por 78% do mercado de vendas Brasil. A Indústria X foi instalada como filial no Amazonas por motivo de necessidade de produção rápida e com pouco stock de seus clientes.

Mesmo com a crise que atingiu a economia no Brasil em 2008 e 2016 a empresa X se manteve resistente. Aproveitou a instabilidade para realizar alguns investimentos, como o desafio de ser a primeira empresa a adquirir o processo de forjado a quente na região norte e a segunda a obter a prensa de forjado a frio no âmbito nacional. Essa ação tornou ousada pois a organização X dispôs-se a pagar um valor significativo para sua sobrevivência, porém

em pouco tempo alcançou o equilíbrio financeiro, pois a demanda elevou-se em função da procura dos países do MERCOSUL.

**Tabela 1 – Organograma da empresa X em Manaus/Amazonas.**

Diretoria	Gerência	Setores	Quantidade total de colaboradores no departamento
Diretor-Presidente	Comercial	Comercial	3
	Administrativa	RH	7
		SESMT	2
		Governança Corporativa	3
		Informática	2
	Controladoria	Contabilidade	6
		Financeiro	2
	Produção	Produção	271
		Manutenção	29
	Técnica	Grupo Técnico	4
		Engenharia	13
		Ferramentaria	17
		Afiação	3
	Operacional	PCP	7
		Almoxarifado	9
		Compras	4
		Controle de Alimentação	4
		Expedição	6
Qualidade	CQ	24	
	SGL	5	

### 3.3 Produtos Fabricados na Empresa X

Os produtos que a fábrica executa são as principais peças do motor do veículo de duas rodas. Dentre elas estão: Conjunto de transmissão, Virabrequim, Biela, Eixo Pedal, Eixo Balanceiro, Tambor seletor e Comando de Válvula. Ao todo são 17 produtos que se estruturam com a seguinte configuração:

**Conjunto de Transmissão:** formado por componentes como eixo principal que possui forjado no seu corpo a engrenagem de primeira marcha e eixo secundário na qual é montado em sua estrutura a engrenagem de primeira marcha. As engrenagens da segunda até a quinta marcha que são distribuídos em ambos os eixos de transmissão. Dessa forma o conjunto é composto por dois eixos e dez engrenagens. Esses componentes são responsáveis pelo veículo entrar em movimento.

**Tambor Seletor:** peça fundida que comunica o conjunto de transmissão por meio do acionamento de troca de marchas no motor.

**Virabrequim:** componente mecânico forjado a quente. Transforma o movimento alternativo do pistão (sobe e desce) em movimento rotativo e transmite a força do pistão para o câmbio.

**Eixo Pedal de Partida:** tem a atribuição de auxiliar na partida do motor, após ser montado no conjunto de partida.

**Biela:** é uma peça forjada que possui a função de conduzir os movimentos alternativos do pistão para o virabrequim, ou seja, serve como conector entre os dois componentes.

**Eixo balanceiro:** Peça forjada que trabalha em conjunto com o comando de válvulas e tem o objetivo de fechar e abrir contato mecânico entre o movimento de peças no motor.

**Comando de Válvula:** aciona o sistema de admissão e escape do motor, ou seja, controla o tempo de acionamento exato do movimento.

### 3.4 Fluxo de Fabricação da Empresa X

Os produtos são processados em diferentes setores. Alguns componentes são adquiridos pré-formado por fornecedores externos. Dessa maneira a lógica de produção ocorre de acordo com a figura 6.

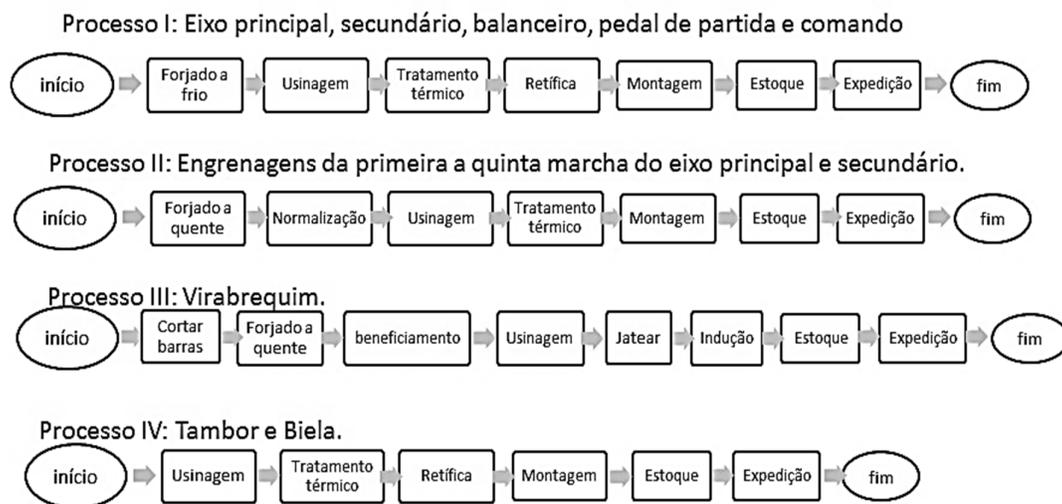


Figura 6 - Processos de fabricação dos produtos da empresa X.

Os processos ocorrem em dois cenários, o primeiro em setores de produção diferentes com outros equipamentos e o segundo no mesmo setor com a utilização das mesmas máquinas. Inicia-se a descrição com a produção de departamentos diferentes e máquinas distintas. A figura 6 está a Ilustrar o Processo I, onde ocorre a fabricação de eixos principais, secundário,

balanceiro, pedal de partida e comando de válvulas. Sua matéria prima é comprada do fornecedor no Japão e são abastecidas em forma de bobinas de aço. São acumulados em stock de 3 meses. Após a aquisição os pedidos são lançados e colocados nos processos.

**Forjado a frio:** É utilizado uma prensa de modelo BPF- 680SSL da empresa SAKAMURA. A bobina de aço entra em um orifício da máquina e é cortada por uma guilhotina. Seguindo isso, a barra é conformada em 6 estágios. A máquina dispõe de um impacto horizontal e a matriz molda peças com variações de  $\pm 0,05\text{mm}$  da especificação.

**Acabamento:** As peças são usinadas de acordo com as medidas e exigências do cliente.

**Tratamento térmico:** Os produtos são cementados, temperados e revenidos. Depois são levados para o processo de *shotpeening* na máquina de jatear. Eixos principais recebem revenimento por indução na região da rosca e ambos os produtos finalizam na correção de empeno das distorções térmicas por meio das máquinas de desempenho de eixo.

**Retífica:** Todos os modelos são retificados conforme desenho do cliente.

**Montagem:** O processo de montagem do conjunto de peças ocorre em 5 postos de trabalho. Os funcionários coletam e enviam as peças com os subprodutos para o próximo posto até chegar na inspeção final, sendo este o último estágio.

**Stock:** Os modelos são separados em caixa e paletes, em seguida armazenados em um galpão separado do ambiente de fabricação. A quantidade de peças atende cerca de 3,5 dias de produção do cliente.

**Expedição:** O pedido é lançado e o produto é expedido diariamente conforme solicitação do cliente.

O **Processo II** a produção de engrenagens começa com a compra de barras redondas de aços. O fabricante se situa no estado de Santa Catarina/BR, o stock atende 1 mês de pedido. O recurso é transformado com as etapas:

**Forjado a quente:** é executado por uma prensa de 900Kg de capacidade de prensagem. Modelo SK900 da empresa MAHNKE. A barra de aço entra em uma câmara de bobina de indução onde recebe calor por ondas eletromagnéticas de até  $1100^{\circ}\text{C}$ . Após isso, a barra entra na prensa mecânica. O movimento de peças é feito manualmente e a prensagem é vertical. Possui 2 estágios até atingir a etapa de peça forjada.

**Normalização:** procedimento ocorre em um forno contínuo modelo FETT-76/731/30 da empresa COMBUSTOL, capacidade 600Kg/h. As peças após serem conformadas são expostas a uma temperatura de  $840^{\circ}\text{C}$  por 45 minutos.

**Acabamento:** Todas as engrenagens são usinadas em 3 tornos até o procedimento de posicionamento de peças em cestos de tratamento térmico.

**Tratamento térmico:** As engrenagens da segunda marcha do eixo principal, primeira e segunda marcha do eixo secundário são cementados. As demais como as da terceira até a quinta marcham são carbonitretadas. Todas passam por têmpera e revenimento. Esse método ocorre em fornos contínuo de modelo S-TF-100 da fabricante japonesa de DOWA.

**Montagem:** A inserção de engrenagens acontece no eixo principal e secundário. Testes de engreno são realizados, após o término da montagem.

**Stock:** As peças são acumuladas por 3 dias.

**Expedição:** De acordo com a ordem do cliente.

O **Processo III** do produto virabrequim, inicia por meio da compra de matéria prima da empresa produtora de barras de aço em Santa Catarina/BR. O stock é mantido por 2 meses de produção e segue a sequência de:

**Cortar barras:** Processo realizado por uma máquina de corte de barras de aço modelo NCH-70N da empresa Nishijimax. Os tarugos são mantidos com pesos aproximados de 1620g e medidas de 52x95mm.

**Forjar a quente:** Os tarugos são transportados por uma indutora que aquece o material a temperaturas 1200°C a 1270°C. A conformação do virabrequim é concebida em uma prensa de impacto vertical com capacidade de 1600ton, modelo CF 1600 automática da empresa Kurimoto. A sistemática procede-se em 4 estágios.

**Beneficiamento:** As peças após conformação caem em um tanque de óleo de têmpera tipo 125N da empresa Daido Química e permanecem por 15min. Após isso, elas são transportadas por uma esteira para um forno contínuo a gás modelo VF 1193-C da fabricante Combustol. Capacidade 1470Kg/h e temperatura de trabalho a 670°C por duas horas.

**Jatear:** O processo realiza a limpeza superficial e remoção de carepa através da máquina de jatear modelo SNB 50 da fabricante sinto e utiliza o recurso granalhas esféricas tipo S390 da mesma empresa.

**Usinar:** O procedimento realiza a remoção de sobremetal e garante as medidas solicitadas pelo cliente.

**Indução:** A região da haste do virabrequim é parcialmente induzida no processo de têmpera e revenimento. Ele eleva a resistência e dureza e superficial. O equipamento é uma indutora modelo HSP12 150KW da fabricante *Inductotherm Group*.

**Stock:** Atende um pedido de até 3,5 dias dos clientes.

**Expedição:** A fabricação de virabrequim é parcialmente executada na organização X, pois a produção acabada acontece nos clientes. Dessa forma, as peças são transportadas de acordo com a suas necessidades.

A composição do **Processo IV** advém da requisição de peças pré-fabricadas forjadas (adquiridas da Índia) para a produção de bielas e fundidas (comprado de Santa Catarina/BR) para tambor seletor. A fabricação ocorre conforme sequência de:

**Acabamento:** As peças forjadas e fundidas são colocadas em 4 linhas diferentes de 5 tornos. A finalidade do procedimento é ajustar a geometria das peças de acordo com a demanda do cliente.

**Tratamento Térmico:** Peças fundidas recebem o processo de têmpera direta e revenimento. Para as peças forjadas o tratamento se dispõe de cementação, têmpera e revenimento.

**Retífica:** A geometria circunstanciada é definida nesse processo em ambos os modelos de produtos. A finalidade é atender a especificação do desenho.

**Montagem:** A biela é montada no pistão em uma linha manual de 4 postos de trabalho. O tambor recebe outros componentes como pinos de fixação, parafuso de apoio e engrenagem de transmissão. O procedimento ocorre em 3 postos.

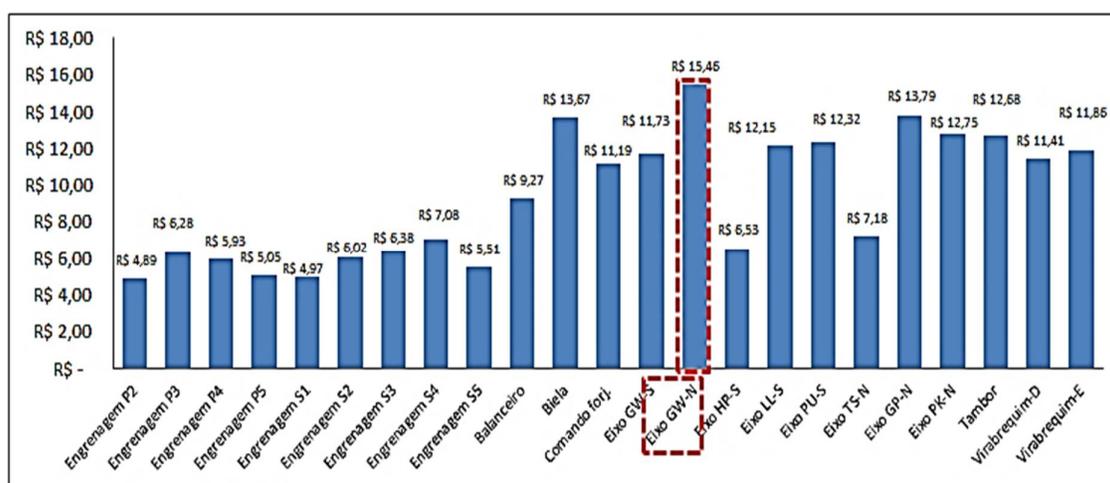
**Stock e expedição:** Os produtos acabados são transportados para o armazenamento em um galpão. A quantidade atende o cliente em 3 dias de pedido.

Diversos modelos são processados em máquinas equivalentes do fluxo. Como no acabamento, na qual são utilizadas em todos os processos representados no fluxo da figura 7. Muitos modelos de peças possuem as suas divisões de produção nos seus devidos layouts fabril, como exemplo o tambor e biela que são usinados em linhas diferentes. Entretanto, elas possuem o modelo de máquina em comum sendo um torno modelo 762 da fabricante de máquinas OKUMA. Os fornos usados nos processos I e IV são tipo *batch* de batelada única de produção, modelo FETT Y da fornecedora COMBUSTOL. Dessa forma, a fábrica padroniza o seu sistema e torna mais fácil a manutenção, utilização de recursos, normalização dos parâmetros de máquina e stock com peças de reposição de máquina.

A gestão estratégica da empresa relatou que atualmente o setor de Tratamento Térmico tem apresentado problemas quanto a produção e custo de fabricação de peças. Assim, a pesquisa irá se estabelecer na respectiva área a fim de atender à solicitação do patrocinador e estruturar os melhoramentos com o intuito de diminuir ou eliminar os desperdícios.

#### 4. ANÁLISE DO PROCESSO

A produção na fábrica X envolve diversos setores e produtos como foi explorado previamente no capítulo 3. Nesse contexto, os problemas de produção e reclamações ocorrem sem distinção de local, valor de produto agregado ou maior procura de pedidos pelos clientes. Por isso, ocorreu uma reunião com a alta gestão a fim de iniciar a pesquisa, entretanto os mesmos solicitaram que o estudo acontecesse não somente no setor de sua preferência, como foi o caso do Tratamento Térmico, mas no produto de maior custo e demanda no qual eles optaram por um eixo principal de modelo GW-N conforme figura 07, uma vez que estes decidiram a fim de mostrar maior impacto da melhoria e futura revisão lateral aos outros processos/produtos.



*Figura 7 – Custo de fabricação por modelo de produtos da fábrica X.*

Conforme Żywiołek (2018), as atividades que agregam maior valor ao produto quando assumem o espaço de trabalhos que não integram valor algum, estabelecem uma maior rentabilidade a organização, o processo se destaca no ambiente fabril e o procedimento se torna exemplo de mudanças de melhoria contínua. Essas atitudes mudam a cultura de uma empresa.

Nesse sentido, coletaram-se dados de processo e custo de fabricação de peças a fim de iniciar o estudo. A gestão contribuiu com planilhas de Excel contendo as informações de custos de processos por produtos. Dessa forma, realizou-se a análise inicial através da metodologia aplicada Pesquisa Acção (P.A), conhecida também como Investigação Acção (I.A).

Ao reunir os dados macros enviados pela gestão, aplicou-se a metodologia de visitas no ambiente de trabalho a fim de obter informações evidências. Segundo Tyagi et al.(2015), para se adquirir um resultado próximo do real e com maior eficácia é preciso sair do escritório e andar na produção. É no local onde acontecem os eventos que se pode fazer os diagnósticos certos. A alta gestão deve encorajar os líderes, gerentes e supervisores a oferecer suporte à melhoria contínua e padronização dos processos. Tal prática vem a partir do compromisso de trabalho em conjunto com uma equipe de melhorias focada na solução dos grandes problemas. Por conseguinte, foi possível identificar altos stocks de peças entre processos, bem como grande armazenamento de materiais, entre outros problemas que motivou o estudo.

Assim, foi possível observar os valores das informações que estão inseridos na ferramenta VSM, mostrando o fluxo da fabricação de peça que compõe desde a compra de matéria prima do aço da indústria no Japão até a entrada na fábrica X. Os setores como Forjado a Frio, Acabamento de eixos, Tratamento Térmico, Retífica, Montagem, Expedição e entregas agregam valor ao produto na fabricação, bem como a quantidade de turnos e eficiência de cada departamento. O prazo de entrega da produção contando com estoque entre os processos é de 8,6 dias e o tempo de operação útil é de 26 segundos (figura 8).

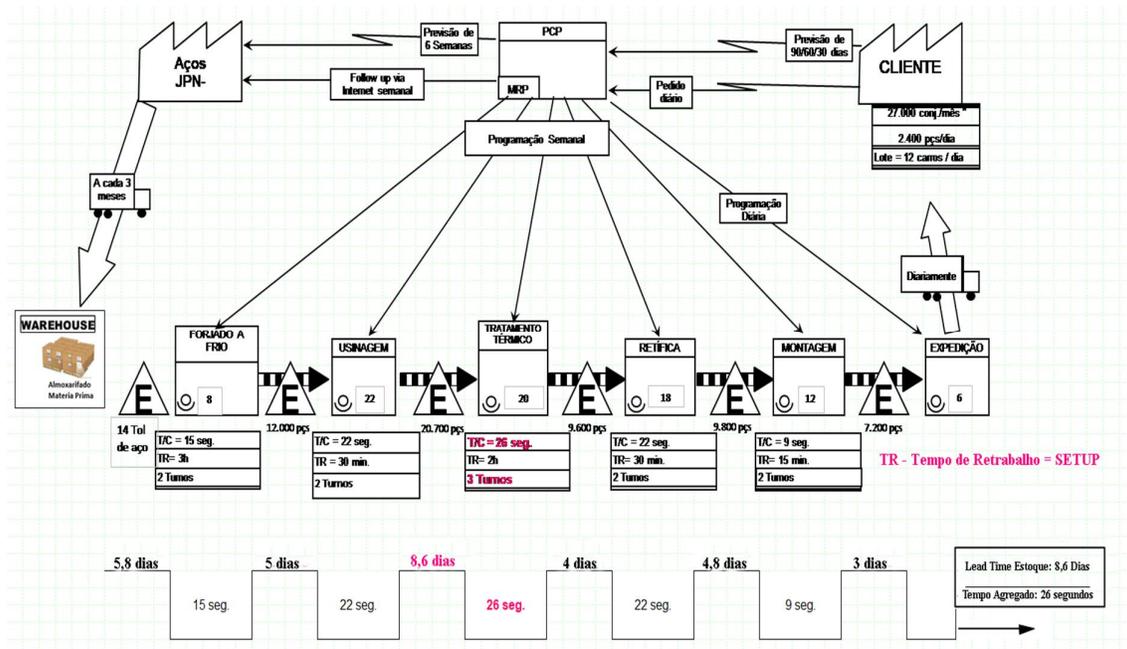


Figura 8 – Mapa de fluxo de valor do estado atual de fabricação do eixo GW-N.

A duração da fabricação de eixos é maior nos processos de tratamento térmico, e observou-se que o estoque entre setores ocupa materiais e peças principalmente no mesmo, com 8,6 dias. Isso corrobora o desejo de mudança no respectivo departamento no qual a diretoria do estabelecimento solicitou. Pois o pedido para esse modelo da produção é de 25 dias, portanto existe desperdício de 7 dias. Além da quantidade de peças de estoque em processo, que se encontra excessivo.

#### 4.1 Fabricação do Eixo GW-N no Setor de Tratamento Térmico.

O setor de Tratamento Térmico produz diversos modelos de peças. Cada produto segue um fluxo distinto, porém, a pesquisa irá se limitar na investigação do modelo de eixo GW-N conforme acordado com alta gestão.

Para a fabricação desse modelo, a indústria compra o aço de uma empresa japonesa na norma JIS SCM420H em forma de bobina de diâmetro de 20mm. A composição química da liga é mostrada na tabela 02.

Através de documentos e diálogos com os colaboradores do setor, foi realizado um mapeamento no layout conforme figura 09.

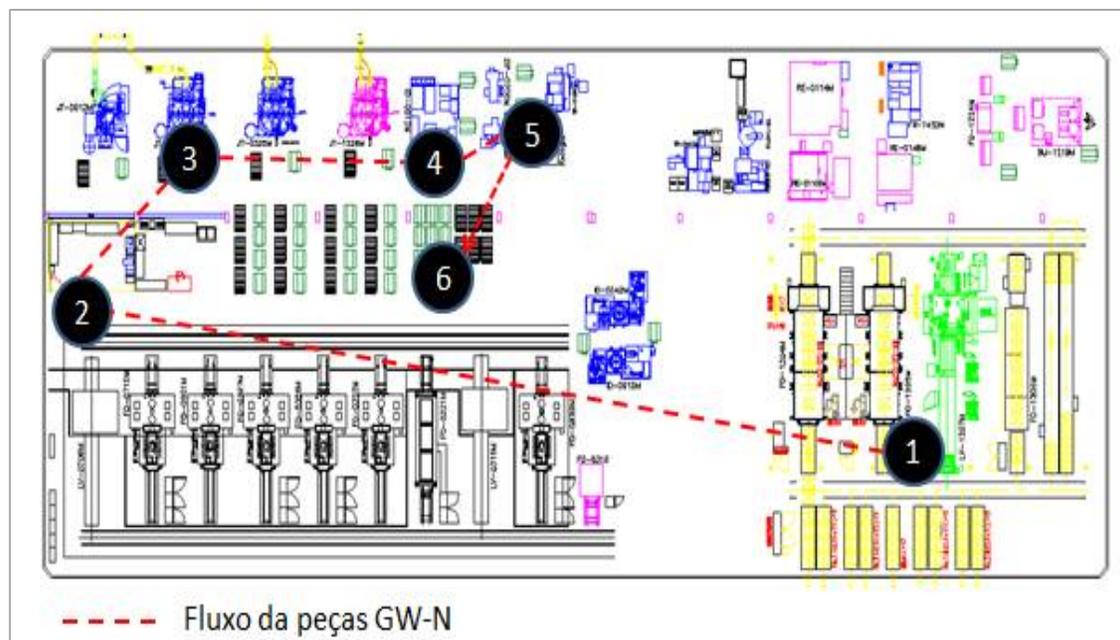


Figura 9 – Layout do processo de fabricação do eixo GW-N da empresa X.

**Tabela 2 – Composição química (%) do aço SCM420H para fabricação do eixo GW-N.**

<b>C</b>	<b>Si</b>	<b>Mn</b>	<b>P</b>	<b>Cr</b>	<b>Ni</b>	<b>Cu</b>	<b>S</b>
0.17 ~ 0.23	0.15 ~ 0.35	0.55 ~ 0.90	≤ 0.030	0.85 ~ 1.25	≤ 0.30		≤ 0.025

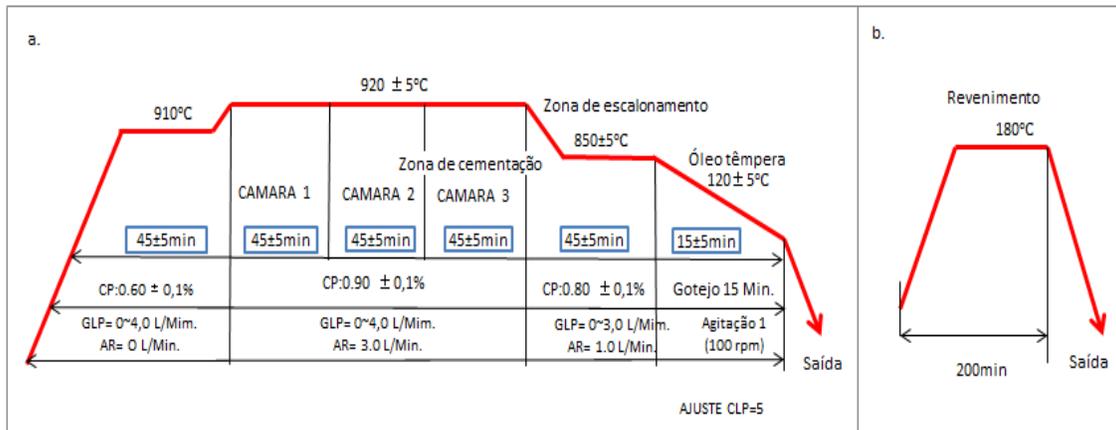
Após o processo de Conformação a frio e acabamento, as peças são levadas para o setor de Tratamento Térmico. Ainda com a descrição da figura 09 mostra-se o fluxo de numeração:

1- A produção inicia em uma máquina automática e de tecnologia robusta composta por 3 fornos contínuos e uma lavadora. As peças são trazidas do acabamento em carros metálicos de transporte contendo 8 cestos com medidas de 340mm X 300mm e 85 eixos em cada. Os cestos são organizados sobre uma bandeja de aço refratário de medida de 700mm x 640mm em 2 pares de duas camadas. O total é de 680 peças por lote. O operador posiciona os lotes sobre uma esteira de correntes e programa a máquina. O primeiro estágio ocorre na remoção de resíduos do processo de acabamento como cavacos e óleos de lubrificação em uma máquina de lavar da linha DOWA de modelo HWV-4V-D da fabricante IHI. Ela possui a capacidade de 2 lotes por vez e o tempo de duração é de 15 minutos. Realiza limpeza em duas fases, a primeira com um mergulho dos lotes no tanque de solvente tipo M5 da Daido química e a segunda por uma secagem dos lotes por meio de vapor. A temperatura de trabalho é de 120°C.

Em seguida, os lotes são transportados por um carro robô até o forno contínuo (fabricado no Japão pela DOWA, modelo S-TF-100) com capacidade de 6 cargas por vez, 6 x 680. Esse processo exerce a cementação no eixo. O tempo total nos seis lotes é de 405 minutos. O equipamento trabalha com queimadores em tubos radiantes, por isso utiliza gás tipo liquefeito de petróleo com a finalidade de elevar a temperatura interna da câmara. Para o enriquecimento da atmosfera admite-se o mesmo gás com uma concentração pequena de oxigênio. O diagrama da receita do forno é apresentado na figura 10a. Na saída da cementação ocorre o resfriamento rápido conhecido como têmpera a fim de endurecer superficialmente a peça. É utilizado o óleo B90T da empresa Daido química.

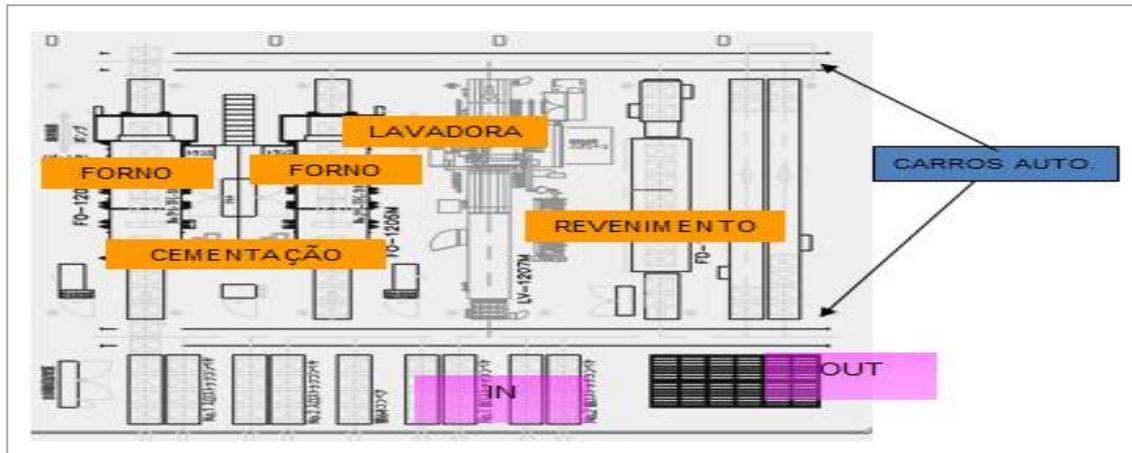
Após isso, os eixos são transportados pelo carro robô na mesma lavadora que inicia a produção, porém com um tempo maior de processo, sendo este de 30 minutos. Depois disso, novamente o carro robô é acionado e as cargas são transportadas para um outro forno de baixa temperatura (modelo 8T, DOWA) para realizar o processo de revenimento.

Possui a capacidade de 8 lotes por vez. A receita está expressa na figura 10b. O carro robô é acionado e logo ele armazena os lotes sobre uma esteira de saída. Todo o layout da linha de produção de fornos contínuos DOWA está representado na figura 11.

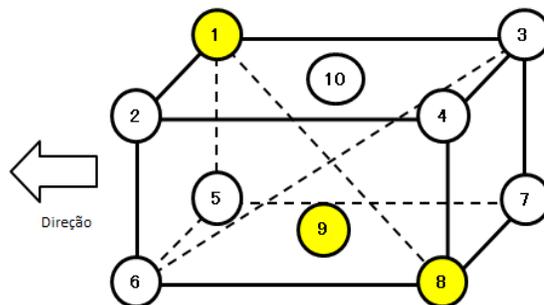


**Figura 10** – Parâmetros dos fornos: a) Forno contínuo de cementação, b) forno de revenimento.

2- Após o processo de tratamento térmico/termoquímico, o lote é mapeado e coletadas 3 peças conforme figura 12.

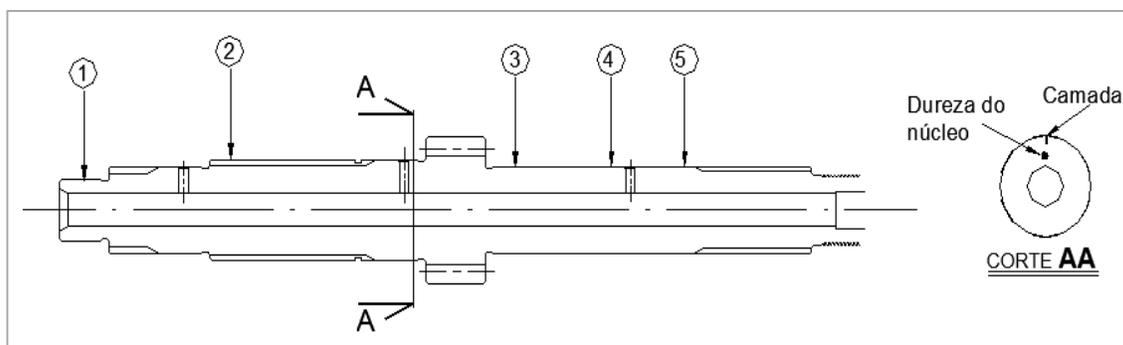


**Figura 11** – Layout da linha de fornos automática DOWA do processo de cementação.



**Figura 12** – Diagrama de mapeamento de peças de um lote. Os números destacados na cor amarela, representam a coleta de 3 amostras para análise.

Logo, inicia o trabalho de análise metalográfica. As três amostras são segregadas e medidas a dureza superficial com um durômetro Mitutoyo de modelo HM, são realizadas cinco leituras em diferentes regiões, conforme figura 13 e calculada a média.



**Figura 13** – Croqui de eixo GW-N para análise de dureza e camada.

Em seguida as amostras são cortadas por um uma cortadeira metalográfica de sistema mecânico de disco resfriado por água e polímero. O metal seccionado deve estar de acordo com a figura 13, onde ele é embutido também por uma resina de baquelite em uma embutidora automática modelo *Panpress 50A* da *Pantec* por 25 minutos.

Em seguida, as amostras já no formato de corpo de prova são lixadas com lixas de grão 220, 350, 400 e 600 (máquina lixadeira automática polipan 2 da fabricante *Pantec*) polidas por pasta diamantada grão 1micron e pano de polimento (politriz PL02ED da empresa *Pantec*). A amostra é conduzida para o microdurômetro Mitutoyo de modelo HM-100 a fim de encontrar por meio da dureza a camada cementada. Utilizam-se cargas de 300g e aferições de 0,1mm de distância. Unidade de medida em microvickers. Subsequente, a amostra é colocada no mesmo durômetro que realiza dureza superficial para aferir nesse momento a dureza do núcleo. A figura 13 representa o croqui da análise.

Posteriormente, foram realizadas as análises de microestrutura, onde a amostra está cortada na secção AA também da figura 13, portanto a checagem da microdureza foi utilizada para esse fim. O corpo de prova é atacado por uma substância química de composição nital 4% durante 15 segundos. Depois a superfície é lavada por água corrente durante 20 segundos e secada por estopa e secadora elétrica. A amostra é analisada por microscópio óptico (modelo CX31 da Olympus) por lentes de amplitude de 100X, 200X e 500X a fim de encontrar propriedades desejadas como: ripas de martensita revenida, pouca austenita retida, núcleo de ferrita e perlita. Um formulário contendo as informações pertinentes à aprovação do modelo é preenchida pela produção. Nele se estabelece a

permissão de saída das peças para o próximo fluxo, segregação para retrabalho ou determinação de sucata. Todo esse processo dura cerca de duas horas.

3- Após a aprovação dos produtos, eles seguem para o processo de jatear. Esse procedimento realiza pequenos esmagamentos superficiais no eixo por meio de granalhas de aço. Os eixos ainda nos dispositivos de tratamento térmico na configuração de lote, são retirados e colocados em uma grelha de aço manganês presa por uma luva de encaixe no formato de cantoneira, soldada a uma gancheira suspensa dentro do carrossel da máquina de jatear. Essa máquina é uma jateadeira modelo SNM-35ZA da empresa Sinto do Brasil. Ela possui turbinas fixadas, duas no canto superior direito e esquerdo e mais outras duas nos cantos inferiores na mesma direção. As turbinas são responsáveis em lançar de modo homogêneo a granalha de aço a fim de circular por toda a câmara. Esse recurso trata-se de grãos de aço carbono de diâmetro de 0,3mm a 0,5mm tipo S170 da empresa Sinto.

A atividade finaliza com a superfície do eixo limpa, rugosidade levemente maior e tensões superficiais residuais aliviadas através do *shotpeening*. Os eixos são retirados da grelha e colocados dentro de carros paliteiros. A máquina possui dois carroceis, enquanto um está executando a produção o outro lado está recebendo a fixação dos eixos nas grelhas.

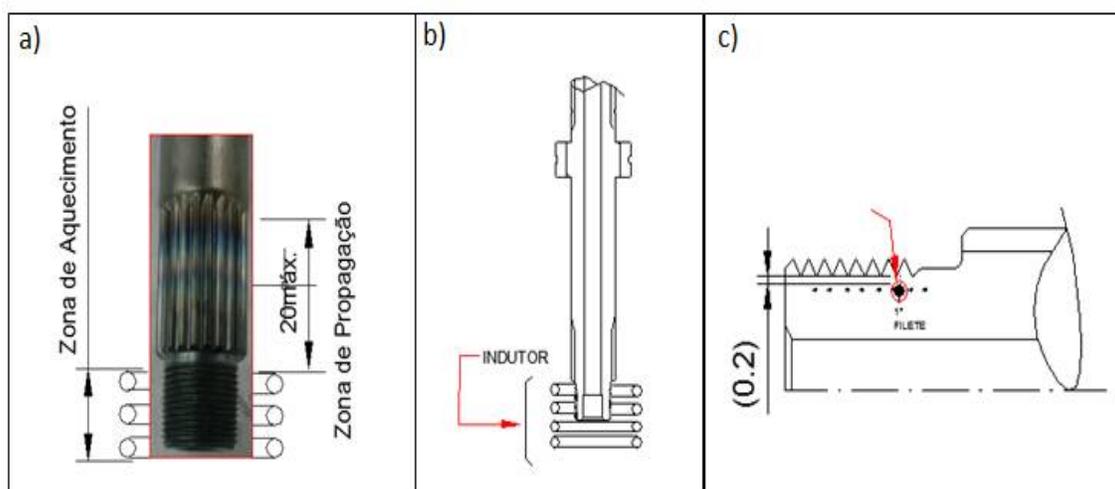
Assim, depois do término de um dos lados, logo a outra parte é acionada. Cada metade do carrossel pode ocupar até 370 peças no total de 740 eixos. Todo o processo dura 45 minutos.

4- Com o término do jateamento os eixos são levados para próxima etapa: a de Indução da região da rosca do eixo. Esse processo inicia com a retirada da peça do carro paliteiro, depois posicionada sobre uma ponta de aço situada no meio de uma bobina de indução. A parte superior da peça é presa por um contraponto. O operador empurra a alavanca a fim de subir o contraponto e em seguida solta para prender o eixo. Depois ele pressiona dois botões tipo botoeira no painel a frente da bobina de indução. A peça gira no sentido horário enquanto é aquecida até 730°C por apenas 10 segundos. A máquina possui duas estações de mesma característica, portanto o operador realiza a mesma atividade duas vezes sendo que ele não aguarda o término do primeiro processo para depois executar o segundo. Ele realiza as atividades simultaneamente quando liga a primeira estação.

As primeiras peças de cada bobina são levadas para o laboratório de metalografia a fim de começar o Setup da máquina. Inicialmente é verificada com uma escala de 150 mm a altura da propagação da indução, ela não poderá ser superior a 20 mm (figura 14a).

Por isso, o indutor se encontra posicionado a contemplar toda rosca (figura 14b). Depois disso, é verificada a microdureza. Caso ela se encontre abaixo do especificado duas novas peças são produzidas por um tempo subtraído 2 segundos. O contrário ocorre se a microdureza estiver elevada, ou seja, o acréscimo de mais 2 segundos. Assim, a variação da operação acontece entre 8 a 12 segundos.

A análise de microdureza é concebida por intermédio do preparo do corpo de prova. Isso acontece no seguinte passo: os eixos são levados novamente para a cortadeira metalográfica e a região da rosca é seccionada na direção longitudinal e subsequente radial. As amostras são embutidas, lixadas, polidas pelos mesmos equipamentos e recursos citados no processo de análise de cementação. Após isso, a peça é aferida no microdurômetro a fim de detectar a microdureza. Cargas de 300g são aplicadas em 5 pontos no vale do filete da rosca a 0,2mm de profundidade. A figura 14c exibe o croqui do ensaio.

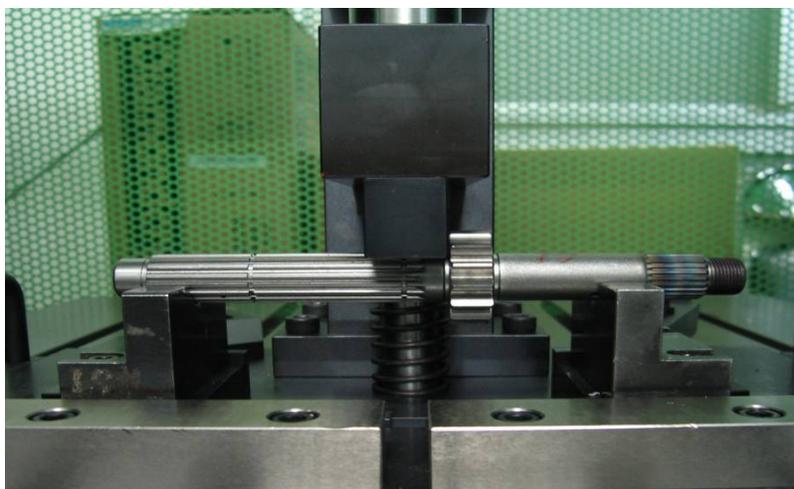


**Figura 14** – Ensaio metalográfico para aprovação de Set Up da indutora: a) região induzida, b) posição do indutor c) área aferida com o microdurômetro.

Em seguida, o corpo de prova é atacado por nital 4% durante 10 segundos, depois é lavado por água e estopa para depois ser secada. A finalidade é de diagnosticar a ausência de ferrita no topo e vale dos filetes. Essa atividade dura cerca de uma hora e meia até a sua aprovação e preenchimento de documento. A produção depois de receber o laudo processa as peças geralmente em dois ou três turnos de 8 horas cada. O tempo de ciclo discorre em torno de 1100peças/turno, portanto o tempo de produção total com todas as tolerâncias é de 26 segundos. Não é finalidade desse estudo ingressar assuntos voltados à análise de tempos e

métodos, entretanto serão colocadas em prática outras ferramentas que auxiliarão na investigação e melhoria do setor.

Seguindo a sequência, as peças são transportadas para o processo de desempenho. A máquina desempenadeira de eixos pertence a fabricante Kokusai modelo ASC 1S.11. Essa atividade tem por objetivo diminuir as protuberâncias de deformação no batimento do eixo, ocasionadas pelo aquecimento e resfriamento rápido do processo de tratamento termoquímico de cementação. Essa correção permitirá que as outras peças como: engrenagens, anel elástico. Possam ser inseridos no eixo sem o bloqueio das distorções. Um eixo é tirado do carro e posicionado sobre berços de apoio de aço. A engrenagem de primeira marcha forjada no eixo é encaixada em outra engrenagem. Este se trata de um sistema composto por gangorra, haste, mola, engrenagem e sensor de batimento. É responsável pela leitura de batimento, aprovação e reprovação de peças.



**Figura 15** – Foto de processo de desempenar eixos. Modelo GW-N recebendo tensão do martelo para correção de distorção térmica.

Contrapontos são utilizados para prender o eixo e girá-lo no sentido horário a fim de realizar o processo de leitura. Quando o sensor capta a protuberância acima do especificado, o contraponto móvel para o giro e volta para posição de origem. Em seguida uma haste com um dispositivo retangular e com chanfros desce em direção ao eixo. A peça fixada na ponta é conhecida como martelo. Desce com uma força determinada na configuração da máquina e pressiona a região da deformação para baixo, conforme figura 15. Movimento que tem a finalidade de diminuir ou eliminar a deformação que deve variar entre 0.056mm a 0.2mm. Após isso, nova rotação do eixo é feita, caso o sensor identifique outra protuberância dentro

do campo especificado, o “martelo” corrigi novamente. Essa atividade é programada a repetir cinco vezes. Se o eixo continuar com as medidas discrepantes, ele então é descartado como sucata, pois além das distorções os golpes com o martelo poderão causar microtrincas. Caso os valores apresentem inicialmente acima do limite superior o eixo é imediatamente sucateado. O operador da máquina informou que no passado a formação de trincas e até mesmo de fraturas eram um grande problema na qualidade do produto. A instalação de um dispositivo detector dessas dificuldades, todo processo possui a duração de 15 segundos.

Ao término as peças são levadas para um stock intermediário do próprio setor. Elas aguardam uma autorização do setor de Retífica para seguir próximo fluxo.

#### 4.2 Especificações do Eixo GW-N

O final da produção do tratamento térmico o eixo deve conter as respectivas configurações conforme tabela 03. A fim de atender a qualidade do cliente o eixo deverá adquirir os aspectos da figura 16.

**Tabela 3 – Especificação técnica de tratamento térmico do eixo GW-N.**

Especificação	Valor (unidade)
Dureza superficial	78 a 83HrA
Dureza do núcleo	30 a 45HrC
Profundidade cementada	0,55 a 0,75mm
Dureza da cementação	até 513Hv
Dureza da rosca induzida	300 a 392Hv
Batimento	Abaixo de 56mm



**Figura 16** – Foto de eixo GW-N após todo processo de Tratamento Térmico.

#### 4.3 Histórico de Problemas na Produção

As visitas no setor de Tratamento Térmico culminaram no levantamento de informações dos possíveis problemas. Empregou-se a ferramenta do Mapa de Fluxo de Valor, porém somente

no setor de Tratamento Térmico a fim de obter a visão ampla do departamento e submeter às respectivas decisões.

O processo de indução de eixos ocupou o maior tempo de operação, elevado stock entre processos e mão de obra por turno de trabalho. A figura 17 mostra os valores que se aproximaram do processo de desempenho, porém com uma diferença no tempo de fabricação e stock. A produção é empurrada e desbalanceada. Nessa conjuntura, verificaram-se os indicadores de produção a fim de descobrir novos problemas ou ainda as causas das questões atuais, dentre eles estão: sucata setorial, reclamação dos clientes quanto à qualidade dos produtos, custo dos processos, entrega ao cliente interno, meio ambiente e segurança.

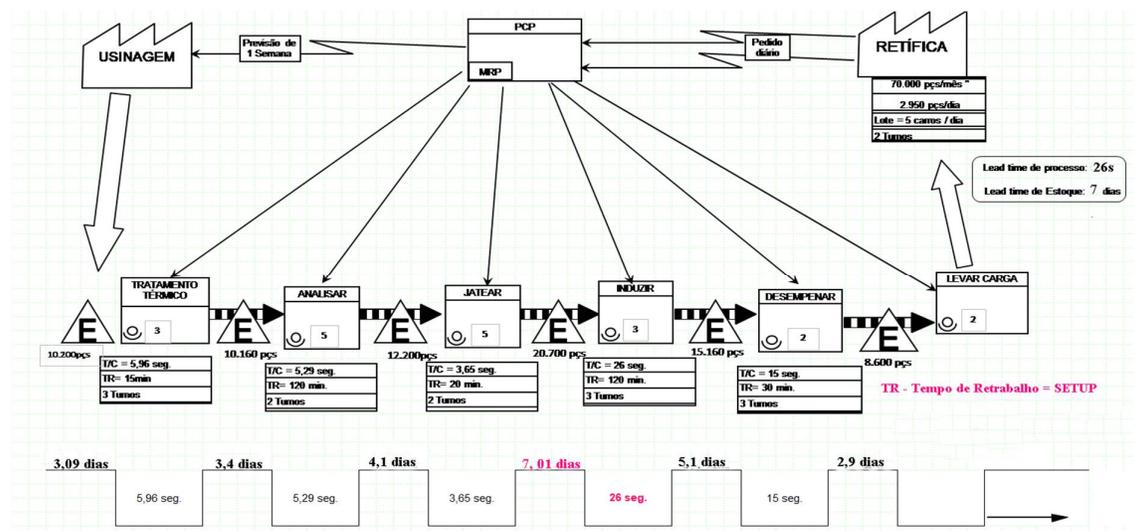
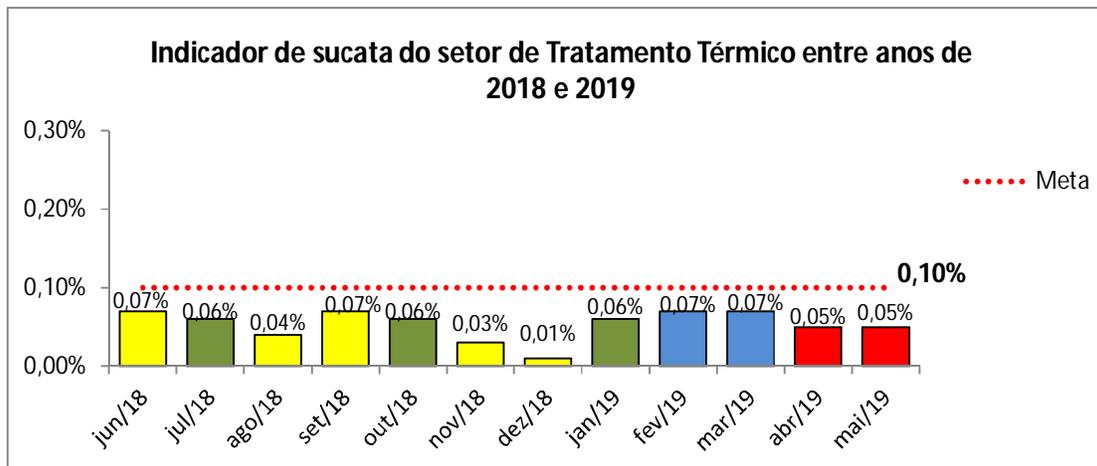


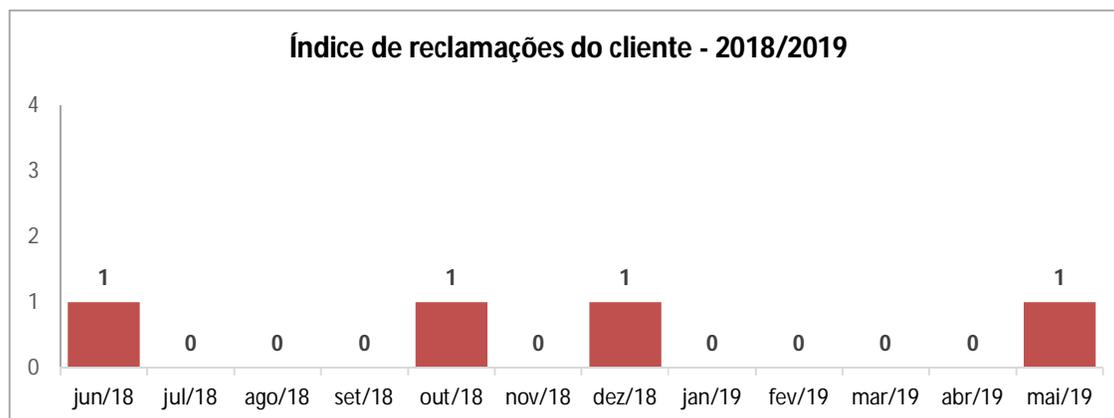
Figura 17 – Mapa de fluxo de valor do setor de Tratamento Térmico para o processo de fabricação do eixo GW-N.

O índice de sucata, conforme levantamento administrado pelo Controle da Qualidade obteve valores dentro da meta. Fatores como análise metalográfica que é necessário cortar e destruir pelo menos três peças por lote, distorções térmicas fora do especificado, falha na altura da indução e granalha presa no furo de lubrificação foram alguns dos casos que revessaram entre 2 a 3 peças, o maior número se tratava de amostras para averiguação da qualidade. Se for feito um balanço entre à produção setorial e a quantidade de erros, pode se tornar menor em relação a todo processo, sendo assim é possível que o indicador esteja controlado. A figura 18 apresenta os números. A meta é de 0,10% o cálculo é feito com a divisão da quantidade de sucata do setor pelas peças produzidas.



**Figura 18** – Índice de sucata do setor de Tratamento Térmico.

Sobre o indicador que corresponde ao número de reclamações dos clientes, verificaram-se alguns casos comunicados formalmente ao setor Comercial (figura 19).



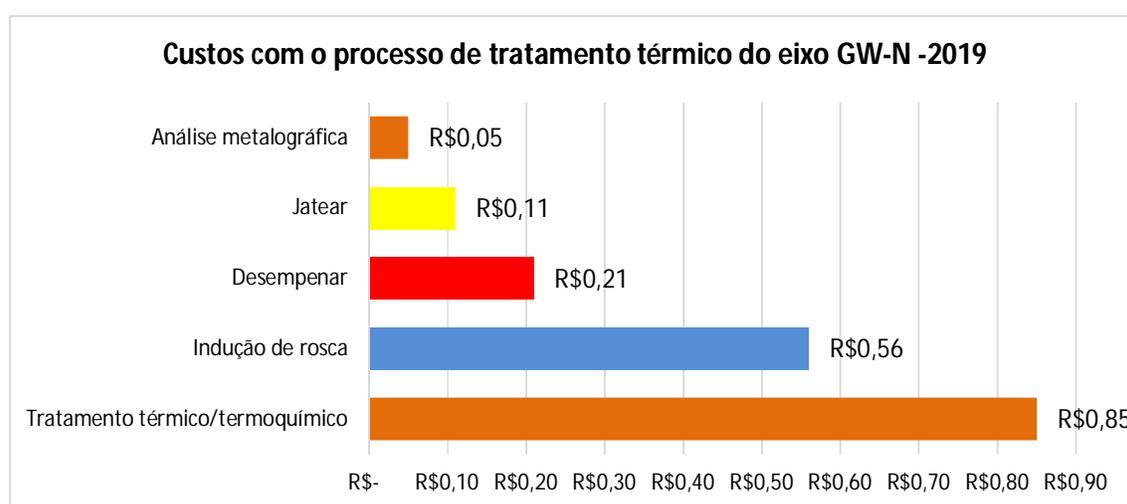
**Figura 19** – Número de reclamações da qualidade dos produtos feitos na empresa X nos anos de 2018 e 2019.

Esse medidor se refere a peças consideradas sucatas que atravessam o filtro de revisão da qualidade e chegam ao cliente intermediário. A maioria dos casos foi apontada por falha do setor de Retífica que dividiu a reivindicação do cliente com a Forjaria de Virabrequim. Nenhuma ocorrência foi apresentada ao Tratamento Térmico, ou seja, o setor produziu peças dentro do especificado.

Embora isso gere um desconforto ao cliente e uma imagem comprometedoras ao fornecedor, a categoria de satisfação ainda se demonstrou adequada ao atendimento. Isso é atribuído pela quantidade de peças produzidas com qualidade quando comparadas as sucatas

confirmadas, como foram os casos dos meses de junho, outubro, dezembro de 2018 e maio de 2019 que atingiram apenas uma unidade de peça sucateada por mês.

Já os valores referentes ao custo por processo no setor de Tratamento Térmico, foram verificados conforme figura 20. O custo com tratamento térmico/termoquímico em geral de peças como sendo os mais caros com R\$ 0,85 por peça. A linha de fornos são completas e automáticas, além disso, essas máquinas utilizam diferentes recursos como: óleo de têmpera, solvente, energia elétrica, gás GLP, gás amônia e outros. Cada item é repostado mensalmente.

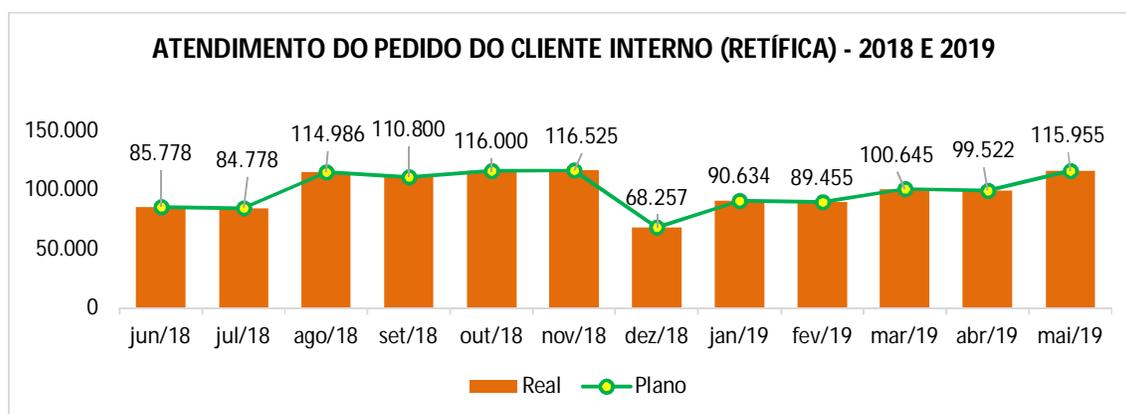


**Figura 20** – Dados de custo por processo de fabricação do eixo GW-N.

Segundo os gestores, a linha foi adquirida em 2012 e é composta por máquinas mais modernas e robustas dos fabricantes, o seu custo total passou de R\$ 10 milhões. O uso de recursos e materiais foi calculado para uso mínimo. A máquina é a versão mais enxuta no mercado.

Na avaliação do segundo maior valor, está o custo com indução de rosca. Esse processo é realizado por uma máquina antiga de baixa capacidade. O processo se torna dispendioso com valor de R\$ 0,56, porque além de produzir uma peça por estação para atingir a meta de produção é necessário o trabalho de três turnos com três mãos de obras diferentes a fim de responder às ordens de produção. O custo não chega ser mais elevado que o tratamento térmico/termoquímico, porém é significativo quando comparado a todos os outros processos.

A produção de desempenho de eixos é o terceiro maior valor com R\$ 0,21. Em comparação aos dois primeiros ele se torna baixo. Poucas peças acessam esse processo. A máquina também utiliza mínimos recursos, apenas energia elétrica e mão de obra. Essa situação é similar ao jateamento que está na quarta posição sendo R\$ 0,11. Utiliza-se mão de obra, energia elétrica e granalha de aço. Existem 5 máquinas que executam o mesmo processo. Outro valor diminuído está na análise metalográfica, pois é feito com o uso de poucos mecanismos. A verificação e destruição das amostras com quantidades máximas de três peças por lote é acompanhada pela mão de obra que geram um custo de R\$ 0,05. Dessa forma, observou-se a necessidade de melhorias em pelo menos dois maiores custos de produção. O Tratamento térmico/termoquímico e a indução de rosca. Entretanto, analisaram-se outros indicadores a fim de buscar mais informações como foi o caso do número de entregas ao cliente interno. A figura 21 expressa a produção real do setor de Tratamento Térmico e o planejado de todos os eixos produzidos (a produção do GW-N ocupa cerca de 70% da fabricação). As linhas do gráfico estão uniformes de acordo com a programação. Isso demonstra assiduidade nas entregas ao setor de Retífica. Cada vez que uma ordem é emitida, o Tratamento Térmico imediatamente produz, entretanto pode-se averiguar que o stock entre peças tem auxiliado satisfatoriamente, ele promove um cenário positivo, porém esconde os desperdícios envolvidos na produção empurrada.



**Figura 21** – Indicador de produção e entrega de pedidos real e planejado do setor de Tratamento Térmico no período de 2018 e 2019.

O desempenho dos itens como meio ambiente e segurança foram investigados junto ao departamento de Serviço Especializado em Engenharia de Segurança e em Medicina do Trabalho (SESMT), e Sistema de Gestão Integrada (SGI), ambos relataram que nas auditorias

e apurações feitas no Tratamento Térmico, não identificaram anomalias ou irregularidades no período de 2018 a 2019. Todas as recomendações de segurança ao trabalhador e atuação dos colaboradores quanto à preservação do meio ambiente foram atendidas.

Esses indicadores são devidamente controlados, pois a imagem da empresa depende dos resultados, uma vez que a empresa X possui o reconhecimento de normas do meio ambiente (ISO 14001), qualidade (ISO 9001), e a gestão da segurança. Esses elementos são exigidos pelos clientes incontestavelmente.

Assim, observou-se que os objetos de pesquisas mais críticos estão presentes no desperdício de stock de peças entre a jateadeira e a indutora. Ela compõe 7 dias de espera conforme VSM. Embora o custo de fabricação seja maior no processo de tratamento térmico/termoquímico o de indução de rosca tem mostrado maiores transtornos de perdas não mensuráveis como: custo para manter o stock de peças, diminuição do espaço útil, maior número de movimentação de lotes de uma máquina para o espaço de armazenamento, maior quantidade de mão de obra, máquina de baixa capacidade, pois produz apenas duas peças por vez e maior tempo de operação por peça. Se somasse todas essas perdas com o custo de fabricação no processo de indução seria evidente a identificação da oportunidade de melhoria.

Por isso, o estudo foca na melhoria com eliminação das perdas identificadas pelos indicadores, sobretudo o mapa de fluxo de valor atual e avaliação dessas informações para elaboração de um VSM.



## 5. IMPLANTAÇÃO DA MELHORIA

O estudo no setor de Tratamento Térmico apontou três problemas a serem eliminados, o stock elevado de peças, o lead time de stock e o tempo disponível de produção na máquina de indução, desse ponto foi atribuído por meio da utilização de cartões kanban o rastreamento de lotes e sinalização que foram indispensáveis para a produção. O indicador de custo apesar de não ter contemplado as perdas, pois calcula apenas os gastos com recursos de fabricação, ainda se mostrou alto nesta produção.

O foco da implantação de melhorias está no investimento de medidas contra o retrocesso, trata-se do monitoramento das áreas de apoio por meio de auditorias internas e acompanhamento dos indicadores e da influência comportamental no ambiente de trabalho. Sendo assim foram realçadas distintas atitudes que podem atingir diretamente o desempenho do trabalho, como exemplo a disposição departamental muito embora dependendo da disposição das ferramentas ou peças todo o processo pode ocorrer atrasos e consequentes aumentos de custos, portanto dispostos bancadas de amostras a serem analisadas antes e depois do 5S, com placas de avisos, etiquetas de identificação e caixas para depósitos de peças por ordens sequenciais, tudo com o objetivo de facilitar a aceleração das atividades. Por isso, buscou-se aprofundar mediante visitas dedicadas e detalhamento do departamento. Com as informações também foi possível inserir metas de melhoria por meio do Mapa de Fluxo de Valor proposto no setor de Tratamento Térmico, conforme figura 22.

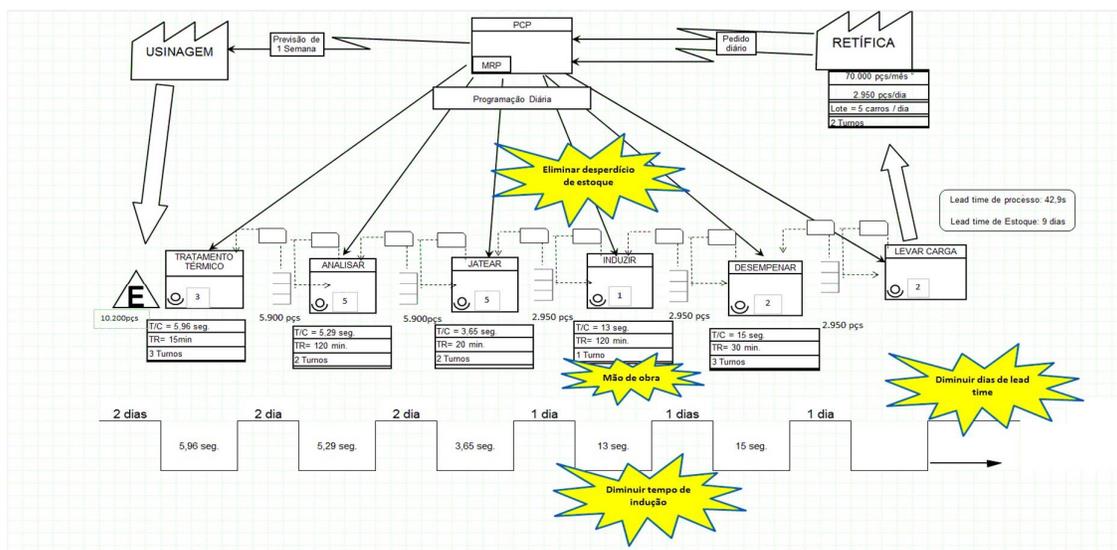


Figura 22 – Mapa de fluxo de valor com propostas de melhoria no setor de Tratamento Térmico.

Os valores estipulados no VSM, proposto foram fundamentados no panorama atual da produção do modelo GW-N. Dessa forma, foi implementado os valores das informações que estão inseridos na ferramenta VSM, mostrando o fluxo da fabricação de peça que compõe desde a compra de matéria prima do aço da indústria no Japão até a entrada na fábrica X, e entregas que agregam o valor ao produto na fabricação, bem como a quantidade de turnos e eficiência de cada departamento. O prazo de entrega da produção contando com estoque entre os processos é de 9 dias e o tempo de operação útil é de 42,9 segundos.

O maior tempo de processo, quantidade de stock, bem como os dias de eixos parados após o processo de indução está na produção de desempenho de peças. Por isso, se o fluxo ao menos igualasse os tempos em conformidade com essa etapa o desperdício seria reduzido pela metade. O valor dos segundos cairia de vinte e seis para treze. Isso influenciaria na quantidade de dias de stock, uma redução estimada em 85% pois a produção deverá ser puxada. Um sistema Kanban substituirá a metodologia empurrada, a quantidade de peças de processo será estipulada pela necessidade diária do cliente ou 2.950 eixos. Haverá um supermercado em cada estação de processo. Todas as vezes que houvesse necessidade de retirar ou repor eixo o local estará disponível, pois o lote mínimo será de apenas um dia de stock, exceto nos processos de tratamento térmico realizado pelos fornos, análise metalográfica e jateamento que depende da produção de dois dias. Essa quantidade de eixos também ocupa cerca de 8 lotes de 680 peças do forno a quantidade de eixos deverá ser fixada em pelo menos 5.900 unidades.

O número de mão de obra e turnos também seria alterado, pois uma produção de vinte e seis segundos por eixo conforme calculado é de 138 peças/hora. Com uma ordem de produção média de 70mil eixos mensais, conforme dados do PCP da empresa X, mede-se 2.916 peças em 24 dias de trabalho. Um dia com três turnos de 22h de expediente equivale a 133 peças por hora. Se fosse calculada a diferença de produção da indutora com a necessidade por hora do pedido seria apresentado uma adição de cerca de 110 eixos por dia de trabalhado, porém os imprevistos e eventos incontroláveis elevam essa quantidade. Por isso a justificativa da empresa X quanto ao elevado stock em processo e o tempo de espera do eixo GW-N, sobretudo para garantir as entregas dos produtos ao cliente que ratificam manter essa cultura de armazenamento entre processos com desperdícios.

A partir da melhoria na redução de tempo a produção de treze segundos subirá para 277 peças/hora isso duplicará a capacidade da máquina, como também responderá de modo

satisfatório a produção de pelo menos 148 peças por hora alusiva ao pedido do cliente. O número de turnos e pessoas conceberá nova configuração, pois apenas um turno e mesma quantidade de pessoas em cada expediente poderão manter a produção com modéstia folga.

Observou-se também que seria oportuno realizar estudos com a finalidade de diminuir o tempo de ambos os gargalos (Indutora e desempenadeira) na mesma proporção dos outros processos com cerca de cinco segundos em cada estágio, porém a gestão da fábrica limitou o estudo com prazos curtos de entrega de resultados, valor restrito de investimento no projeto e informações pré-estabelecidas. Assim, as ações devem acompanhar as diretrizes da organização.

Nessa conjuntura, o processo de indução deve ser alterado, pois ele é o gargalo. Novamente a máquina será analisada com maior detalhe, pois novas ideias serão implementadas.

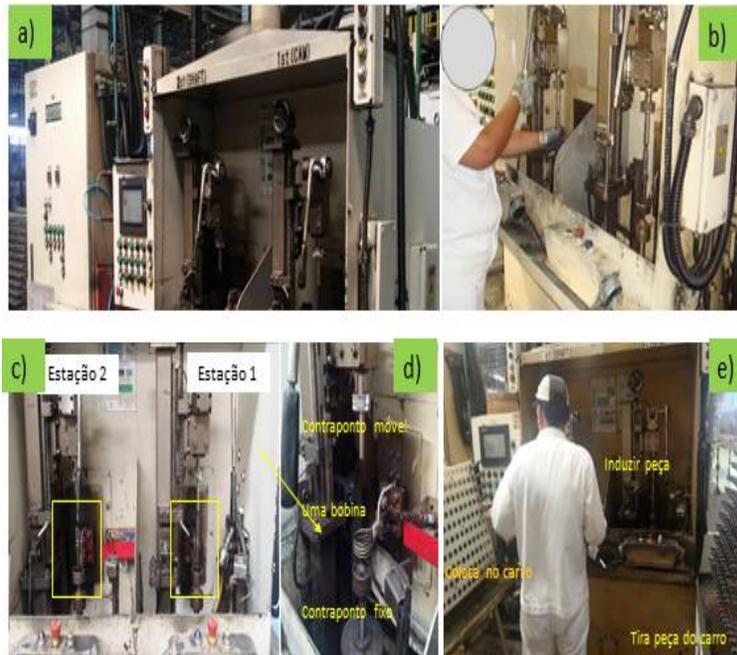
### 5.1 Ações de Melhoria no Processo

Coletaram-se informações sobre o equipamento de indução conforme tabela 4. Quanto à verificação do processo, observou-se a disposição do funcionário que opera a máquina e o seu funcionamento.

**Tabela 4 – Especificação da máquina de indução de eixos.**

Fabricante	DENKY KOGYO
Modelo	S38K1160
Ano	2005
Frequência	50/60Hz
Potência total	18KVA
Potência de trabalho	1,19KW
Temperatura total	até 1000°C
Temperatura de trabalho	600°C
Tensão	220V
Corrente	28A

O eixo é retirado do carro paliteiro, posicionado sobre um contraponto fixo e depois preso por um contra ponto móvel. A indução ocorre, logo a peça é retirada e colocada no carro paliteiro de saída. Esses movimentos se repetem na estação 2. A figura 23 mostra o processo.



**Figura 23** – Análise do processo de indução de eixos.

a) máquina indutora de eixos, b) funcionário a colocar eixos para induzir, c) foto das estações de indução, d) conjunto de dispositivos de fixação de eixo, e) Identificação do espaço de trabalho. Está claro que grande parte do procedimento é manual. Além de ser cansativo, pois exige mais concentração do funcionário e passivo de erros.

## 5.2 Melhoria na Máquina de Indução

O ideal para a melhoria da máquina de indução seria a troca por um equipamento moderno, com menos intervenção humana e menor tempo de processo. Desse modo, pesquisaram-se máquinas que executam os mesmos processos e que estão disponíveis no mercado. Encontraram-se modelos que atendem à necessidade tabela 5.

**Tabela 5** – Tempo de indução de eixos da máquina proposta.

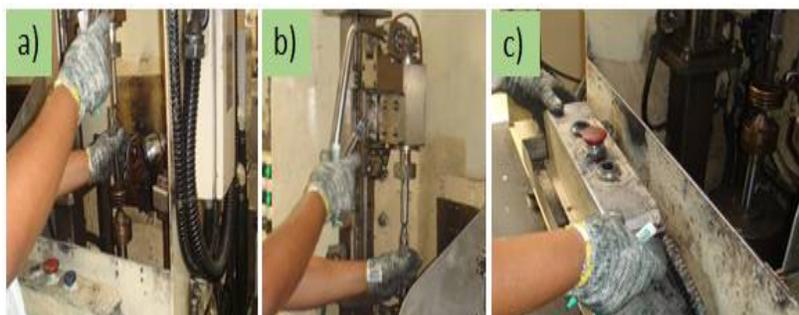
Atividades	Tempo
Encher esteira de entrada de peças.	2 min.
Elevar peça, induzir e colocar na esteira	9 segundos
Movimentar eixo para saída	1 min.



devem ser avisados pelo menos um ano antes de qualquer aplicação acima de R\$100mil entre estas estão as compras de máquinas, reformas prediais.

A verba liberada pela gestão neste programa de melhoria não deve passar de R\$20mil em virtude de existir outras prioridades do setor de Tratamento Térmico. Dessa maneira, a proposição da compra de máquina foi transitoriamente paralisada.

Com essas restrições novas ideias devem ser formuladas. Reuniu-se novamente com os departamentos responsáveis e analisaram-se as opções que nesse momento eram menos dispendiosas. Confirmaram-se então que a oportunidade está na alteração da máquina existente. Dessa forma, outras visitas foram feitas no local de trabalho. Averiguou-se as estações de tratamento térmico dos eixos (fig.25), o método de encaixe de peças, com a prática de levantar-se contra ponto, exposto na (fig. 25a), fixar peça (fig. 25b), pressionar botões de ligar aquecimento (fig. 25c).



**Figura 25** – Processo de indução de eixo: a) encaixe do eixo no contraponto fixo, b) fixação do eixo no contraponto móvel c) movimento nos botões de ligar aquecimento.

Contudo a posição do eixo na bobina de indução conforme figura 26, logo, surgiu outra conjectura como a duplicação da capacidade do processo, entretanto, para que isso ocorra é preciso alterar as bobinas que realizam esta função.



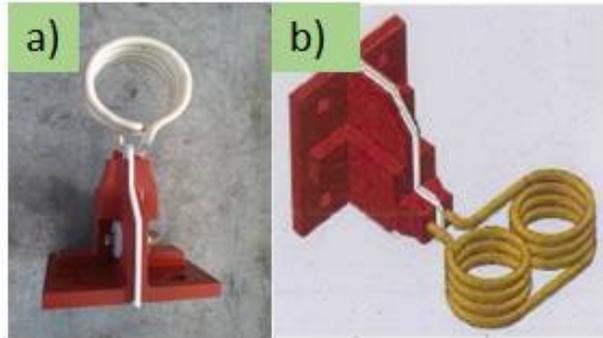
**Figura 26** – Eixo posicionado na bobina de indução.

As bobinas atuais são compostas de um espiral de cobre com 4 revoluções e  $\varnothing 50\text{mm}$ . Uma proposta de torná-la dupla culminaria a um desafio promissor e concomitantemente audacioso, uma vez que a capacidade da máquina e interferência do campo magnético das bobinas caso não esteja em conformidade com a especificação poderão prejudicar na qualidade da indução.

Na busca por informações da melhoria nas bobinas averiguou-se as recomendações do livro ASM Metals Handbook V04 – Heat Treating (1992), que direciona por meio de procedimentos o que deve ser feito. Destacaram-se temas principais para fabricação, como:

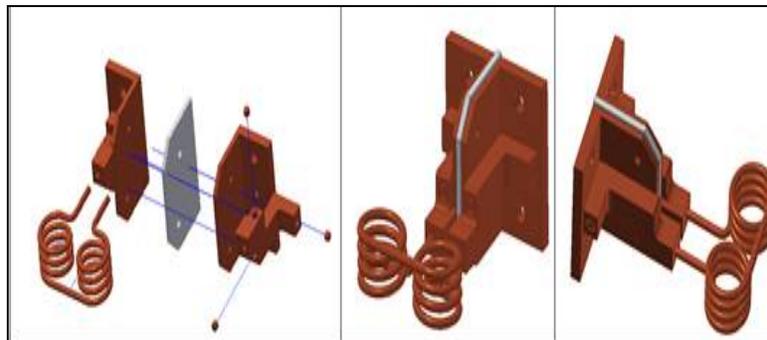
- a) As bobinas devem ser fabricadas por materiais não ferrosos como cobre a fim de não ocasionar interferência no fluxo magnético.
- b) A distância entre as bobinas duplas de indução, é importante para qualidade do aquecimento, mas vale salientar que essa construção se fundamenta a partir de dados empíricos cujo desenvolvimento surgiu por meio de análises teóricas de várias geometrias de indutoras bastante simples.
- c) É importante determinar um ponto de aquecimento da peça a fim de concentrar o maior número de linhas de fluxo. Quanto mais denso for o fluxo neste ponto, maior será a corrente gerada nessa peça.
- d) O ponto de maior aquecimento encontra-se nas proximidades da bobina. Quanto mais próximo à peça estiver da parede interna do indutor, maiores serão as linhas de fluxo magnético e na mesma proporção o calor de indução. Por isso, para se obter um aquecimento uniforme recomenda-se conservar o objeto a ser induzido no centro da bobina.
- e) As bobinas duplas são frequentemente utilizadas em processos de baixa ou média frequência (entre 50 a 180 Hz), como tratamento térmico. Estes incluem tipo único ou voltas múltiplas. É relevante movimentar com giros rotacionais a peça de indução para adquirir uma uniformidade nas propriedades químicas.

Todas as recomendações foram estudadas e analisadas. Após isso, desenhou-se com o auxílio do software Inventor 2018 uma proposta de bobinas de dupla indução. Utilizaram-se as medidas da bobina atual para elaboração do projeto (figura 27).

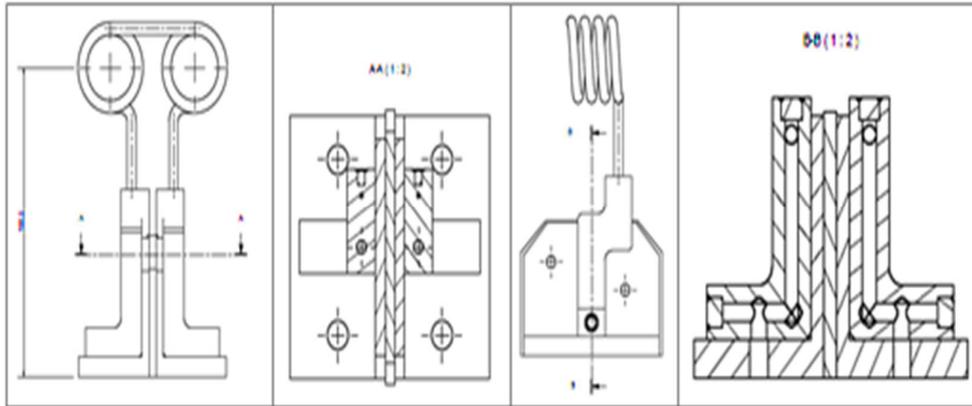


**Figura 27** – Comparativo de bobinas de indução: a) bobina atual, b) proposta de bobina modificada dupla.

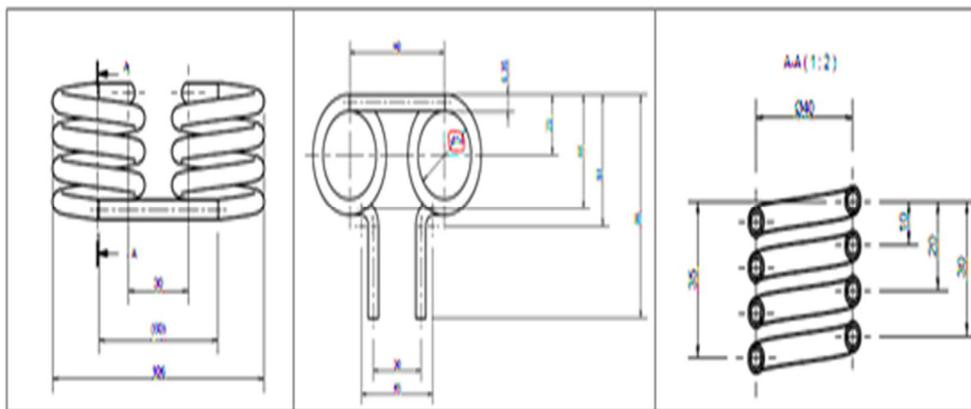
O diâmetro interno das bobinas atuais é de 50 mm. Observou-se que essa medida poderia ser reduzida, pois de acordo com o item “e” da literatura estudada, o aquecimento poderá se tornar mais eficiente conforme a aproximação da peça com o indutor. Dessa forma, reduziu-se para 34 mm. Está distância foi determinada por meio da simulação no software Inventor 2018. Utilizou-se o critério de melhor manuseio da peça pelo operador sem fazer com que ela tocasse na parede da bobina. Os desenhos encontra-se nas referências: (fig. 28), imagem em três dimensões explodida e perspectiva em ângulo, (fig.29), desenho em cortes como mostra a (fig.30), medidas da bobina (fig.31), suporte de apoio às bobinas (fig.32) desenho do duto de arrefecimento e (fig.33 e 34), desenho em corte com medidas internas do duto.



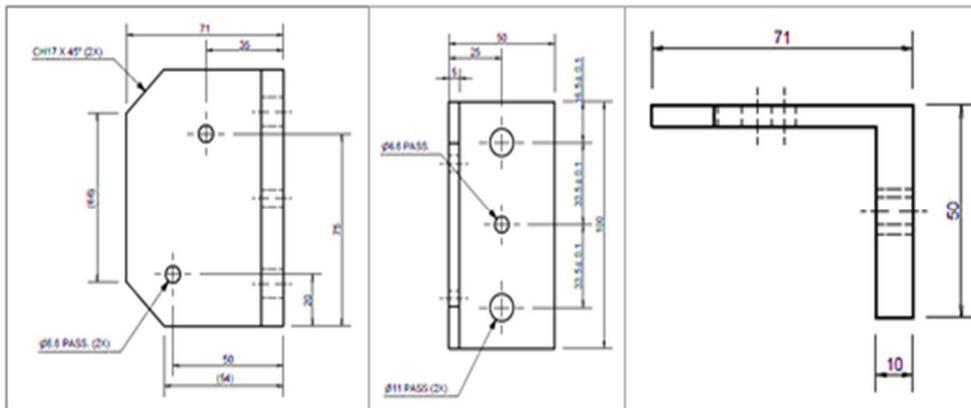
**Figura 28** – Desenho 3d das bobinas duplas. Peça explodida e detalhes em ângulo.



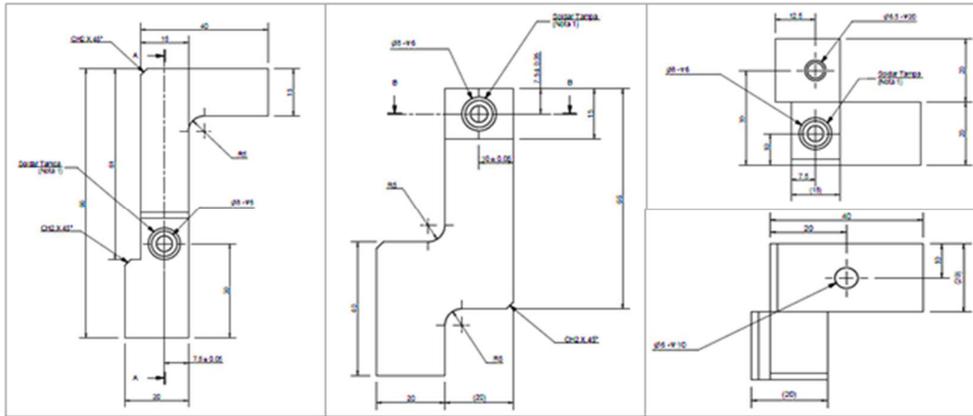
**Figura 29** - Croqui da bobina dupla e corte na região da passagem de água.



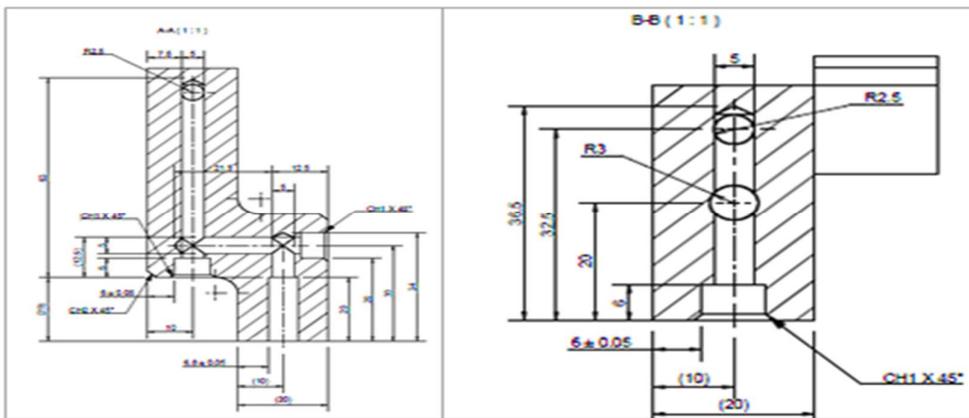
**Figura 30** - Desenho da bobina e suas medidas principais.



**Figura 31** - Desenho em três vistas do suporte de apoio as bobinas.



**Figura 32** - Croqui de duto de passagem de água de resfriamento da bobina dupla de indução.

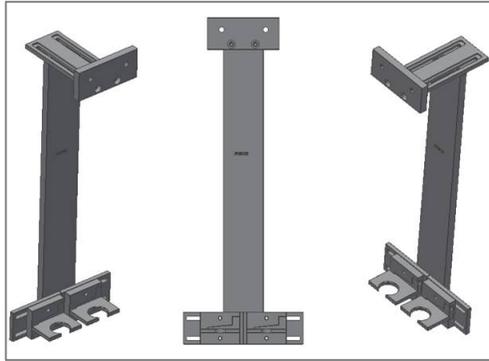


**Figura 33** - Imagem de corte do sistema de resfriamento das bobinas duplas.

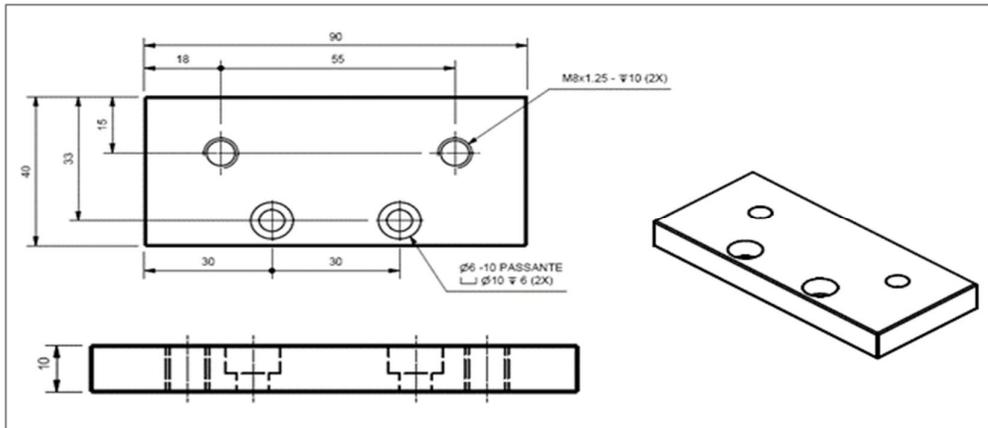
Os desenhos foram orçados por duas empresas, porém a fabricante de nome Albatherm foi selecionada. O preço e a qualidade do material foram os critérios de decisão. Cada bobina dupla custou R\$2.388,00. Portanto, o valor total para as duas estações de tratamento da máquina resultou em R\$4.776,00. Coube no orçamento de até R\$20mil determinados pela empresa.

Após a aprovação desse projeto, outro problema surgiu: o método de posicionamento das peças. Os eixos durante a indução deverão possuir manuseio fácil para o operador na colocação e retirada de peças. Além disso, o ajuste da altura e comprimento também se torna obrigatório, pois não poderá haver interferências entre campos.

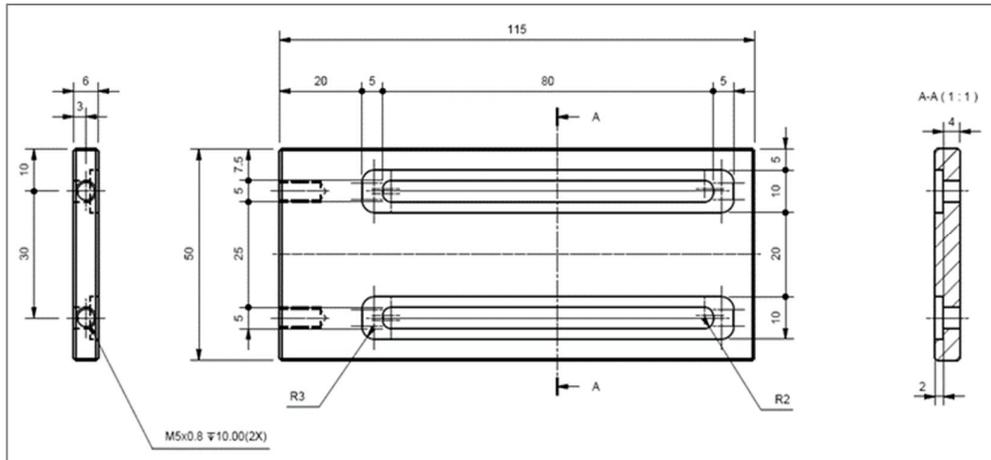
Assim, a equipe técnica realizou novos estudos e outra proposta surgiu: inserção de dispositivo de fixação ajustável. Garras de aço poderão ser utilizadas para posicionar os eixos. O ajuste poderá ser feito por oblongos nas chapas de apoio. Parafusos auxiliarão na conexão das barras. Os detalhes constam na figura 34 a 40.



**Figura 34** - Desenho 3D do dispositivo de fixação de eixos.



**Figura 35** - Desenho da chapa de fixação ao conjunto da máquina.



**Figura 36** - Regulador de comprimento do conjunto.

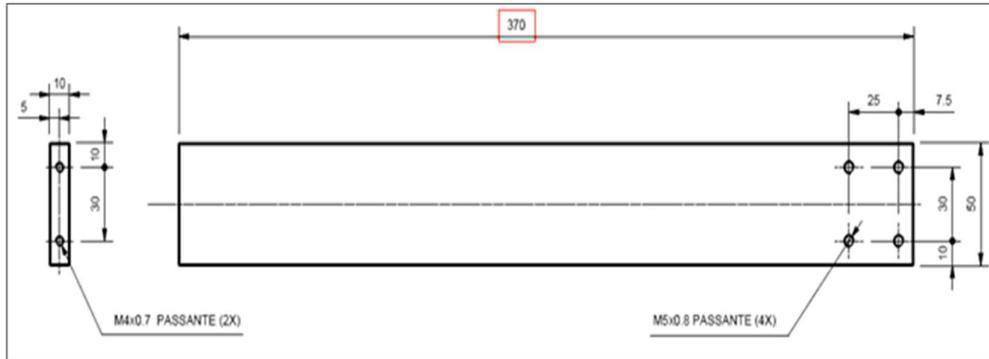


Figura 37 - Chapa de união do dispositivo de fixação.

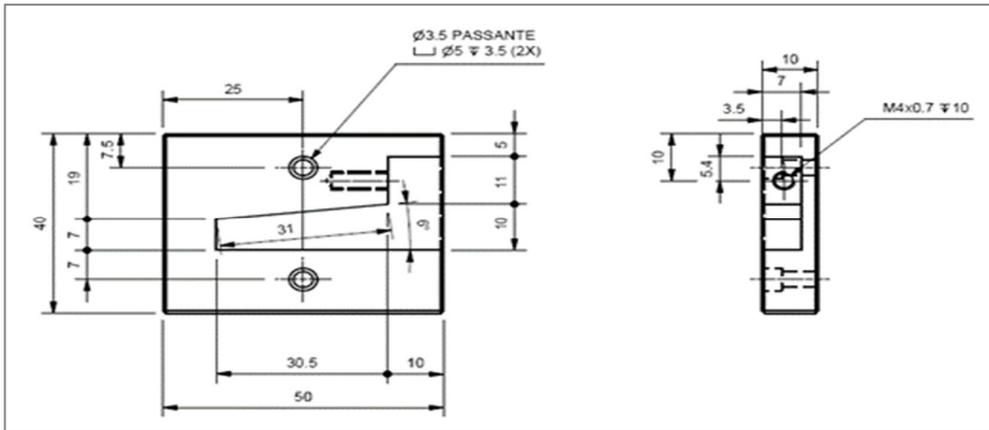


Figura 38 - Croqui da chapa de apoio às garras.

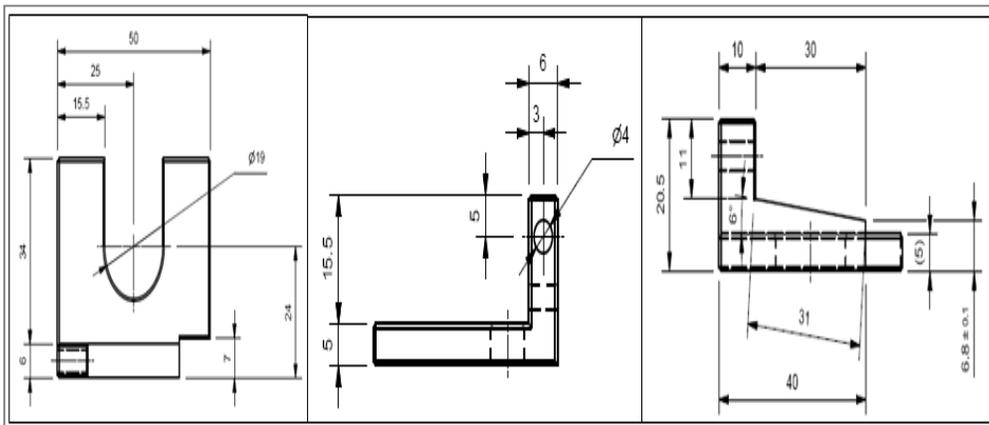
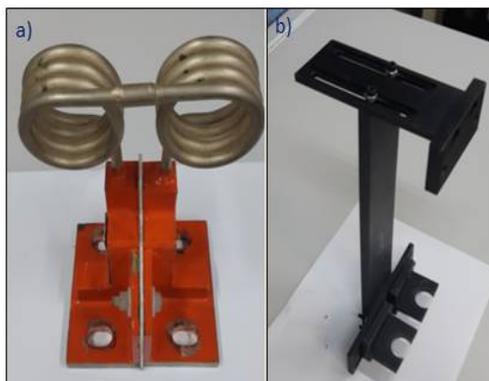


Figura 39 - Desenho da garra de fixação de eixos.

Para a fabricação do dispositivo não foi preciso contactar fornecedor externo, pois a própria empresa X dispõe de Ferramentaria. Então, o valor final de confecção dos dois fixadores foi de R\$2.050,15. Dessa forma, todo gasto com investimento de bobinas mais dispositivos foram R\$6.826,15. A figura 40 exibe a foto do dispositivo e bobina dupla pós-fabricados.



**Figura 40** – a) bobina dupla e b) dispositivo de fixação de eixos.

Essa atividade permitiu outra economia. As pontas que eram fixadas no corpo do dispositivo rotacional da bobina, desgastavam a cada 3 meses. Portanto era necessário fazer a substituição por mais dois. Cada par de pontas custa R\$300. Um ano de uso somar-se-ia uma economia de R\$1.200. Valor representativo para um *kaizen*. A figura 41 exibe pontas recém-adquiridas e usadas.



**Figura 41** - Pontas utilizadas para fixar eixo na indutora: a) pontas novas, b) e c) pontas gastas após 3 meses de uso.

Depois disso, iniciaram-se os testes. Primeiramente as bobinas e os dispositivos foram instalados na máquina conforme figura 42.



**Figura 42** - indutora de eixos com as bobinas duplas e dispositivos de fixação de eixos instalados.

Os resultados não foram satisfatórios, pois a região rosqueada não adquiriu o aquecimento necessário para o revenimento. Não foi preciso fazer análise metalográfica, pois julgou-se que seria uma perda de tempo, uma vez que era admissível segurar o eixo sem proteção de alta temperatura nas mãos.

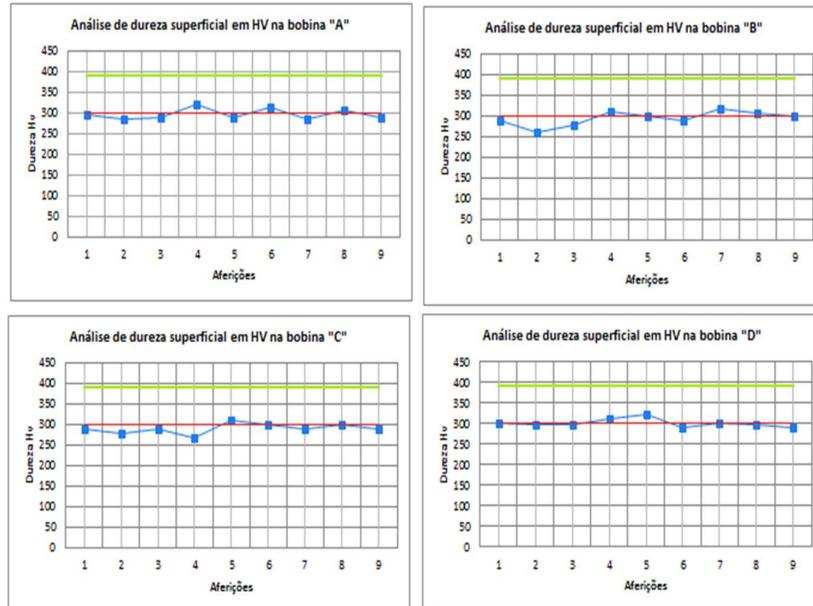
Dessa forma, alterou-se a tensão 50% a mais do comparado a referência atual ou 375v pois o aquecimento está elencado diretamente a esse parâmetro. O calor ocorreu sem dificuldades. Isso possibilitou a verificação metalográfica que foi feito por meio de identificação das bobinas. As bobinas da estação 1 foram chamadas de "A" e "B" da esquerda para direita, já as da estação 2 determinou-se como "C" e "D" de acordo com a figura 43. Após isso, consideraram-se os mesmos valores de configuração das bobinas atuais: tensão de 250V, 40KW de potência e 7 segundos de operação, apenas para se obter uma referência do que poderia ser mudado.

LIST	SETTING	LOWER	UPPER	MEASURE
Q-VOLTAGE	V	250	240	251
Q-POWER	KW		40	2
Q-HEATING TIME	sec	7.0	8.0	7.0
Q-COOLING TIME	sec	0.0	0.0	0.0
Q-COOLING TIME	sec	0.0	0.0	0.0
Q-WATER FLOW	l/m			
Q-HEAT WAIT TIME	sec			
T-VOLTAGE	V	0	0	251
T-POWER	KW			2
T-HEATING TIME	sec	0.0	0.0	0.0
T-AIR COOLING TIME	sec	0.0	0.0	0.0
T-COOLING TIME	sec	0.0	0.0	0.0
T-WATER FLOW	l/m			

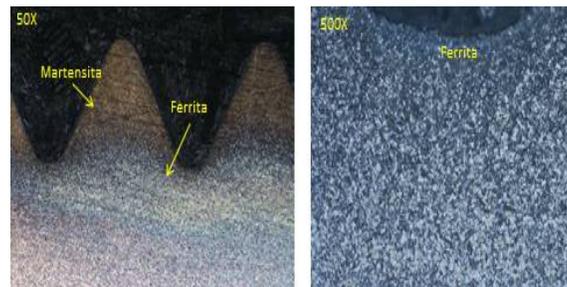
**Figura 43** - Configurações do processo de indução.

A dureza apresentou valores abaixo do especificado, conforme figura 44. A microestrutura exibiu quantidades elevadas de uma propriedade indesejável: ferrita (figura 45). Isso

ocasiona desgastes prematuros no material e problemas na transmissão mecânica. A equipe concordou que não seria viável modificar o tempo, pois o intuito da melhoria é justamente duplicar com o mesmo valor.



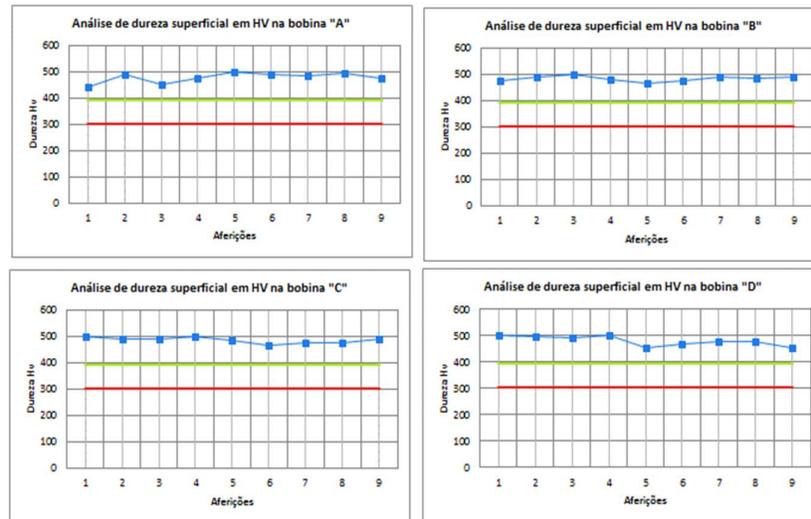
**Figura 44** - Gráfico de dureza nas bobinas de indução. As quatro bobinas identificadas por letras encontram-se com microdureza abaixo do determinado de 300Hv a 390Hv após teste com 375v de tensão.



**Figura 45** - Microestrutura na região da rosca do eixo GW-N. Propriedade de agulhas de martensita revenida (marrom) e demasiada presença de grãos de ferrita (branco).

Outro teste foi feito, porém com um valor menor, com cerca de 10% comparado a tensão atual. O número passou para 280V. O aquecimento ocorreu, mas não foi vista a coloração avermelhada na região da rosca. Compreendeu-se que o calor não havia sido suficiente para um revenimento eficaz. Mesmo assim, por motivo de estudo, verificou-se metalograficamente. Os valores também não foram melhores, pois a dureza mostrou-se

acima do especificado, conforme figura 46, e a microestrutura com agulhas de martensita espessas em tons escuros de acordo com a figura 47.



**Figura 46** - Gráficos de microdureza após teste com 280v de tensão .Os valores estão acima do especificado de 300Hv a 390Hv.



**Figura 47** - Morfologia da região da rosca induzida. Presença de agulhas espessas de martensita pouco revenida na coloração marrom e bege.

### 5.3 Implementação de Produção Puxada

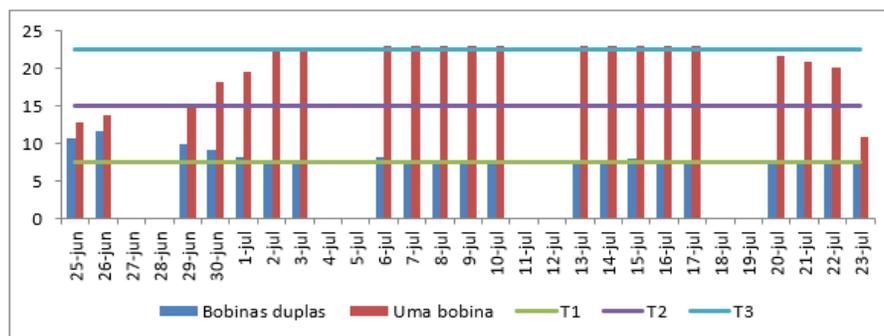
A implementação da produção puxada, buscou produzir de acordo com a demanda solicitada pelo cliente a fim de implantar a melhoria contínua de forma a tornar um sistema produtivo perfeito. Assim, os novos testes foram executados, durante quatro horas por dia em uma semana, pois este foi o espaço de tempo disponível para as atividades de melhoria. Constatou-se que o aumento na tensão de apenas 17% seria o suficiente para suprir a necessidade da máquina.

A configuração da indutora ficou estabelecida com tensão de  $300 \pm 10V$ , potência de 40KW e 7 segundos de operação. O resultado foi positivo. A dureza superficial exibiu números

dentro do determinado. A morfologia da microestrutura do aço também se mostrou uniforme e com propriedades apreciáveis, como agulhas de martensita revenida e profundidades de indução homogênea. Utilizou-se 114 peças para encontrar valores dentro do especificado.

Com relação ao tempo de processo, observou-se extrema mudança na operação, pois a dupla indução criou valores reduzidos quase que pela metade.

Acompanhou-se durante um mês a produção e diagnosticou-se a eliminação de quase dois turnos, contudo julgou-se que esses números ainda poderiam ser melhores, uma vez que a pesquisa e aprovação da nova configuração se aplicou somente no modelo de maior pedido, o GW-N. A figura 48 mostra o comparativo de produção em horas trabalhadas entre o real com bobina dupla implantada e uma simulação caso fosse executada com bobina única.



**Figura 48** - Gráfico comparativo de simulação de produção com uma bobina por estação e acompanhamento real diário com bobinas duplas nos meses de junho e julho de 2019.

A produção sem a melhoria implicaria em horas extras aos sábados, pois o gráfico de capacidade simulada mostra que nos dias 06/08/2019 até o dia 17/08/2019 a indutora não iria conseguir produzir nos três turnos. Os indicadores foram convincentes, pois atenderam às expectativas elaboradas no Mapa de Fluxo de Valor proposto.

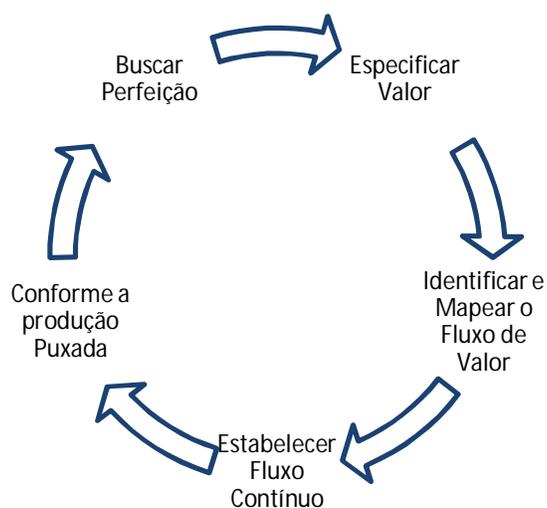
#### 5.4 Implantação de melhoria Ferramenta 5S

A melhoria está focada no aumento da capacidade, porém foi observado que o departamento possuía uma carência na organização dos materiais, ferramentas e lotes de produtos. Dessa forma aplicou-se os 5S em forma de treinamentos semanais. Isso motivou os colaboradores e eles praticaram em diversos lugares do Tratamento Térmico.

Assim foi implantado um processo de melhoria com as atividades executadas dia após dia na produção, os funcionários que participavam direta e indiretamente da pesquisa observaram

o acompanhamento e demonstraram interesse a contribuir com as mudanças, pois perceberam paulatinamente a importância da melhoria contínua. Por isso, diversos treinamentos relacionados à filosofia lean manufacturing foram ministrados. Dois principais objetivos foram destacados, o primeiro o investimento de medidas contra o retrocesso, trata-se do monitoramento das áreas de apoio por meio de auditorias internas e acompanhamento dos indicadores. O segundo é a influência comportamental no ambiente de trabalho. Foram realçadas diversas atitudes que podem atingir diretamente o desempenho do trabalho, como exemplo a arrumação departamental. Dependendo da disposição das ferramentas ou peças todo o processo pode ocorrer atrasos e consequentes aumentos de custos.

Portanto o foco principal é buscar o esmero por meio de uma boa execução na produção, norteando os esforços da empresa, onde todos os colaboradores da cadeia tenham conhecimento profundo de todo o processo a figura 49 ilustra o objetivo da meta.



**Figura 49** - Estabelecimento da Meta com base no Lean manufacturing.

## **6. RESULTADOS**

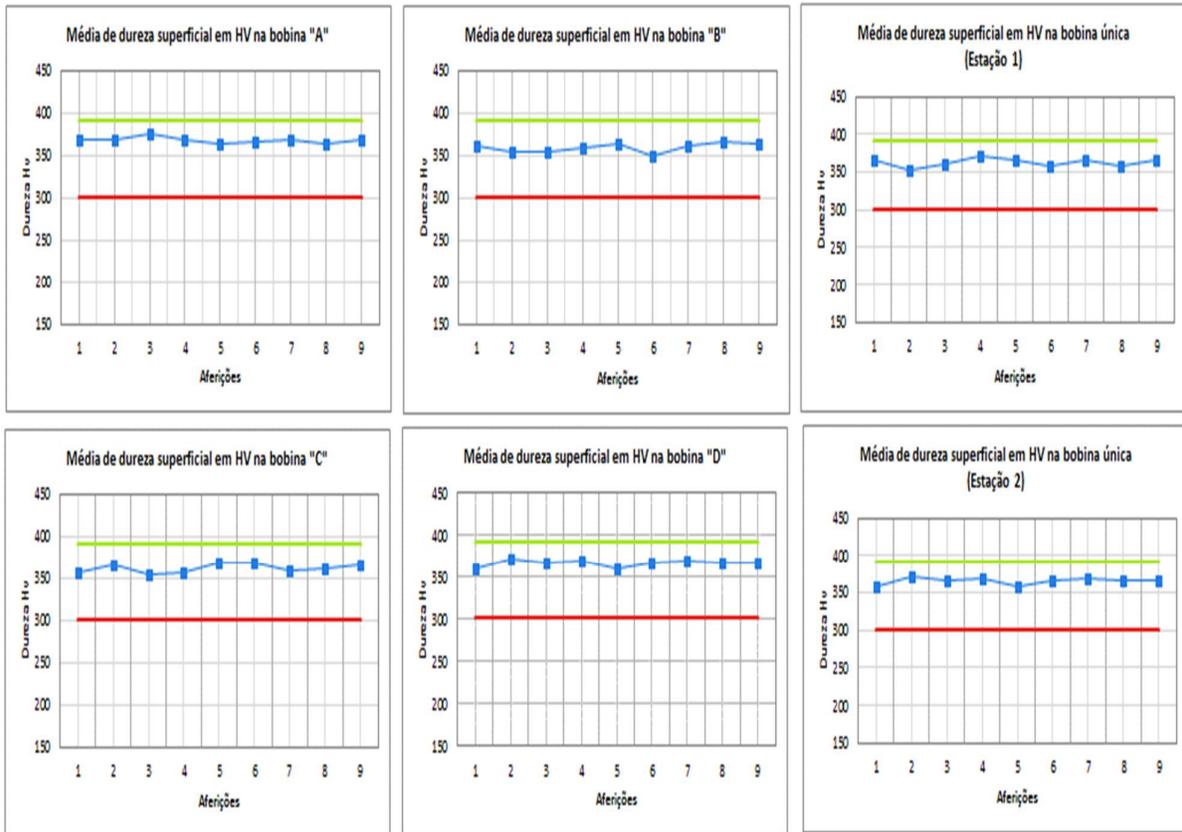
A fabricação de um produto além de integrar recursos, como: matéria prima, máquina, mão de obra, insumos e outros, estabelece o gerenciamento na tomada de decisões. Qualquer que seja a escolha ela terá um efeito.

Este foi o panorama da implantação de melhoria no setor de Tratamento Térmico. A necessidade de observar amplamente a produção exibiu o foco principal de ensejo, onde a escolha de manter um stock de seis dias estaria a gerar um dispendioso transtorno de custo, espaço e transporte de peças. Verificou-se também que optar por conservar a máquina com baixa capacidade de execução de um processo relevante, não seria uma alternativa positiva, uma vez que ela não iria acompanhar o ritmo de outros equipamentos.

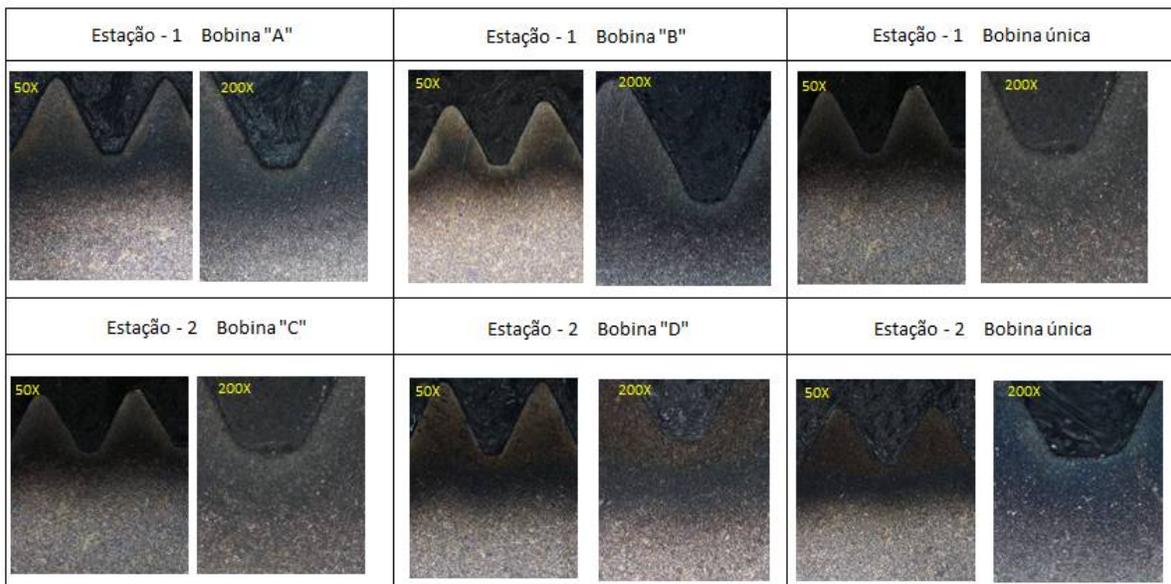
Dessa forma, ocorreu a melhoria no processo de indução de eixo. A ação oportunizou progressos nas diversas extensões da indústria X. Números e indicadores permitem mostrar os resultados satisfatórios, como: a confiabilidade da qualidade do novo processo de indução de eixos, o próspero Mapa de Fluxo de Valor após implantação do kaizen, a redução do custo de fabricação e mudanças de hábitos com as novas ideias.

### **6.1 Análise da Qualidade do Eixo GW-N Após Melhoria**

Para garantir que o produto não atingisse valores fora do especificado determinado pelo cliente, realizaram-se testes inicialmente com 114 peças para se obter os valores de arranjo e tolerâncias. Entretanto a máquina com a nova disposição de bobinas duplas, deveria produzir peças nos mesmos aspectos de uma única bobina por estação. Dessa forma, trinta peças por bobina dupla foram induzidas, analisadas e comparadas com o posicionamento antigo. O resultado foi significativo, pois não houve diferenças na morfologia das micropropriedades mecânicas e tão pouco na microdureza (figura 50). A microestrutura apresentou homogeneidade no revenimento por meio da presença de agulhas de martensita revenida e poucos grãos de austenita retida (figura 51).



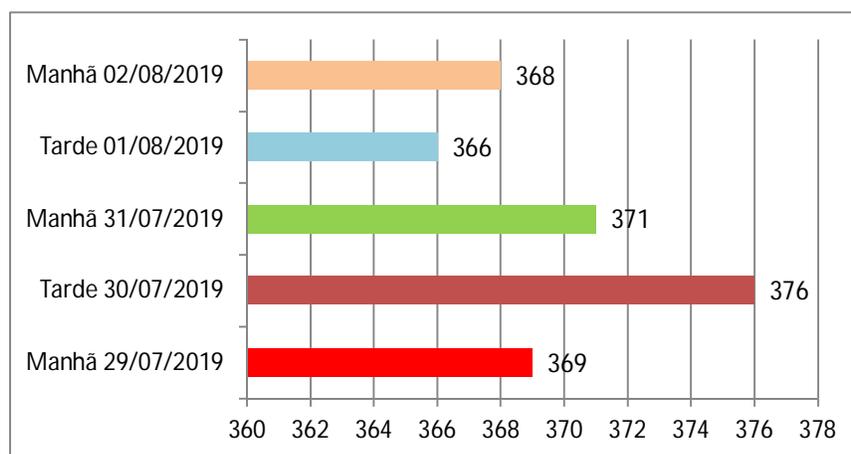
**Figura 50** - Comparativo de microdureza com bobinas duplas e bobina única por estação.



**Figura 51** - Comparativo de microestrutura das bobinas duplas e única. A composição maior de ripas de martensita revenida e poucas grãos livres de austenita.

As aferições com o microdurômetro demonstraram números dentro do determinado. Ainda assim, surgiram-se dúvidas quanto a confiabilidade do processo. Poderia existir variabilidade no decorrer da indução, como se nos primeiros horários de produção as especificações estivessem atendendo à necessidade, porém da metade para o fim as características da qualidade estariam a alterar de modo que apresentassem anomalias.

Assim, mais uma vez realizou-se um novo acompanhamento por uma semana. Coletou-se quatro eixos a cada hora dos primeiros horários de produção que ocorria no período da manhã, ou seja, cerca de 70 peças passavam por hora em cada bobina. No final desse ciclo, coletava-se um eixo por bobina e após uma hora se procedia a mesma técnica até que se completassem quatro horas de produção. O total somava-se 16 peças ou 4 eixos por bobina. Repetiu-se o mesmo procedimento no segundo dia, contudo nos horários após o almoço. Em virtude de possuir apenas 3,5 horas de trabalho nesse período segregou-se apenas 12 eixos. Esse procedimento foi acontecendo de modo intercalado com os ciclos da manhã e tarde até que se completasse a semana (figura 52). No final do teste acumularam-se 72 unidades.



**Figura 52** - Média de microdureza analisadas durante uma semana de produção em diferentes horários.

Todas as durezas foram inspecionadas e o resultado obtido com variações dentro da qualidade do cliente. A microestrutura mais uma vez não apresentou irregularidades como presença de ferrita ou agulhas de martensita grossa. Dessa forma, o processo foi aprovado. Para monitorar a produção, incluiu-se uma ficha de acompanhamento do lote diário, onde existem campos de aprovação do *Setup* com uma peça por bobina e coleta de um eixo por lote de produção. Todas as informações mostraram-se prósperas.

## 6.2 Novo Mapa de Fluxo de Valor

A fábrica X antes do projeto de melhoria não possuía um estudo panorâmico da produção, embora a alta gestão por experiência apontasse o setor de Tratamento Térmico como oportunidade de mudanças. Não havia um método visual que demonstrasse o foco dos problemas.

No momento que a equipe de melhorias iniciou a investigação dos desperdícios aplicou-se a metodologia do Mapa de Fluxo de Valor. Por meio da conjunção de dados de indicadores e documentos de acompanhamento de processos fabris foi possível identificar os departamentos com maiores perdas. O Tratamento Térmico exibiu maior quantidade de stock de processo, dias de espera e ciclo de fabricação prolongado. Observou-se também que a máquina de induzir eixos era o gargalo. Ela era responsável por manter o stock e desperdício de tempo, custos elevados no setor e movimentação de materiais.

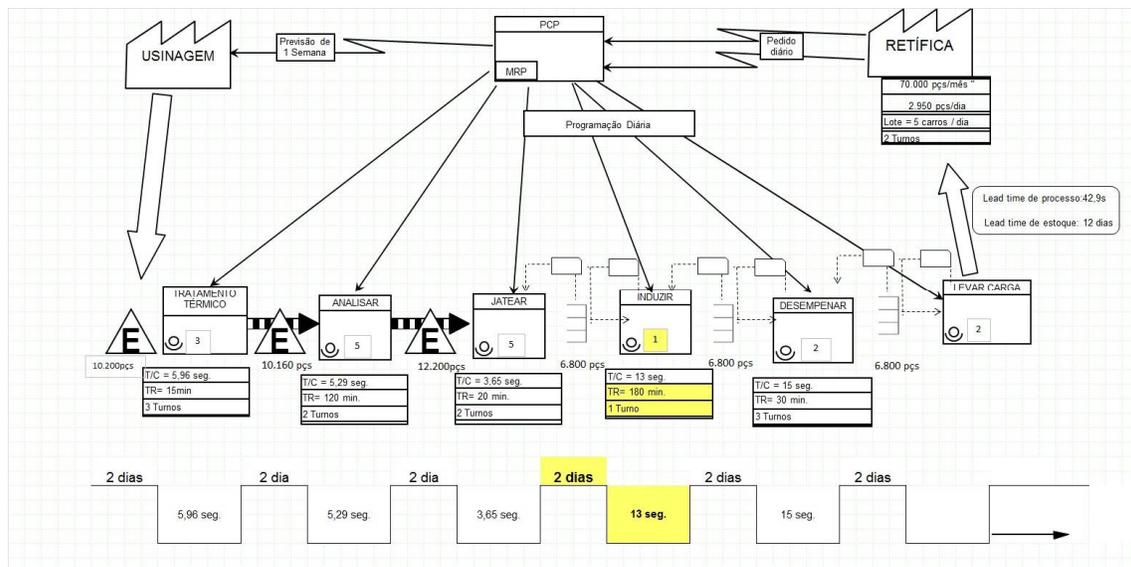
Seguindo este contexto, realizou-se uma proposta do melhor cenário com o uso da ferramenta VSM. O ideal seria uma produção puxada com stock em processo necessário apenas para atender ao pedido diário do cliente. Visto isso, após a implantação da melhoria muitos benefícios foram detectados como: redução de turno no processo de induzir, remanejamento de duas mãos de obras que trabalhava em outros turnos, diminuição da quantidade de peças e espaços no stock entre processos principalmente na jateadeira, indutora e desempenadeira.

Atribuiu-se isso por meio da utilização de cartões *kanban* para rastreamento de lotes e sinalização da indispensável produção. O método de criar um supermercado entre processos culminou nos resultados positivo. Não obstante, identificou-se alguns bloqueios na melhoria. Com um mês e 21 dias de acompanhamento observou-se que o início da produção ainda continuava apresentando números altos de stock como no tratamento térmico de peças, análise da qualidade e jateadeira no início de produção, dois dias de stock e mesmo número de eixos armazenados entre processos. A produção de dois dias no forno manteve o acúmulo de peças do processo anterior, ou seja, a fabricação ainda continuava empurrada devido a melhoria ser somente no setor de Tratamento Térmico. Essa cultura se perpetua em toda a fábrica. Será necessário não somente um trabalho de reestruturação física setoriais, mas conscientização organizacional, mostrando a todos os colaboradores o quanto

o impacto poderá ser positivo no momento que a filosofia lean manufacturing for estabelecida.

O aumento do tempo de Setup da indutora, ocasionou por ter sido duplicado o número de bobinas a aprovação através da análise metalográfica foi aplicada para quatro eixos. O que era cerca de duas horas passou a ser três. Este tempo não piorou porque foi adotado o método de embutir duas amostras por vez, já que o processo de embutimento é o gargalo da análise, pois a máquina possui um ciclo de 40 minutos por corpo de prova. Novas medidas serão tomadas com o intuito de reduzir o tempo de preparo da indutora, dentre elas está o crescimento da confiabilidade da máquina, um estudo futuro poderá garantir a estabilidade da indução.

Dessa forma, a aprovação poderia ocorrer em apenas uma bobina por período. Total de duas peças para descarte de verificação destrutiva da qualidade. O VSM da figura 53, mostra o panorama atual pós-melhoria.



De modo geral, o kaizen trouxe muitas mudanças positivas. Embora o tempo de acompanhamento tenha sido curto e a mudança pessoal dos funcionários demorada. Estima-se que maiores resultados poderão ser obtidos por mais seis meses de assistência. E o Mapa de Fluxo de Valor estará nas mesmas configurações do proposto da figura 22.

### 6.3 Resultado do Custo de Fabricação

A pesquisa no setor de Tratamento Térmico foi orientada principalmente pela gestão da fábrica, pois se soube que havia excessivos gastos nesta área. Mesmo com diagnósticos de problemas por meio do método VSM em outras áreas, a diretoria decidiu começar a eliminação do desperdício no referido setor. Autorizou-se um investimento de até R\$20mil para *kaizens* incluindo pagamento de serviços externos.

Todo o acompanhamento foi executado no Tratamento Térmico. Localizaram-se diversas oportunidades de melhoria. Todavia, o dinheiro foi aplicado somente para modificação da máquina de indução e amostras de eixos para teste, uma vez que as pesquisas e entrevistas com funcionários ocorreram todos no período de expediente, sem alongamento de tempo para horas extras. Conforme tabela 6 de gastos com a melhoria, todo o valor foi de R\$9.931 com isso obteve-se um saldo positivo de R\$10.068,85 que foi devolvida para a indústria X.

**Tabela 6 - Gastos com a Melhoria na Indutora.**

Bobinas de indução	R\$ 4.776,00
Dispositivo de fixação	R\$ 2.050,15
Peças de teste	R\$ 3.105,00
<b>Total de gastos</b>	<b>R\$ 9.931,15</b>

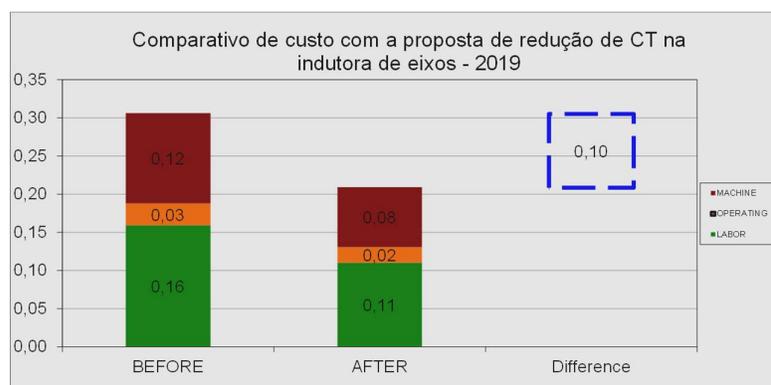
Uma nova avaliação dos indicadores de qualidade, custo, entrega, meio ambiente e segurança durante o período da implantação até a produção inicial foi realizada.

No item qualidade que representa o número de reclamações dos clientes internos e externos sobre as condições do produto, não apresentou números alusivo ao novo processo de indução. Referente ao custo de fabricação pesquisou-se em conjunto com o departamento de Engenharia e Contabilidade o impacto do kaizen no processo. O resultado foi de uma redução de 32% no valor da operação. A abreviação do número de turnos, remanejamento da mão de obra para setores adjacentes incluindo troca de turnos, diminuição do uso de recursos gerais como energia elétrica, ferramental, água destilada etc. foi atribuída nos custos diretos e fixos do valor unitário.

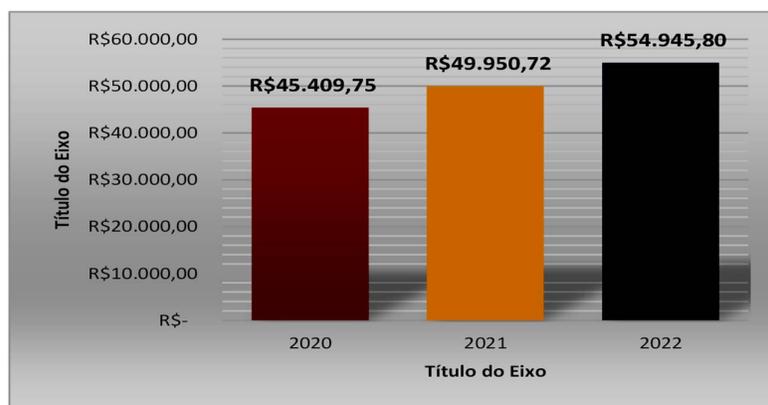
O eixo principal diminuiu no processo de tratamento térmico no valor final do eixo em R\$0,10 segundo dados do departamento de contas. O gráfico da figura 54 demonstra os valores rateados do processo de indução na conjuntura de antes e após a melhoria.

Foi projetado o ganho com a redução no processo com a inclusão de outros modelos. A figura 55 exibe o gráfico do mérito com o pedido do cliente, três anos após a implantação do kaizen. Valores acima de R\$40mil são manifestados de modo próspero.

Vale ressaltar que, nesses rateios não foram inseridos os desperdícios pouco observados para uma cultura organizacional que não adotou a filosofia *lean*, como o custo de manter um stock, deslocamento de peças e transporte, se fosse calculado os ganhos ainda seriam maiores. Foi comunicado o departamento responsável para esta incorporação dos custos, mas não foi obtido êxito.



**Figura 54** - Comparativo do custo de fabricação no processo de indução antes e depois da melhoria.

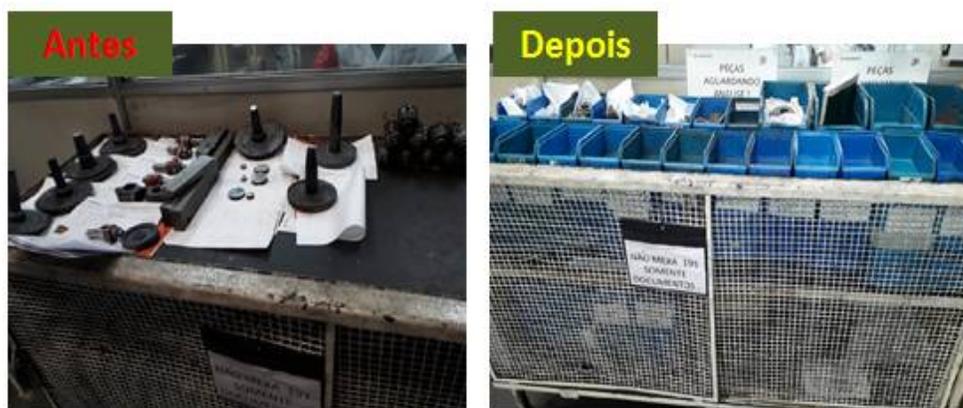


**Figura 55** - Previsão de ganhos após implantação de melhoria.

Os indicadores de reclamação do cliente com atrasos de entrega, impacto negativo do meio ambiente e segurança não sofreram nenhuma alteração com a mudança setorial. Isso demonstra que os processos foram íntegros.

## 6.4 Mudanças

A figura 56 exibe a bancada de amostras a serem analisadas antes e depois do 5S. Placas de avisos, etiquetas de identificação e caixas para depósitos de peças por modelo foram colocadas. Tudo isso facilitou na aceleração das atividades.



**Figura 56** - Organização da bancada de espera de amostras a serem analisadas.

Com as atividades executadas dia após dia na produção, os funcionários que participavam direta e indiretamente da pesquisa observaram o acompanhamento e demonstraram interesse a contribuir com as mudanças, pois perceberam paulatinamente a importância da melhoria contínua. Por isso, diversos treinamentos relacionados à filosofia lean manufacturing foram ministrados. Dois principais objetivos foram destacados, o primeiro o investimento de medidas contra o retrocesso, trata-se do monitoramento das áreas de apoio por meio de auditorias internas e acompanhamento dos indicadores. O segundo é a influência comportamental no ambiente de trabalho. Foram realçadas diversas atitudes que podem atingir diretamente o desempenho do trabalho, como exemplo a arrumação departamental. Dependendo da disposição das ferramentas ou peças todo o processo pode ocorrer atrasos e consequentes aumentos de custos.

Com a organização dos stocks por intermédio da formação dos supermercados de peças e quantidades determinadas de eixos entre processos, pode-se perceber que o ambiente se transformou limpo, de fácil acesso e rápido manuseio, pois os carros estavam identificados por cartões. Uma marcação de pintura no piso limitou a quantidade de eixos no veículo. A figura 57 apresenta um integrante da equipe de melhorias demarcando a área do armazenamento.



**Figura 57** - Marcação do piso da área do stock para limitar quantidade de peças.

O emprego da metodologia dos 5S foi muito relevante tanto para a aplicação da proposta do Mapa de Fluxo de Valor, como para conscientização setorial.

O 5S aplicado ao stock culminou em ações exemplares. A figura 58 exhibe o antes e o depois da prática do kaizen.



**Figura 58** - Comparativos de antes e depois da organização na área de stock de peças tratadas.

Os funcionários da produção aproveitaram essas medidas e aplicaram esta metodologia nos postos e ferramentas de trabalho, a figura 59 mostra ações simples, porém eficazes para o desempenho de suas atividades.



**Figura 59** - contraste da aplicação dos 5S nas ferramentas das bancadas de trabalho.



## 7. CONCLUSÃO

O polo industrial de Manaus alcançou condições inoportunas, sobretudo o segmento de duas rodas que obteve perdas dispendiosas. Nesse instante é que as organizações podem optar por esmorecer ou buscar oportunidades de crescimento, uma vez que seus lucros já não cobrem os gastos de sobrevivência. As empresas que anseiam permanecer no mercado buscam alternativas geralmente apoiadas em técnicas e metodologias que manifestaram resultados satisfatórios historicamente.

É nesse sentido que essa pesquisa abarcou na filosofia *lean manufacturing* a redução de desperdícios, aumento de capacidade e diminuição de custo de fabricação de uma empresa do ramo de peças de motocicleta do distrito industrial de Manaus, Amazonas Brasil. O processo de melhoria foi apoiado nas ferramentas do Mapa de fluxo de valor e kaizen para promover melhorias como a modificação das características físicas de uma máquina de indução. Este procedimento culminou no alcance do objetivo principal dessa pesquisa, identificar as causas dos problemas com perdas no ambiente selecionado para estudo (o setor de Tratamento Térmico), bem como favorecer a redução de turnos, mão de obra e *lead time* do stock entre processos. Para isso, apostou-se no estudo de alteração de um segmento de fabricação apontado como gargalo. A primeira opção foi a requisição de uma nova máquina, que em seguida foi descartada pela direção em virtude dos altos preços apresentados pelos fornecedores. Dessa forma, o desafio tornou-se maior, pois a próxima escolha deveria ocorrer com a mudança do equipamento existente, uma vez que os valores disponíveis para esse projeto foram limitados, mas as ações foram bem-sucedidas, uma proposta de aumento de capacidade foi apresentada e testes foram realizados para validação.

Nesse momento a necessidade do conhecimento técnico com base na metalurgia foi primordial, pois precisava-se produzir eixos induzidos dentro da especificação do desenho do cliente. Logo, técnicas aplicadas para encontrar os parâmetros da máquina resultou na aprovação. As práticas do *lean manufacturing* no setor também foram marcantes para os funcionários. Mudanças de comportamento e conscientização quanto à importância do combate aos desperdícios, alcançou respostas satisfatórias, como na organização do espaço físico, ferramentas de uso diário e de manutenção do departamento.

Adversidades também foram presenciadas no estudo, de maneira que causou interferências no desempenho dos resultados. Inicia-se pela opção da gestão no desenvolvimento da

melhoria no setor de Tratamento Térmico. O VSM encontrou outras oportunidades de melhoria no panorama geral da fábrica X, apesar do setor de Tratamento apresentar números exagerados no stock e processo de fabricação, outros departamentos da Produção acabaram não sendo visitados. Dados financeiros para análise de planejamento e resultados não foram conferidos com maior rigor, como os custos de fabricação, gastos com recursos gerais do processo e impacto da melhoria. Foi confiado apenas aos funcionários do departamento Comercial, uma vez que as informações comunicadas eram sigilosas até mesmo para outros setores. O prazo de entrega do projeto influenciou nas ações e dados registrados, como nos testes para aprovação de outros modelos de eixos na máquina de induzir, já que a pesquisa foi contemplada apenas para o modelo de maior produção, bem como estudo para diminuição do tempo de *Setup* da indutora, pois com as bobinas duplas manifestou-se a necessidade de maior número de análises. Isso iria fornecer informações precisas, sobretudo os ganhos com as melhorias, foram aplicados somente para modificação da máquina de indução e amostras de eixos para teste, uma vez que as pesquisas e entrevistas com funcionários ocorreram todos no período de expediente, sem alongamento de tempo para horas extras e gastos com a melhoria, todo o valor foi de R\$9.931 com isso obteve-se um saldo positivo de R\$10.068,85 que foi devolvida para a indústria X.

Vale ressaltar a relevância da pesquisa para trabalhos futuros embasados na apuração de dados e revisão lateral para outros modelos de produtos no processo de indução, balanceamento nos tempos de produção do setor de Tratamento Térmico a fim de identificar mudança para produção puxada a partir de um novo redimensionamento dos stocks entre processos e reprodução de melhorias em outros setores com o uso do método VSM.

Assim, esse estudo teve como escopo contribuiu na redução de desperdício que elevavam os custos da fábrica, onde foi possível conhecer o uso da técnica do Mapa de Fluxo de Valor e assim identificar o maior foco do problema e desenhar o Mapa futuro, tornando o processo confiável e eficaz para implementação.

## REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Ahmad, A. N. A., Lee, T. C., Ramlan, R., Ahmad, M. F., Husin, N., & Abdul Rahim, M. (2017). Value Stream Mapping to Improve Workplace to support Lean Environment. *MATEC Web of Conferences*, 135, 00032. <https://doi.org/10.1051/matecconf/201713500032>.
- Abraciclo, A. B. C. (2019). Associação Brasileira de Motocicletas. *Web of Conferences ritmo das fabricantes, Press Releases*. <http://www.abraciclo.com.br/2019/americalatina>.
- Antunes, J. (2008). *Sistemas de Produção*. (Bookmam, Ed.), *Sistemas de Produção: Conceitos e práticas para projeto e gestão de produção enxuta*. Porto Alegre.
- ASM. (1991). *Heat Treating*. ASM Internacional - Universidade da Califórnia 1012.
- ASM. (1992). *Alloy Phase Diagrams*. ASM International - Metals handbook, ASM International. Handbook Committee.
- ASM. (2004). *Metallography and Microstructures*. ASM Internacional - Metals handbook, ASM International. Handbook Committee.
- Bo, Z., Yong, S., Tan, L., Yang, H. X., Cao, W. Q., & Bao, Y. Z. (2013). Research on a new process of the non-quenched and tempered steel with high strength and high toughness. *Physics doi Alloy Phase Diagrams. Procedia*, 50 (October 2012), 25–31. <https://doi.org/10.1016/j.phpro.2013.11.006>.
- Santos, Carla, R. (2007). 3, 223–232. Manufacturing-Greening Processes Using specific Lean Production.
- Chiarini, A. (2014). Sustainable manufacturing-greening processes using specific Lean production tools: An empirical observation from European motorcycle component manufacturing rs. *Journal of Cleaner Production*, 85, 226–228. <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2014.07.080>.
- Chiaverini, V. (2008). *Aços e Ferros Fundidos* (7th ed.). São Paulo: ABM.
- Child, D. J., West, G. D., & Thomson, R. C. (2011). Assessment of surface hardening effects from shot peening on a Ni-based alloy using electron backscatter diffraction techniques. the end manufacturing e *Acta Materialia*, 59 (12), 4825–4834. <https://doi.org/10.1016/j.actamat.2011.04.025>.
- Das, S., Mukhopadhyay, G., & Bhattacharyya, S. (2015). Failure analysis of axle shaft of a fork lift. *Case Studies in Engineering Failure Analysis*, 3, 46–51. <https://doi.org/10.1016/j.csefa.2015.01.003>.

- Drehmer, A., Gerhardt, G. J. L., & Missell, F. P. (2013). Case Depth in SAE 1020 Steel Using Barkhausen Noise, *16*(5), 1015–1019. <https://doi.org/10.1590/S1516-14392013005000095>.
- Franco, M. A. M. (2016). Pesquisa-Ação E a Formação Do Professor Em Serviço. *Journal of Research in Special Educational Needs*, *16*, 827–830. <https://doi.org/10.1111/1471-3802.12339>.
- Gupta, S., & Jain, S. K. (2013). A literature review of lean manufacturing. *International Journal of Management Science and Engineering Management*, *8*(4), 241–249. <https://doi.org/10.1080/17509653.2013.825074>.
- James. Roos. Womack. (1990). A Máquina que mudou o mundo. 9–37. [https://doi.org/10.1016/0024-6301\(92\)90400-V](https://doi.org/10.1016/0024-6301(92)90400-V).
- Jia, S., Yuan, Q., Lv, J., Liu, Y., Ren, D., & Zhang, Z. (2017). Therblig-embedded value stream mapping method for lean energy machining. *Energy*, *138*, 1081–1098. <https://doi.org/10.1016/j.energy.2017.07.120>.
- Ko, C.-H., Wang, W.-C., & Kuo, J.-D. (2018). Improving Formwork Engineering Using the Toyota Way. *Journal of Engineering, Project, and Production Management*, *1*(1), 13–27. <https://doi.org/10.32738/jepm.201107.0003>.
- Krolczyk, J. B., Legutko, S., & Szczepańska, A. (2017). Value Stream Mapping as a tool for the optimization of production – case study. *MATEC Web of Conferences*, *121*, 02006. <https://doi.org/10.1051/mateconf/201712102006>
- Kumar, R., & Kumar, P. S. (2014). Strategy development for lean manufacturing implementation in a selected Manufacturing company. *The International Journal Of Engineering And Science*, *3*(3), 51–57.
- Lima, D. D., Tegner, M. G., Veit, D. R., & Neto, S. L. H. C. (2015). Value Stream Mapping: um estudo de caso em uma cervejaria de grande porte. *XXXV Encontro Nacional de Engenharia de Produção*, *35*.
- Menelau, S., Michel, P., Santos, F., Giovanni, B., Castro, A., Michel, P., ... Castro, A. (2015). Realizar pesquisa sem ação ou pesquisa-ação na área de Administração? Uma reflexão metodológica, 40–55. <https://doi.org/10.5700/rausp1183>. RAUSP Management Journal – São Paulo/SP.

- Miguel, P. A. C., Fleury, A., Mello, C. H. P., Nakano, D. N., Lima, E. P. de, Turrioni, J. B., ... Pureza, V. (2013). *Metodologia de Pesquisa em Engenharia de Produção e Gestão de Operações* (2nd ed.). Rio de Janeiro: Elsevier.
- Minayo, M. C. de S., & Sanches, O. (2005). Quantitativo-qualitativo: oposição ou complementaridade? *Cadernos de Saúde Pública*, 9(3), 237–248. <https://doi.org/10.1590/s0102-311x1993000300002>.
- Moraes, E. D. E. O., & Nogueira, R. J. B. (2014). Um Estudo Sobre a Empresa Moto Honda da Amazônia, 112–129, Manaus - Amazonas - Brasil.
- Ohno, T. (1988). *Toyota Production System: Beyond Large-Scale Production*. New York: Productivity Press. Production, 1–4.
- Pakes, P. R. (2018). Análise da Aplicação dos Conceitos da Produção Enxuta: Estudo de Caso no setor de manutenção de um shopping. In: Simpósio de Engenharia, Gestão e Inovação, 2018, Guaratinguetá/SP. Anais de Engenharia.
- Pimenta, M. L. (2019). Cross-Functional Integration In Product Development, 1–10. Retrieved *Journal of Business Research*, from <https://doi.org/10.32358/rpd.2019.v5.350>.
- Pompeu, A. M. (2014). A filosofia lean manufacturing: seus princípios e ferramentas de Notas de estudo de Engenharia de Produção implementação, 13–30. Centro Universitário Anhanguera de Campo Grande.
- Rehman, A. U., Alkhatani, M., & Umer, U. (2018). Multi criteria approach to measure leanness of a manufacturing organization. *IEEE Access*, 6, 20987–20994. <https://doi.org/10.1109/ACCESS.2018.2825344>.
- Rother, M.; Shook, J. (2008). *Aprendendo a enxergar: Mapeando o Fluxo de valor para agregar Valor e eliminar o Desperdício*. São Paulo: Lean Institute do Brasil.
- Silva, G., & Laureano, G. (2018). chuveiros elétricos Troubleshooting applied to continuous improvement of showerheads, 3, 89–107.
- Silva, M. H., & Oliveira, M. C. (2016). Avaliação de um sistema de produção por meio da aplicação do mapeamento do fluxo de valor. *Encontro Nacional de Engenharia de Produção*. São Paulo.
- Teagho, F. T., Gourgues-Lorenzon, A.-F., Maziere, M., Galtier, A., & Tankoua, F. (2018). The Effect of Microstructure Constituents on the Static and Dynamic Fracture Behavior of High Strength Quenched and Tempered Martensitic Steels. *Procedia Structural Integrity*, 13, 763–768. <https://doi.org/10.1016/j.prostr.2018.12.126>.

- Teixeira, P. M. M., & Neto, J. M. (2018). Sobre a Pesquisa-Ação nas Dissertações e Teses em Ensino de Biologia ( 1972-2011 ), 283–308.
- Toparli, M. B., Yurtdas, S., & Kılıncdemir, E. (n.d.). Residual Stresses : Friend or Foe ?
- Tyagi, S., Choudhary, A., Cai, X., & Yang, K. (2015). Value stream mapping to reduce the lead-time of a product development process. *International Journal of Production Economics*, 160, 202–212. <https://doi.org/10.1016/j.ijpe.2014.11.002>.
- Wang, H., & Chen, Y. (2017). The effect of finish rolling temperature on the microstructure and properties of non-quenched and tempered Bainite steel. *Procedia Engineering*, 207, 1839–1843. <https://doi.org/10.1016/j.proeng.2017.10.948>.
- Womack, J. P. (2006). Value stream mapping [lean production]. *Manufacturing Engineering, of Business Research*, from 136(5), 145–156.
- Zambaldi, E., Magalhães, R. R., Barbosa, B. H. G., da Silva, S. P., & Ferreira, D. D. (2017). Lowcost automated control for steel heat treatments. *Applied Thermal Engineering*, 114, 163–169. <https://doi.org/10.1016/j.applthermaleng.2016.11.177>.
- Żywiótek, J. (2018). The application of value stream mapping method for identifying basic drawbacks and reducing duration of information process in a company. *Production Engineering Archives*, 11, 36–39. <https://doi.org/10.30657/pea.2016.11.09>.