UNIVERSIDADE FEDERAL DE JUIZ DE FORA
CURSO DE GRADUAÇÃO EM ENGENHARIA DE PRODUÇÃO

BEATRIZ THOMAZ RABELLO

EMPREGO DE FERRAMENTAS ESTATÍSTICAS E DE QUALIDADE NA ANÁLISE DE *LEAD TIME* EM UMA INDÚSTRIA DO SETOR AUTOMOBILÍSTICO

JUIZ DE FORA
2020

BEATRIZ THOMAZ RABELLO

EMPREGO DE FERRAMENTAS ESTATÍSTICAS E DE QUALIDADE NA ANÁLISE DE *LEAD TIME* EM UMA INDÚSTRIA DO SETOR AUTOMOBILÍSTICO

Trabalho de Conclusão de Curso apresentado à Faculdade de Engenharia da Universidade Federal de Juiz de Fora, como requisito parcial para a obtenção do título de Engenheiro de Produção.

Orientador: D. Sc. Luiz Henrique Dias Alves

Co-Orientador: D. Sc. Clarice Porto

JUIZ DE FORA

2020

FICHA CATALOGRÁFICA - BIBLIOTECA UFJF

Ficha catalográfica elaborada através do programa de geração
automática da Biblioteca Universitária da UFJF,
com os dados fornecidos pelo(a) autor(a)

Thomaz Rabello, Beatriz.
EMPREGO DE FERRAMENTAS ESTATÍSTICAS E DE QUALIDADE NA ANÁLISE DE LEAD TIME EM UMA INDÚSTRIA DO SETOR AUTOMOBILÍSTICO : Um estudo de tempos de produção de cabines de caminhão / Beatriz Thomaz Rabello. -- 2020.
73 p. : il.

Orientador: Luiz Henrique Dias Alves
Coorientadora: Clarice Porto
Trabalho de Conclusão de Curso (graduação) - Universidade Federal de Juiz de Fora, Faculdade de Engenharia, 2020.

1. indústria automobilística. 2. design de experimentos. 3. Lean manufacturing. I. Dias Alves, Luiz Henrique , orient. II. Porto, Clarice , coorient. III. Título.

BEATRIZ THOMAZ RABELLO

EMPREGO DE FERRAMENTAS ESTATÍSTICAS E DE QUALIDADE NA ANÁLISE DE *LEAD TIME* EM UMA INDÚSTRIA DO SETOR AUTOMOBILÍSTICO

Trabalho de Conclusão de Curso apresentado à Faculdade de Engenharia da Universidade Federal de Juiz de Fora, como requisito parcial para a obtenção do título de Engenheiro de Produção.

Aprovada em 27 de novembro de 2020

BANCA EXAMINADORA

D. Sc. Luiz Henrique Dias Alves (Orientador)
Universidade Federal de Juiz de Fora

D. Sc. Clarice Porto (Co-Orientador)
Universidade Federal de Juiz de Fora

D. Flávio Bilha dos Santos

AGRADECIMENTOS

Agradeço inicialmente à minha mãe, Lucilene, e irmã, Evelyn, por tudo que viveram para que eu pudesse chegar onde estou hoje, pelo incentivo e por compartilharem meus sonhos comigo. Obrigada também aos demais familiares que se mantiveram presentes independente da minha ausência, pelo carinho e preocupação.

Sou grata ao Luiz, querido orientador que lutou ao meu lado para que esse trabalho fosse concluído, mesmo que com tantos quilômetros de distância. Agradeço também aos demais professores da UFJF.

Ao meu orientador do estágio, o engenheiro Flávio Bilha, por ser fonte diária de inspiração e de inúmeras reflexões, e por mostrar o tipo de profissional que quero ser. Ao gestor da área, Rodrigo Santana, pela confiança, oportunidade e privilégio de poder colocar na prática os conceitos aprendidos em sala de aula.

Aos meus queridos amigos que tanto me apoiam. Em especial à Ana Clara, pela parceria dentro de casa, Ana Carolina e Letícia, por lutarmos para que as complicações da vida não nos afastem.

Sou grata também aos amigos que a Universidade me deu, principalmente Conrado, Gabriel, Luiza e Victor Hugo, pela parceria, confiança e presença.

Agradeço ao Pedro, que muitas vezes acreditou em mim quando eu mesma duvidei. Obrigada pelos incontáveis aprendizados e por todo o suporte nos momentos que mais precisei.

Acima de tudo, sou grata à Universidade Federal de Juiz de Fora pela formação, pelo ensino público de qualidade e pelas diversas iniciativas estudantis promovidas na instituição.

RESUMO

O conceito de melhoria contínua pode ser aplicado em qualquer empresa, até mesmo nas modernas indústrias 4.0. Quando se aplica esses conceitos, normalmente percebe-se oportunidades. Durante o estágio acadêmico da autora em uma fábrica do setor automobilístico, foram percebidas oportunidades especialmente na análise dos tempos de produção na área de cabines de caminhão. Esse trabalho apresenta os resultados dessas análises. Para o seu desenvolvimento aplicou-se ferramentas da qualidade, que mostraram que o processo apresentava uma grande variabilidade. Aproveitando oportunidades nesse cenário, empregou-se o método de Taguchi, com um arranjo experimental L4 e três réplicas para determinar a influência das variáveis estudadas, sendo elas X, Y e Z, no lead time médio e na sua variabilidade para dois modelos de cabines produzidas na planta. Os resultados das análises mostraram uma grande variabilidade nos tempos de produção e, pelo método de Taguchi, a variável de maior impacto na resposta, ou seja, no lead time, foi o fator X. Isso ficou evidenciado tanto no rank das médias quanto na razão sinal-ruído. Porém, a análise de variância não mostrou forte significância estatística, o que sugere a variabilidade do processo produtivo interferiu no resultado dos experimentos.

Palavras chave: design de experimentos, *Lean manufacturing*, indústria automobilística

ABSTRACT

The concept of continuous improvement can be applied in any company, even in modern 4.0 industries. When these concepts are applied, opportunities are usually perceived. During the author's academic internship in automotive plant in southeastern Minas Gerais, opportunities were perceived especially in the analysis of production lead time in truck cabins shop. This work presents the results of these analyzes. For its development, quality tools were applied, which showed that the process presented a great variability. Taking advantage of opportunities in this scenario, the Taguchi method was used, with an experimental L4 array and three replicates to determine the influence of the studied variables, X,Y and Z for two cabin models produced at the plant. The results of the analyzes showed a great variability in the production times and by the Taguchi method the variable with the greatest impact on the response, that is, the lead time, was X. This was evidenced both in the rank of the averages and in the signal-to-noise ratio. However, the analysis of variance did not show strong statistical significance, which suggests the variability of the production process interfered with the results of the experiments.

Key words: design of experiments, Lean manufacturing, automotive industry

LISTA DE FIGURAS

Figura 1 - Ciclo PDCA..... 30
Figura 2 - Casa de Produção do Sistema Toyota de Produção..... 34
Figura 3 - Sete Desperdícios do *Lean Manufacturing*..... 37
Figura 4 - Etapas do Mapeamento do Fluxo de Valor..... 40
Figura 5 - Exemplo de Mapa de Fluxo de Valor do estado atual..... 40
Figura 6 - Exemplo de histograma..... 45
Figura 7 - Arranjo Ortogonal L4..... 49
Figura 8 - Relação Sinal Ruído (S/R) de Taguchi..... 49
Figura 9 - AGV transportando cabine 57
Figura 10 - Efeito dos fatores na média das respostas..... 62
Figura 11 – Efeito dos fatores no desvio padrão para o lead time das cabines 63
Figura 12 - Resultado da razão sinal-ruído para as variáveis estudadas..... 63
Figura 13 - Efeito dos principais fatores na média das respostas considerando somente os dois mais significativos..... 64
Figura 14 - Efeito dos principais fatores no desvio padrão das respostas considerando somente os dois mais significativos..... 65
Figura 15 - Efeito dos principais fatores a razão sinal-ruído das respostas considerando somente os dois mais significativos..... 65

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 - Manual para implementação do MFV 41
Tabela 2 - Média e desvio padrão por trecho 61
Tabela 3 - Tabela de Taguchi Fracionada 62

LISTA DE ABREVIATURAS, SIGLAS E SÍMBOLOS

JIT - *Just in Time*
MFV - Mapeamento de Fluxo de Valor
VSM - *Value Stream Mapping*
PDCA - *Plan Do Check Act*
STP - Sistema Toyota de Produção
AGV - *Automatic Guided Vehicle*
TOS - *Truck Operating System*

SUMÁRIO

1. INTRODUÇÃO 25

1.1 CONSIDERAÇÕES INICIAIS 25
1.2 JUSTIFICATIVA 25
1.3 ESCOPO DO TRABALHO 26
1.4 ELABORAÇÃO DOS OBJETIVOS 26
1.5 DEFINIÇÃO DA METODOLOGIA 27
1.6 ESTRUTURA DO TRABALHO 27

2. REFERENCIAL TEÓRICO 28

2.1 LEAN MANUFACTURING (MANUFATURA ENXUTA) 28
2.2 COMPONENTES DA MANUFATURA ENXUTA 29
2.2.1 KAIZEN 30
2.2.2 JUST IN TIME 31
2.2.3 MANUTENÇÃO PRODUTIVA TOTAL 32
2.2.4 MAPEAMENTO DO FLUXO DE VALOR 32
2.2.5 TECNOLOGIA DE GRUPO 32
2.2.6 SHOJINKA 33
2.2.7 OPERAÇÃO PADRÃO 33
2.2.8 GERENCIAMENTO VISUAL 33
2.3 DESPERDÍCIOS DO STP 34
2.3.1 ESPERA 34
2.3.2 PRODUTOS DEFEITUOSOS 35
2.3.3 TRANSPORTE 35
2.3.4 MOVIMENTAÇÃO 35
2.3.5 ESTOQUE 36
2.3.6 EXCESSO DE PRODUÇÃO 37
2.3.7 SUPER PROCESSAMENTO 37
2.3.8 OPINIÃO DE OUTROS AUTORES 38
2.4 APLICAÇÕES DO MAPEAMENTO DE FLUXO DE VALOR 38
2.4.1 INDICADORES DE SUCESSO 42
2.5 ANÁLISE ESTATÍSTICA DA PRODUÇÃO 45
2.5.1 CONTROLE ESTATÍSTICO DA PRODUÇÃO 45
2.5.2 ANÁLISE DE DISPERSÃO 45

2.5.3 CAUSA DE VARIAÇÃO 46
2.5.4 DESIGN DE EXPERIMENTOS 46
2.5.5 DELINEAMENO DE EXPERIMENTOS COM O MÉTODO DE TAGUCHI 48

3. METODOLOGIA 51

3.1 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA 51
3.2 DEFINIÇÃO DO ESCOPO 51
3.3 DIVISÃO DE TAREFAS 51
3.4 COLETA DE DADOS 51
3.5 ACOMPANHAMENTO 51
3.6 CONCLUSÃO 52

4. DESENVOLVIMENTO 53

4.1 SOBRE A EMPRESA 51
4.2 LINHA DE PRODUÇÃO 53
4.3 CAPTAÇÃO DE DADOS 56
4.4 MODELOS DE CABINES 58
4.5 TABELAS E GRÁFICOS DE TEMPOS 58
4.6 MODELOS DE CABINES 59
4.7 USO DE SOFTWARE ESTATÍSTICO 59

5. RESULTADOS 60

5.1 ANÁLISES ESTATÍSTICAS 61
5.2 DESIGN DE EXPERIMENTO 61

6. CONCLUSÕES 67

REFERÊNCIAS 67

ANEXO A – TERMO DE AUTENTICIDADE 74

1. INTRODUÇÃO

1. CONSIDERAÇÕES INICIAIS

A evolução da indústria automobilística parece ter uma relação direta com as revoluções na história. Muitas mudanças ocorreram desde a primeira linha produtiva de Henry Ford, em 1913, passando pelo surgimento do Toyotismo e pelo início da utilização de robôs na produção, culminando nas modernas indústrias 4.0 da atualidade. Com tantas modificações, aumentam os desafios para a administração das montadoras no sentido de garantir qualidade, segurança, produtividade e baixos custos.

Coutinho (2002) afirma que o setor automobilístico é líder na disseminação de inovações e apresenta alto índice de participação no fluxo comercial global. Segundo o Ministério da Economia, foi responsável por 22% do PIB industrial do Brasil em 2019. Além disso, as montadoras têm características marcantes pelas práticas de organização da produção e adoção de estratégias competitivas de expansão da capacidade produtiva frente à demanda.

Face a esse cenário, um dos desafios dos Engenheiros e Gestores de Produção é alcançar resultados favoráveis de volume de produção, garantindo qualidade, segurança e eficiência. Para tal faz-se necessário um conhecimento adequado dos processos envolvidos, de pontos de melhoria e da estabilidade de seus procedimentos.

Neto (2004) afirma que qualquer processo possui uma variabilidade natural impossível de ser eliminada, que é resultado de pequenas alterações, aleatórias ou não, na produção. Entretanto, Montgomery e Runger (2009) declaram que os métodos devem ser estáveis e capazes de garantir a fabricação conforme planejado, pois o controle individual é impraticável. Sendo assim, é necessário conhecer e constantemente avaliar a variabilidade dos processos.

A filosofia *Lean*, inicialmente idealizada em tempos de pós-guerra, visa à redução de desperdícios e à melhoria contínua dos processos, segundo Ohno (1988). Para auxiliar a busca pelo aperfeiçoamento da produção, pode ser utilizado o Controle Estatístico de Processos (CEP), que identifica as variações dos elementos que compõem o sistema produtivo. Neste caso, a variável estudada é o *lead time* de produção de cabines de caminhão.

A abordagem de ferramentas da Manufatura Enxuta na mesma fábrica foi realizada por Ciconelli (2007), Ferreira (2009), Braga (2013) e Silva (2016), que descreveram eventos *Kaizen* para atuação em diferentes áreas de fabricação. Utilizando como base os estudos anteriormente publicados, usa-se na idealização deste artigo o próprio conceito de melhoria contínua.

Este trabalho parte do desenvolvimento da teoria estabelecida pelas publicações referenciadas. A condução do estudo resultou em conjunto de dados analisados à luz dos conceitos de *Lean Manufacturing*, visando à redução da variabilidade de tempos de produção. O estabelecimento de tempo médio de fabricação do produto estudado permitiu, por fim, a indicação de áreas de melhoria e sugestão de *Kaizens*.

2. JUSTIFICATIVA

Este trabalho se justifica uma vez que propõe utilizar ferramentas estatísticas para mensurar a variabilidade do *lead time* de processos de fabricação de cabines de caminhão. A partir do estudo e captação de tempos entre diversos pontos de uma linha de montagem automobilística, busca-se apontar um *lead time* médio de produção de dois modelos de cabines.

Com tais dados, pode-se cumprir o propósito de avaliar a dispersão dos tempos com o passar dos dias, e, a partir dos gráficos criados com tais valores, analisar os desvios padrão dos tempos de produção e suas causas.

A escolha do tema deste trabalho se deu durante a realização do estágio acadêmico da autora em uma fábrica do setor automobilístico. Tal montadora multinacional realiza

operações de produção de cabines de caminhão no sul de Minas Gerais, e conta com três grandes processos: montagem bruta, pintura e acabamento. A partir do contato diário com a linha produtiva da montagem bruta de cabines, foi percebido o potencial para melhorias no tratamento de informações referentes aos tempos de fabricação. Esse conhecimento está intrínseco à formação em Engenharia de Produção.

3. ESCOPO DO TRABALHO

Foi de interesse dos gestores e engenheiros da área avaliar as variações dos tempos de produção em trechos específicos de montagem. Após uma fase de estudo e vivência na linha produtiva, foi realizada a coleta de dados *in loco*, com o apoio de um *software* de GPS que capta sinais da localização dos produtos.

Finalizada a captação de tempos, após 3 meses de projeto, tais valores foram trabalhados pelo *software* estatístico Minitab, que entregou gráficos de variação dos *lead times* dos dois modelos de cabines trabalhados, para que os tempos médios de processamento em cada trecho fossem estabelecidos e usados como parâmetros para tomada de decisões.

A partir da análise dos desvios padrão dos *lead times* trabalhados, foi utilizado o design de experimento fracionado de Taguchi para relacionar três fatores, com dois níveis cada, e seu impacto no aumento do lead time das cabines de caminhão. Com tal análise, busca-se exemplificar a metodologia e propor seu uso em maior escala, buscando os fatores que causam atrasos na produção.

4. ELABORAÇÃO DOS OBJETIVOS

Este trabalho tem como objetivo principal introduzir uma nova metodologia de abordagem do *Lead Time* em uma montadora de cabines de caminhão. Ainda que a indústria seja considerada uma entre as mais modernas da área, é possível aplicar conceitos do *Lean Manufacturing* e aproximá-la ainda mais do conceito ideal de indústria 4.0.

Para alcançar esse objetivo principal faz-se necessário atingir os seguintes objetivos específicos:

- Levantamento dos tempos reais de produção;
- Tratamento de dados de tempos de produção determinados para se obter um valor de *lead time* para dois modelos de cabines que retrate a realidade da fábrica e leve em consideração as adversidades encontradas no dia a dia, e não apenas os tempos estabelecidos em projeto;
- Atualização desses valores semanal ou mensalmente, podendo assim ser utilizados como mais um indicador de sucesso da planta;
- Apontar variações nos tempos de produção com o passar dos dias. Esse processo pode também ser utilizado em trechos de produção específicos onde são realizadas as captações dos horários, mostrando as áreas de maior sensibilidade para a composição dos *lead times;*
- Realizar uma análise dos gráficos criados com a base de dados, para identificar oportunidades de *Kaizens*, ou seja, de projetos de melhoria, em áreas produtivas onde as dispersões de tempo sejam maiores;
- Sistematizar rotinas de análise quantitativa e qualitativa na produção das cabines de caminhão, seus processos produtivos e a composição da linha de montagem;
- Estabelecer o impacto de fatores que diferem dentre os de modelos de cabines de caminhão no aumento do lead time, a partir do *design of experiments* empregando o método de Taguchi.

5. DEFINIÇÃO DA METODOLOGIA

Esse trabalho é de natureza aplicada. Quanto aos objetivos, são descritivos e exploratórios, e, quanto ao método, trata-se de pesquisa-ação. Seu desenvolvimento se deu conforme o prosseguimento das ações a seguir.

Inicialmente foi realizado um estudo teórico sobre *Lean Manufacturing* e suas ferramentas, Mapeamento de Fluxo de Valor, os 7 desperdícios e Controle Estatístico de Processos, com base em livros e artigos científicos, que foram compilados no Referencial Teórico deste trabalho.

Com conhecimento obtido e vivência na linha produtiva, foi descrito um modelo simplificado dos processos de fabricação de cabines de caminhão. Buscando dados para a análise estatística, foi utilizado um *software* de captação de tempos, que usa o sistema de localização em linha para reconhecer os tempos de processamento dos produtos em estações produtivas.

Em seguida foram introduzidos gráficos estatísticos com os dados captados, com auxílio de um *software* estatístico. Assim, foi possível apontar as áreas com maior dispersão e visualizar as oportunidades de melhoria.

Foram selecionados então três fatores de diferenciação em variantes, ou seja, modelos de cabines com pequenas alterações do modelo principal, buscando assim analisar de algum dos fatores é responsável por aumento no lead time de produção.

6. ESTRUTURA DO TRABALHO

Em seu primeiro capítulo, o trabalho traz uma introdução ao tema, a justificativa, escopo, metodologia e os objetivos a serem alcançados. No segundo capítulo, é realizada uma revisão literária, com base em livros e artigos científicos, e tal conhecimento é fundamental para a realização das demais etapas do projeto. São abordados os temas referentes a *Lean Manufacturing*, como *Kaizen* e os desperdícios encontrados na produção. Fala-se também sobre mapeamento de fluxo de valor, análise estatística da produção ou de processos, design de experimentos e o fatorial fracionado de Taguchi.

O terceiro capítulo mostra a metodologia utilizada na realização do trabalho, descrevendo a sequência de ações que possibilitaram a realização dos objetivos. Na quarta parte do trabalho, a empresa é apresentada, assim como seus processos produtivos e uma ideia geral de sua linha de produção. São citados e discutidos também os modelos de produtos escolhidos para a análise e os dados colhidos no projeto, bem como os dados estatísticos encontrados a partir desses valores.

Por fim, no quinto capítulo, é apresentada a conclusão, apontando um *lead time* médio real para os produtos selecionados, assim como considerações sobre melhorias no processo produtivo, análise de dados e experimentações futuras.

2. REFERENCIAL TEÓRICO

Neste capítulo são abordados temas relacionados ao *Lean Manufacturing* e seus componentes. É feito um compilado de autores que tratam o tema, e trata-se de forma teórica os assuntos que serão aplicados de forma prática.

2.1 *LEAN MANUFACTURING* (MANUFATURA ENXUTA)

No mundo globalizado, as distâncias geográficas deixaram de ser obstáculos à competitividade das empresas em busca de abertura de mercados. A realidade dos cenários econômicos força as organizações a repensarem seus processos, a fim de desenvolverem flexibilidade e inovação, oferecendo produtos e serviços a clientes cada vez mais bem informados e exigentes (LUSTOSA, 2011; SLACK, 2015). Num cenário de pós-guerra, o Japão percebeu a necessidade de modificar seus processos produtivos para conseguir competir com as grandes indústrias americanas.

O conceito enxuto teve início a partir da experiência industrial japonesa no período pós-guerra, no qual o país se encontrava mergulhado em profunda destruição e precisava se reerguer economicamente. Com um mercado interno pequeno e uma demanda diversificada, o objetivo era a busca da melhoria contínua dos processos e a otimização do uso de recursos, que no dado momento se encontravam bastante escassos (TUBINO, 2015).

Segundo Dennis (2008), os desafios enfrentados pela Toyota durante sua crise do pós-guerra foram desanimadores. A economia japonesa estava carente de capital e outras fábricas tradicionais de automóveis tentavam se instalar no Japão. Além disso, o mercado japonês era pequeno e demandava grande variedade de veículos. Nesse cenário, percebeu-se a necessidade de um novo modelo gerencial, resultando na criação do Sistema Toyota de Produção (STP) ou Manufatura Enxuta (*Lean Manufacturing*), estruturado por Taiichi Ohno, vice-presidente da Toyota.

O modelo de manufatura enxuta demonstra como a indústria automotiva japonesa conseguiu notável desempenho, se recuperando rapidamente em meio a um cenário de um pós-guerra (SILVA, 2016; JASTI e KODALI, 2015; BHAMU; SANGWAN, 2014). Com essa nova filosofia de gestão, a Toyota conseguiu se recuperar da crise e expandir seus negócios globalmente, tendo seu modelo de gestão usado como referência nas demais empresas do ramo automobilístico e também em outros setores.

Na Toyota Motors, o sistema enxuto se destacou, sendo copiado imediatamente pelas demais empresas japonesas, o que acarretou a rápida recuperação econômica do país. A cultura enxuta contribuiu para que a indústria daquele país rapidamente se tornasse competitiva, caracterizada por flexibilidade, qualidade, atendimento, custo e pela busca por inovação (SHINGO, 2011). Para tamanha recuperação, a Toyota teve a necessidade de usar seus escassos recursos da melhor forma possível. Com tantas restrições, era importante não desperdiçar insumos e pensar seus processos de forma inteligente.

O *Lean* é considerado mais do que uma ferramenta gerencial, é uma filosofia empresarial e visa à redução contínua de desperdícios e custos (RIANI, 2006). Ohno (1988) afirma que desperdício se refere a todos os componentes de produção que não agregam valor ao produto final e só aumentam os custos, ou seja, são as atividades que não são fundamentais ao produto do ponto de vista do cliente, mas são realizadas dentro do processo de produção.

Ainda segundo Ohno (1997), um dos pilares do Sistema Toyota de Produção (STP) é o esforço permanente para a eliminação desses desperdícios em um processo de melhoria contínua. O pensamento de ser constantemente capaz de melhorar os processos da fábrica passa a ser conhecido como *Kaizen.*

O Modelo Toyota de Produção é um processo contínuo de melhoria que sempre apresenta potencial para o seu aperfeiçoamento (BORTOLOTTI, BOSCARI; DANESE, 2015). É uma filosofia viva que é melhorada conforme sua aplicação. Para Womack e Jones (1996),

perfeição é a eliminação total de desperdício, buscando que todas as atividades ao longo de um fluxo de valor sejam relevantes para o produto final.

O *Lean* Institute Brasil (2015) define que o *Lean* é mais que um conjunto de regras para a empresa, mas sim uma estratégia de negócios, feita para aumentar a satisfação dos clientes através da melhor utilização dos recursos. É um esforço da gestão *lean* fornecer valor aos clientes com custos baixos, identificando melhoria nos fluxos de valor primários e de suporte, por meio do envolvimento das pessoas qualificadas, motivadas e com iniciativa. Ressalta-se então a importância da participação de todos os colaboradores para a implantação da Manufatura Enxuta nas empresas.

O *Lean Manufacturing* tem se mostrado uma importante ferramenta de gestão para organizações que visam à competitividade em um mercado cada vez mais exigente e informado (MOTA, 2019). Sendo assim, o mercado automobilístico atual se espelha na Toyota e cria variações da filosofia *Lean* dentro de suas plantas. Adaptações são feitas, contribuindo para o pensamento de melhoria contínua da própria filosofia *Lean*, para que sua aplicação seja a melhor possível para o cenário da empresa em questão.

Em suma, o pensamento enxuto é uma forma de fazer cada vez mais com cada vez menos, ou seja, menos esforço humano, equipamento, tempo e espaço e, ao mesmo tempo, aproximar-se cada vez mais de oferecer aos clientes exatamente o que eles desejam (SALGADO *et. al*., 2019). Para isso, existem princípios a serem seguidos durante a aplicação do *Lean Manufacturing.*

Deve-se eliminar todo desperdício através de esforços concentrados da administração, pesquisa e desenvolvimento, produção, distribuição e todos os departamentos da companhia (SHINOHARA, 1988). Tais esforços são guiados pelos princípios do *Lean Manufacturing.* Womack e Jones (2004) afirmam que a Manufatura Enxuta tem cinco princípios que são fundamentais na eliminação ou redução das perdas: identificação do valor, o fluxo do valor, fluxo contínuo, produção puxada e busca pela perfeição. Tais princípios são buscados com a aplicação dos componentes da manufatura enxuta.

2.2 COMPONENTES DA MANUFATURA ENXUTA

Para alcançar os objetivos do *Lean Manufacturing* e realizar a melhoria contínua, Ohno e sua equipe, com o passar dos anos, desenvolveram componentes a ser aplicados nas fábricas da Toyota. Os principais componentes da Manufatura Enxuta são o *Kaizen*, a filosofia *Just in Time*, a Manutenção Produtiva Total, o Mapeamento do Fluxo de Valor, a Tecnologia de Grupo, a Flexibilização da Mão de Obra, a Operação Padrão e o Gerenciamento Visual.

2.2.1 *KAIZEN*

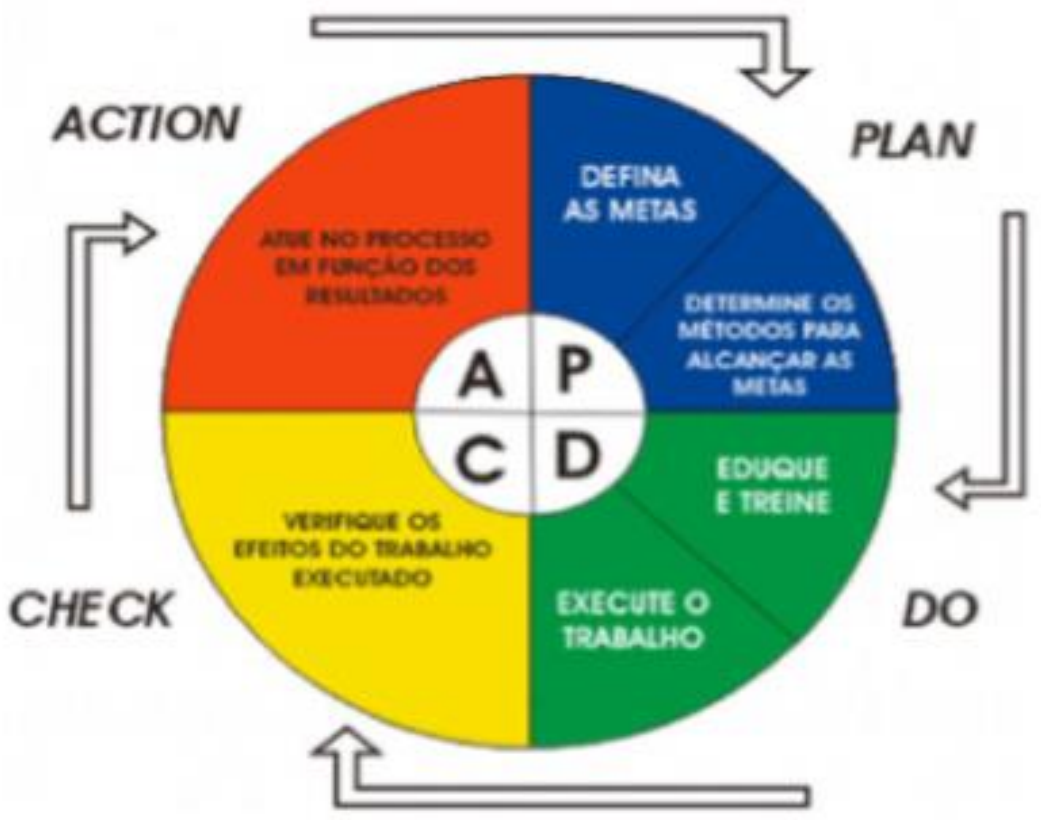
Segundo Mota (2019), o *Kaizen* é uma filosofia de trabalho baseada na busca pela perfeição de um processo de transformação que agrega valor com o mínimo de desperdício, ou seja, o *Kaizen* visa encontrar a melhor forma de se realizar um processo, gerando a menor quantidade de desperdícios possível.

Hilsdorf *et. al.* (2019) descrevem que as empresas atualmente utilizam esta ferramenta com o objetivo de reconhecer e eliminar desperdícios existentes, a fim de aumentar a produtividade, seja em algum processo produtivo, em etapas de projetos, na elaboração de novos produtos, na manutenção de máquinas ou em processos administrativos, visando à satisfação do cliente interno ou externo. Percebe-se assim que a filosofia do *Kaizen* pode ser aplicada em qualquer área, e que seus resultados favorecem tanto clientes internos quanto externos.

O funcionamento do *Kaizen* pode ser entendido segundo o ciclo PDCA (SLACK; CHAMBERS; JOHNSTON, 2009). O Ciclo PDCA é um método gerencial de tomada de decisões para garantir o alcance das metas necessárias à sobrevivência de uma organização (WERKEMA, 1995), como mostrado na Figura 1.

A primeira etapa do ciclo, “plan” (planejar), é uma etapa prévia ao evento, onde se realiza um estudo da situação atual da empresa, coletando e analisando dados. A segunda etapa, “do” (fazer), é a etapa onde as ações necessárias definidas no planejamento são implementadas. A terceira etapa, “check” (checar), acompanha e realiza medições das ações implementadas, buscando pontos de melhoria e ações de sucesso. A última etapa, “act” (agir), é responsável por analisar os resultados obtidos e verificar ações que possibilitam a empresa atingir as metas desejadas.

Figura 1: Ciclo PDCA



Fonte: Alencar (2008)

É importante ressaltar que o PDCA corrobora o pensamento do *Kaizen* de busca pela perfeição, pois, visto que é um ciclo, toda vez que se atinge a última etapa, é recomendado voltar para a primeira e buscar solução de um novo problema.

Werkema (2006) descreve também a realização do *Kaizen* na prática. O evento *Kaizen* é relacionado ao *Lean Six Sigma*, que é definido pela mesma autora como uma metodologia que une o *Lean Manufacturing* com ferramentas estatísticas, possibilitando avaliação do desempenho de características críticas nos processos e de qualidade dos produtos.

Os projetos *Six Sigma* utilizam o método DMAIC (*Define, Measure, Analyze, Improve* e *Control*) para alcançar seus objetivos. Werkema (2006) relaciona o *Kaizen* com cada uma dessas etapas:

a. Definir (D):

A autora afirma que o escopo do *Kaizen* deve ser preparado pelo líder e os participantes devem ser definidos. Se necessário, é importante coletar dados, organizar treinamentos e organizar as informações a serem consultadas na semana *Kaizen*.

Além disso, devem-se tomar providências para que as áreas não sejam prejudicadas com a ausência de alguns profissionais, pois os participantes do *Kaizen* devem trabalhar nas atividades do projeto de melhoria em regime integral.

b. Medir (M):

Werkema (2006) mostra que a etapa de medição deve determinar o foco do problema. O mapa de fluxo de valor do processo é apresentado e recomenda-se que a equipe conheça de perto a área e a opinião dos colaboradores diretamente envolvidos.

Ferramentas como Mapeamento de Fluxo de Valor, folha de verificação, histograma e diagrama de Pareto podem ser usadas para coletar dados para o projeto de melhoria.

c. Analisar (A):

A mesma autora afirma que as causas-raiz do problema sejam determinadas na fase de análise. Além disso, a equipe busca determinar quais são as fontes de desperdício, ou seja, atividades que não agregam valor ao cliente.

Com a utilização de ferramentas como diagrama de causa e efeito, matriz de priorização e cinco por quês, os participantes do *Kaizen* devem analisar as melhorias que trariam maior impacto nas áreas onde foram apontados os desperdícios.

d. Melhorar (I):

Nesta etapa, as soluções para o problema apontadas anteriormente devem ser implementadas. As ações a serem realizadas para implementar as melhorias devem ser listadas e distribuídas entre os integrantes do *Kaizen*.

Cada membro deve realizar as tarefas determinadas, ajustes podem ser feitos e os dados do impacto das melhorias devem ser coletados, permitindo uma comparação entre a situação antes e depois da atuação do *Kaizen*.

e. Controlar (C):

A última etapa do *Kaizen*, segundo o método DMAIC, garante que o alcance da meta seja mantido após a conclusão do evento. As alterações feitas nos processos para alcançar as melhorias devem ser padronizadas a partir da criação de procedimentos operacionais padrão (POP) que as documentem.

A performance do processo deve ser monitorada a partir de um plano definido pela equipe do *Kaizen*. Assim, os resultados podem ser apresentados aos gestores e a semana *Kaizen* é finalizada. Após esse marco, deve existir um *follow-up* das ações que não foram concluídas na semana e que precisaram de um prazo maior, e, com prazo de um mês, o relatório final do *Kaizen* precisa ser entregue para os gestores.

2.2.2 *JUST-IN-TIME* (JIT)

É uma expressão que significa que cada processo deve ser suprido com os itens corretos, no momento certo, na quantidade necessária e no local certo, esse é um dos pilares do sistema Toyota (MONDEN, 2015).

Ohno (1997), idealizador JIT, afirma que são dois os principais pilares de sustentação do JIT. Inicialmente, o recebimento e a disposição de produtos e materiais devem ocorrer apenas na hora e na quantidade necessárias. Além disso, a automação da fábrica deve levar em consideração o toque humano, ou seja, as máquinas e dispositivos aumentam a qualidade dos produtos, mas a visão geral do processo deve levar em conta a subjetividade humana.

Tubino (1995) afirma que o *Just in Time* está diretamente relacionado com os seguintes fatores: eliminação dos estoques, aumento da qualidade do produto, treinamento e educação contínuos dos colaboradores, produção em pequenos lotes e produção puxada. Percebe-se assim seu papel na melhoria contínua e que sua filosofia está alinhada com o *Kaizen.*

2.2.3 MANUTENÇÃO PRODUTIVA TOTAL (TPM)

A TPM busca eliminar falhas, defeitos, perdas e desperdícios visando à eficiência máxima de máquinas e equipamentos, envolvendo a todos e a todos os níveis da produção (Hilsdorf *et. al.*,2019). A partir da mudança de mentalidade dos colaboradores, amplia-se o pensamento de evitar quebras, erros e defeitos nas máquinas e operações fabris.

Segundo Gonçalvez (2015), a Manutenção Produtiva Total envolve os operadores das máquinas na rotina de manutenção, nos projetos de melhorias e em reparos simples. Estes são treinados e realizam atividades como lubrificação, limpeza, ajustes e inspeções. Dessa forma, elimina-se tempo de espera com emissão de ordens de serviço, espera e deslocamento de mecânicos.

Além dos termos estruturais, como equipamentos, máquinas e matéria-prima, a TPM também se preocupa com melhoria de material humano, com aprimoramento de conhecimento, habilidades e atitudes dos colaboradores.

2.2.4 MAPEAMENTO DO FLUXO DE VALOR (MFV)

É o mapeamento de todo o fluxo de informações e insumos, desde o fornecedor inicial até o produto pronto entregue ao consumidor final, identificando cada etapa, assinalando pontos importantes de agregação de valor, perdas e desperdícios, para que então, com base nesses dados, seja traçado um novo mapa. Assim que o último mapa é implementado, então um novo ciclo de mapeamento é iniciado, buscando dessa forma o melhor caminho da fabricação à entrega ao cliente (MARCHWINSKI; SHOOK, 2011).

Para as indústrias enxutas, é fundamental que seus processos sigam um fluxo organizado, com início e fim predefinidos. A partir da medição de seus tempos e movimentos, é possível identificar pontos de melhoria e oportunidades de aplicação da filosofia *Kaizen*.

Rother e Shook (2003) afirmam que os benefícios da aplicação do mapeamento do fluxo de valor (MFV) vão além da eliminação de desperdícios e da otimização do fluxo de manufatura. Para eles, também é possível definir a real capacidade produtiva das máquinas e da fábrica como um todo; estimar o *lead time* real de produtos; definir os custos envolvidos no processo; conhecer a disponibilidade de recursos; elaborar metas e planos de ação para melhorias identificadas; definir o fluxo de informação, de materiais e de produção; realizar a otimização do espaço físico (*layout*); reduzir o índice de retrabalho; otimizar o uso de equipamentos, entre outras possíveis melhorias da fábrica em geral.

Os autores consideram também que a análise do fluxo de valor atual é essencial para a elaboração do mapa futuro de forma consistente e com diversas melhorias, eliminando fontes de desperdício. Ou seja, a partir do mapeamento do fluxo de valor atual da fábrica é possível identificar pontos de melhoria a serem implementados na linha de produção, e assim pode-se criar um novo fluxo: o fluxo de estado futuro de produção. Com integração da filosofia Kaizen, a melhoria contínua é feita também na organização da fábrica, e não apenas em suas atividades produtivas.

Pensando nessas possibilidades de melhoria, este trabalho utilizará a ferramenta do Mapeamento do Fluxo de Valor para buscar reduzir os desperdícios e se aprofundar no pensamento *Lean*, que será descrito adiante.

2.2.5 TECNOLOGIA DE GRUPO

Consiste de uma criteriosa organização de pessoas, máquinas ou estações de trabalho, em uma sequência de processamento no formato de células de manufatura (MOTA, 2019). A Tecnologia de Grupo busca reorganizar o *layout* da fábrica, agrupando em células de produção os processos similares.

Segundo Liker (2016), as células facilitam o fluxo unitário de peças de um produto, visto que percorrem várias operações como soldagem, montagem, inspeções, entre outras, a

uma determinada razão, definidas por aspectos específicos de cada projeto. O produto ou suas peças podem transitar entre as células, porém mantendo um fluxo organizado de material e informações. Tal organização contribui para o pensamento de melhoria contínua e organização do *Lean Manufacturing.*

2.2.6 SHOJINKA (Flexibilização de Mão-de-Obra)

Devido às variações de demandas decorrentes de sazonalidades e aspectos macroeconômicos, empresas enxutas precisam ser capazes de remanejar, deslocar, reduzir ou aumentar sua mão-obra, sem que isso incorra em comprometimento do produto final (MONDEN, 2015).

As empresas que aplicam a filosofia *Lean* precisam adaptar seus colaboradores para que sejam capazes de trabalhar com produtos e processos diferentes. Com variações de mercado, as fábricas estão sujeitas a mudanças e a remanejamento de pessoal, e o operador *Lean* deve ser capaz de se adaptar a tais mudanças. Para isso, é importante que os gestores invistam em capacitação frequente de seus colaboradores.

2.2.7 OPERAÇÃO PADRÃO

Os processos produtivos estão sob controle estatístico quando existem normas e padrões que são seguidos por todos os funcionários com baixa variabilidade. A redução dessa variabilidade nos processos é um dos grandes objetivos da filosofia *lean* (STANIO, 2013).

É fundamental para uma indústria *Lean* que seus processos sejam padronizados e suas operações sejam previamente definidas. Tal organização garante que a variabilidade da produção está controlada e, assim, a qualidade está assegurada. A padronização deve ser feita tanto em ambiente industrial quanto em escritórios e prestadoras de serviços, visando também ao aumento da qualidade de seus produtos.

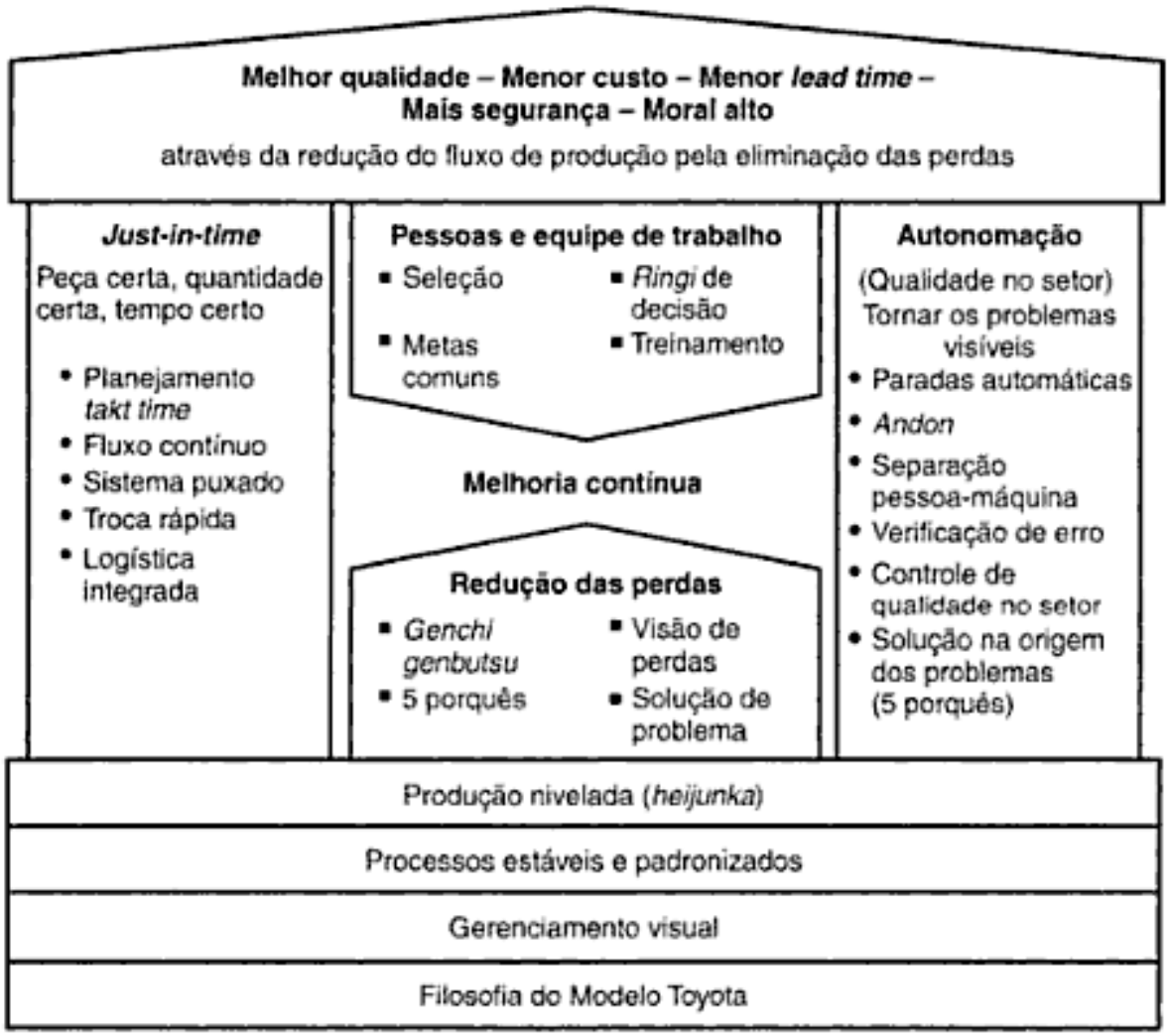
2.2.8 GERENCIAMENTO VISUAL

A implementação da gestão visual no ambiente fabril está relacionada com aspectos tais como uso de dispositivos visuais sinalizando passagens de segurança, trânsito perigoso, descarregamento, 5S (organização, limpeza, identificação de materiais, padronização) e indicadores de desempenho e processos (MOTA, 2019).

O pensamento enxuto afirma que a informação deve ser passada de forma simples e efetiva, e, para isso, pode usar de ferramentas como quadros, gráficos à vista, indicadores de segurança e qualidade em locais de fácil acesso, entre outros. O objetivo é agilizar a passagem de informações e diminuir o desperdício de tempo.

Buscando ilustrar melhor a união dos pensamentos que compõe o *Lean Manufacturing,* criou-se a figura da casa de produção do STP, que tem como objetivo mostrar visualmente os pilares do pensamento enxuto e como estes se conectam. Percebe-se que o foco do STP é reduzir o custo da produção, aproveitar melhor o tempo e garantir segurança para os colaboradores, como visto na Figura 2.

Figura 2: Casa de Produção do Sistema Toyota de Produção



Fonte: Liker (2005)

Esses componentes permitiram a mudança de patamar da Toyota no cenário pós-guerra. Com a aplicação de tais pensamentos nas fábricas, a cultura do ambiente produtivo mudou, ganhando uma visão mais organizada e buscando continuamente o aumento da qualidade, ainda que atuando em frentes diferentes. Alinhados, os componentes acima foram capazes de reerguer a gigante japonesa, mesmo que com condições de mercado não favoráveis.

2.3 DESPERDÍCIOS DO STP

A base do Sistema de Produção Enxuta é a absoluta eliminação de desperdício (OHNO, 1997). Ohno apontou sete tipos de desperdícios a serem otimizados em suas fábricas. Cada um deles equivale a uma possibilidade de melhoria que deve ser estudada e, a partir do pensamento *Kaizen*, procura-se uma forma melhor de realizar tais tarefas.

Ohno (1997) divide o movimento dos trabalhadores em três itens:

i) Trabalho líquido;
ii) Trabalho que não adiciona valor, mas que suporta o trabalho efetivo;
iii) Perdas.

O trabalho líquido compreende os processos em que existem custos e que adicionam valor ao produto final. O trabalho que não adiciona valor funciona como suporte da produção, pois não adiciona valor ao produto final, mas é necessário para a produção. Como exemplo de trabalho que não adiciona valor temos a limpeza do ambiente produtivo, pois o cliente final não será impactado pela ação, mas sem ela não é possível produzir. Já as perdas são atividades que não adicionam nenhum valor ao produto e que geram custos. Tais perdas devem ser eliminadas, de forma que todo processo da fábrica agregue valor ao produto, direta ou indiretamente.

Pensando em eliminar os desperdícios e focar em processos que sejam valiosos para o produto final, Ohno descreve sete grupos com potencial para melhoria. A figura 3 menciona os sete desperdícios expressos por Ohno (1997).

Figura 3: Sete Desperdícios do *Lean Manufacturing*

Fonte: Ohno (1997)

Shingo (1981) considera que os sete desperdícios para o Sistema Toyota de Produção (STP) são:

2.3.1 ESPERA

As perdas por espera consistem em períodos de tempo nos quais os trabalhadores e/ou as máquinas estão ociosos (Hilsdorf *et. al.*,2019). Turbino (2015) considera que o desperdício de tempo é o mais clássico das indústrias, e que reduzi-lo pode trazer muitos ganhos para a produção.

Essa perda é classificada em três tipos: perda por espera no processo, que ocorre quando a matéria prima não está disponível no momento certo e um lote de produtos fica algum tempo parado antes de ser processado; perda por espera do lote, que é encontrada quando uma parte do lote fica pronta e precisa aguardar o restante para prosseguir; e, por fim, a perda por espera do operador, quando o operador apenas observa uma máquina em funcionamento.

O tempo de espera pode ser, por exemplo, de colaboradores aguardando por máquinas automáticas realizarem seus processos, ou por uma atividade anterior que não

cumpriu seu tempo estipulado, por linhas de produção paradas pelos mais diversos motivos, por falta de peças ou pela ação da manutenção.

Quando ocorrem elevadas perda por espera de trabalhadores, os custos associados ao pessoal se elevam para a realização da mesma produção (OHNO, 1998). As paradas de linha resultam também em diminuição do rendimento da fábrica e da queda de seus indicadores operacionais.

Lustosa (2016) apresenta algumas técnicas que podem ser utilizadas para mitigar os desperdícios por espera:

i) Troca rápida de ferramenta (TRF);
ii) Técnicas que facilitem a sincronização da produção, como o *Kanban*.
iii) Técnicas que aumentem a confiabilidade do sistema, visando impedir paradas não programadas, como a manutenção produtiva total (TPM).
iv) Melhorar taxa de operação pelo estudo e melhoria do *setup*.

Turbino (2015) afirma que o desperdício por espera aumenta o tempo de conclusão de lotes, aumentando o *lead time* da produção; gera maior necessidade de espaço físico disponível, pois formam-se estoques em processo; diminui a qualidade do produto final. Percebe-se então a importância de deslocar esforços e reduzir a perda de tempo de produção com processos que não acrescentam valor ao produto.

2.3.2 PRODUTOS DEFEITUOSOS

Antunes (2008) mostra que as perdas por fabricação de produtos defeituosos consistem na produção de peças e/ou produtos acabados fora do padrão de qualidade requerida pelo projeto, ou seja, que não atendem às expectativas do cliente.

Salgado (2009) explicita possíveis motivos para a produção de produtos defeituosos, como problemas nas cartas de processo, qualidade de matéria-prima abaixo do esperado e falta de treinamento dos colaboradores.

A produção de produtos fora do padrão é prejudicial à empresa, pois utiliza recursos produtivos como tempo e matéria prima, e não resulta em faturamento, visto que tais produtos não atendem às necessidades do cliente e não podem ser vendidos.

Antunes (2008) afirma também que o controle do processo produtivo deve ser feito do início ao fim, buscando falhas de qualidade que possam resultar em produtos defeituosos. Caso não haja tal controle, seja ele virtual ou físico, diversos produtos poderão ser manufaturados fora do padrão, resultando em perdas para a empresa.

A produção de produtos fora da especificação pode ocasionar desperdícios de espera, movimentação e estoque (LUSTOSA, 2016). Os sete desperdícios do *Lean Manufacturing* estão integrados, e, neste caso, é perceptível que a produção de produtos defeituosos resulta em esforços de diversas áreas da produção que não serão úteis para o faturamento da empresa, visto que tais produtos não chegarão ao cliente final.

2.3.3 TRANSPORTE

Shingo (1996) considera que as perdas por transporte se relacionam diretamente a qualquer atividade que envolva movimentação de materiais, visto que para isso existe um custo, e que não agregam valor ao produto.

Salgado (2009) complementa a ideia de Shingo, considerando que além do prejuízo financeiro da movimentação desnecessária, também se perdem informação, peças, tempo e energia. Savi (2007) mostra que um caminho para eliminar o desperdício de transportes excessivos é reduzir os armazenamentos intermediários possíveis, e então reorganizar o arranjo físico da fábrica, para que a comunicação e entrega de peças entre as etapas produtivas seja mais eficaz.

2.3.4 MOVIMENTAÇÃO

As perdas por movimento consistem em movimentos desnecessários dos trabalhadores quando estes estão executando operações nas máquinas ou nas linhas de montagem (HILSDORF et. al.,2019). O desperdício por movimentação excessiva relaciona-se a problemas em deslocamento dos colaboradores em suas atividades, percorrendo longas distâncias entre postos de trabalho, por exemplo.

Salgado (2009) mostra as consequências das perdas por movimentação excessiva. Em seu estudo, foi notada desorganização do ambiente de trabalho, frequente perda de peças e baixo índice de ergonomia na fábrica.

É comum associar a perda por movimentação com a perda por transporte, porém é importante ressaltar que a primeira se relaciona ao deslocamento de trabalhadores, e a segunda ao deslocamento de materiais.

2.3.5 ESTOQUE

Perdas por estoque estão associadas ao aumento de custos relacionados ao espaço físico das empresas. Tais estoques são necessários para armazenar matérias-primas, material em processo ou produto acabado, que se encontrem em quantidade maior que o necessário no momento.

Salgado (2009) relaciona as perdas por armazenamento excessivo a custos altos, baixo desempenho do serviço prestado ao cliente e perda de informações, vista a dificuldade em fazer um controle de estoque corretamente.

Savi (2009) define esse desperdício como excessivo (de matéria-prima, materiais em processamento e produto final) e atraso de informações ou produtos, resultando em custos altos e em baixo nível de serviço ao cliente.

2.3.6 EXCESSO DE PRODUÇÃO

É produzir excessivamente ou cedo demais, resultando em um fluxo pobre de peças e informações ou excesso de inventário (SALGADO, 2009)

Savi (2009) afirma que superprodução é a produção excessiva de produtos, que pode ocorrer antes mesmo da promessa de venda. Pode resultar no travamento do fluxo de informações na empresa, e, para evitar que tal desperdício ocorra, busca-se diminuir *setups*, sincronizar produção com a demanda e compactar o *layout* da fábrica.

Segundo Shingo (1996), as perdas por superprodução podem acontecer devido à produção de quantidade excessiva ou pela produção antecipada em relação às necessidades dos estágios subsequentes da produção e do consumo, ou seja, a produção não corresponde à demanda. Para evitar esse problema, é muito importante aprimorar o relacionamento da unidade produtiva com o departamento de vendas e marketing, de forma a alinhar o volume de produção necessário no período.

2.3.7 SUPER PROCESSAMENTO

As perdas por processo consistem nas atividades de processamento ou fabricação desnecessárias para que o produto ou serviço adquira suas características básicas de qualidade, visando à geração de valor para o cliente ou usuário (ANTUNES, 2008).

O desperdício por excesso de processamento mostra que o produto passou por mais etapas produtivas do que seria necessário para agregar valor para o produto final. As etapas excedentes estão ligadas a retrabalhos, controles desnecessários, processos muito complexos, entre outros.

Para Salgado (2009), a utilização de ferramentas, sistemas e procedimentos muito complexos geralmente podem ser substituídos por soluções mais simples, e processos mais adequados podem resultar em maior efetividade para a empresa.

O desperdício de processamento também é visto em máquinas que estão trabalhando abaixo da sua capacidade produtiva, ou seja, que ficam ociosas. O tempo de trabalho dessas máquinas está sendo perdido, resultando em custos para a empresa e aumentando o custo unitários dos produtos.

2.3.8 OPINIÃO DE OUTROS AUTORES

Bauch (2004) identifica mais três desperdícios na produção, além dos sete levantados por Ohno. São eles:

1. Reinvenção: a reinvenção de processos, métodos, produtos e soluções que já existem ou que precisam apenas de pequenas correções mostra-se um grande desperdício de tempo e energia dos colaboradores.

2. Falta de disciplina: se relaciona a um potencial de melhoria na gestão da empresa, aliada ao departamento de recursos humanos. Busca-se uma mudança no pensamento dos trabalhadores, para que todos se mostrem proativos e responsáveis. O desperdício em questão seria a falta de motivação, comprometimento e competência dos colaboradores.

3. Integração de tecnologia de informação (TI): os processos de informática das empresas *(hardwares, softwares*, redes, etc) geralmente são complexos, e é importante que seus componentes sejam compatíveis e atualizados. É um desperdício para a empresa não utilizar da melhor forma possível os recursos tecnológicos à sua disposição.

Além deles, uma nova corrente de pensamento enxuto também coloca o desperdício intelectual como mais um desperdício do *Lean Manufacturing*. Nessa visão, critica-se o tratamento dos colaboradores como máquinas, e apoia-se o aproveitamento de habilidades únicas e individuais de cada colaborador. Pensa-se no trabalhador como pessoa rica em experiências e qualidades, que podem ser usadas para melhorar o processo produtivo.

Incentiva-se, assim, o pensamento crítico e o questionamento do estado atual, buscando criar o sentimento de melhoria contínua para todos os trabalhadores. É papel do gestor motivar a equipe a dar ideias de melhoria e buscar treinamentos e atividades que possam desenvolver seus funcionários.

Para Robinson e Schroeder (1992), dois motivos são responsáveis por tornar os desperdícios invisíveis aos integrantes do sistema produtivo: a falta de conhecimento ou a dificuldade de mudança de perspectiva. A eliminação, ou redução, dos desperdícios no sistema produtivo permite um fluxo mais contínuo de produção, produzindo-se mais no mesmo intervalo de tempo e reduzindo estoque e custos.

A concepção do STP visa à eliminação sistêmica dos desperdícios, isso significa aumentar continuamente o percentual do tempo em que os trabalhadores desenvolvem tarefas que agregam valor em relação ao tempo total que permanecem na fábrica (ANTUNES, 2008). Entendendo a importância da eliminação dos desperdícios, usa-se ferramentas do *Lean Manufacturing* para identificar oportunidades de atuação e melhorar o desempenho das empresas.

2.4 APLICAÇÃO DO MAPEAMENTO DO FLUXO DE VALOR

A gestão do fluxo de valor envolve o processo de mensurar, entender e melhorar o fluxo e interação de todos os membros do processo. Assim, manter o custo, função e qualidade dos produtos e serviços da organização o mais competitivo possível. O mapeamento do fluxo de valor é utilizado como ferramenta para identificar oportunidades, agregar valor, eliminar os desperdícios e otimizar o fluxo (KEYTE; LOCHER, 2004).

Como visto anteriormente, no tópico 2.2.4, é fundamental para uma empresa enxuta realizar o mapeamento dos seus fluxos de valor. Tal processo é utilizado para buscar a eliminação de desperdícios e já foi realizado por diversos autores, que comprovaram sua efetividade após a comparação do estado atual com o estado futuro de suas empresas.

Salgado (2009) e sua equipe aplicaram o Mapeamento do Fluxo de Valor em uma empresa fornecedora da indústria automobilística, localizada em Itajubá. O mapeamento foi realizado na produção de chicotes elétricos, e os autores descrevem os resultados obtidos como fundamentais para identificação dos desperdícios na fábrica. Com seus processos mapeados, foi possível localizar e atuar nas áreas de melhoria.

A implementação do MFV se deu em um conjunto de processos da grande linha produtiva dos chicotes elétricos. Os autores concluíram que é necessária sua ampliação para as demais atividades, até mesmo no desenvolvimento de novos produtos. Além de identificar desperdícios, a implementação do *Lean Manufacturing* representa uma mudança na cultura da empresa e das pessoas.

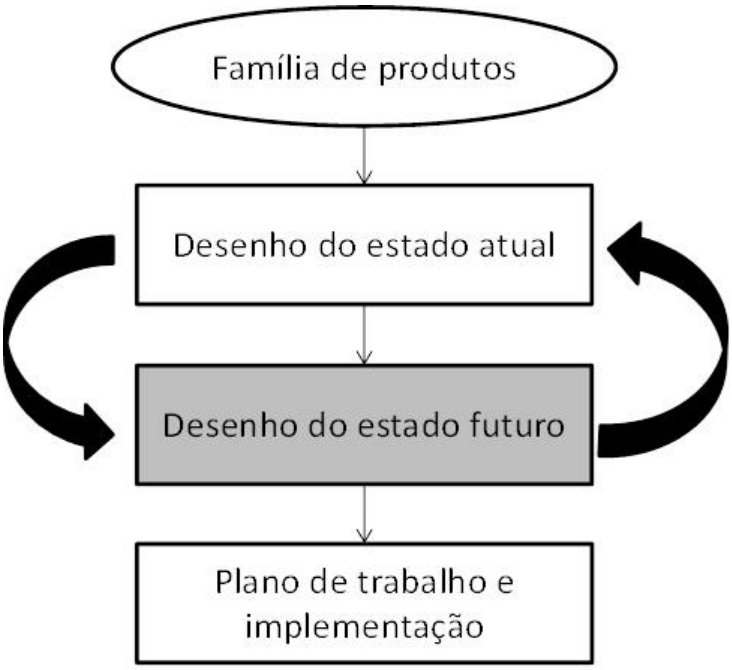
Silva e Lima (2013) também aplicaram o *Value Stream Mapping* para buscar desperdícios em uma linha produtiva. O trabalho foi realizado em uma empresa do setor calçadista em João Pessoa. Os autores afirmam que a linha produtiva envolve a união do trabalho manual com o automático, e que tal transição gerava tempos de espera e movimentos excessivos. Com a realização do VSM, foram identificados os gargalos e elaboradas propostas para modificação de alguns processos.

Segundo os autores, foi possível visualizar mais do que apenas os processos individuais mapeados, e entender a produção como um fluxo de ideias e materiais. Enxerga-se também a fonte dos desperdícios, e auxilia o uso de ferramentas da engenharia e a tomada de decisões relacionadas ao processo produtivo. Foi ressaltado que, após a implementação do mapeamento, mostrou-se possível a mensuração do impacto das atividades que não geram valor ao produto, e como tais desperdícios afetam o tempo de ciclo e o *lead time* de produção dos calçados.

Rother e Shook (2003) definem como objetivos principais do mapeamento de fluxo de valor a representação, identificação e implementação de um cenário no qual a cadeia produtiva é ligada a todos os seus clientes por meio de fluxo contínuo. É importante que tal mapeamento permita a visualização do fluxo da produção desde a entrada dos suprimentos até a logística de entrega ao cliente. Considerando a filosofia *Lean*, em todas essas etapas existe a possibilidade de otimização.

Segundo os mesmos autores, a metodologia do MFV é composta por quatro etapas, conforme pode-se ver na Figura 4.

Figura 4: Etapas do Mapeamento do Fluxo de Valor

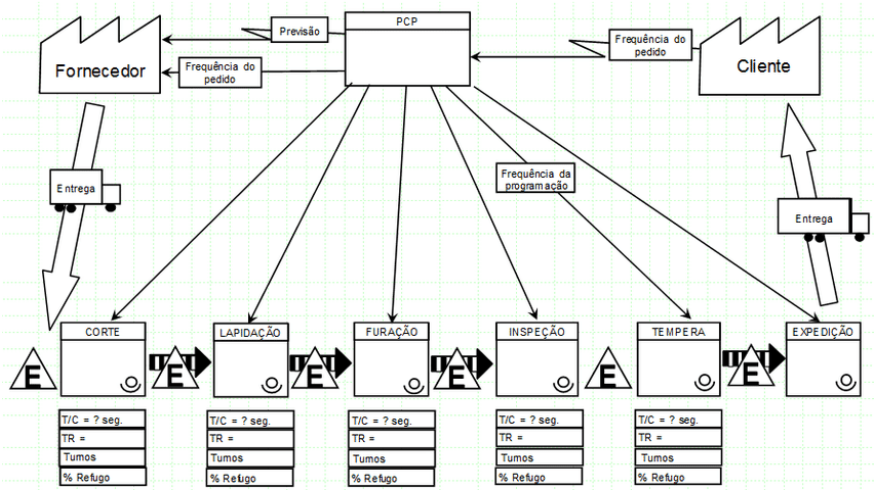


Fonte: Rother e Schook (2003)

Para a realização do MFV, é necessário inicialmente escolher uma família de produtos, visto que uma fábrica possui diversas operações, cujos processos variam. Assim, é possível desenhar o estado atual de valor do processo de produção do produto escolhido. A partir da análise de tal desenho, propõe-se modificações, sugerindo então um modelo para o futuro. Para alcançar tal modelo, é necessário traçar planos de ação, definindo responsáveis e prazos para as modificações.

Bianco et.al. (2019) afirma que o pensamento enxuto deve ser levado em consideração para a criação do mapa de estado futuro. Para avançar entre etapas do fluxo produtivo, o procedimento deve ser feito apenas no tempo certo, ou seja, quando a próxima etapa necessitar, respeitando o JIT. Segundo os autores, o mapa de estado futuro deve conter um fluxo regular e sem retornos entre cadeia de suprimentos e consumidor final, e precisa também buscar o menor *lead time*, aumento da qualidade e redução de custos.

Figura 5: Exemplo de Mapa de Fluxo de Valor do estado atual



Fonte: Rother e Shook (1999).

Seguindo as quatro etapas de Rother e Shook (2003), é possível criar um passo a passo para a implementação do Mapeamento do Fluxo de Valor em uma empresa, qualquer que seja seu ramo de atuação.

Tabela 1: Manual para implementação do MFV

Etapa	Descrição
Escolha da família de produtos	Delimitação do escopo do trabalho e definição do conjunto de processos que será mapeado.
Desenho do estado atual	Mapeamento das operações realizadas na fábrica, a partir de coleta de dados no *gemba*. Deve-se representar visualmente o processo produtivo atual.
Desenho do estado futuro	Análise crítica do desenho do estado atual e definição de melhorias a serem implementadas, a partir da utilização de técnicas enxutas. Deve-se representar visualmente o estado idealizado para o futuro, incluindo as modificações necessárias.
Definição do plano de ação para implementação	Preparação de um plano que descreva as melhorias que serão implementadas, assim como um manual de como realizar tais modificações. Deve-se estabelecer responsáveis, prazos e demais indicadores que precisam ser acompanhados.

Fonte: a autora (2020)

As etapas descritas são apoiadas por Milard (2001), que ainda acrescenta uma quinta etapa, relacionada à necessidade da melhoria contínua. Para ele, ao final da implementação do mapa futuro, é necessário refazer o processo, de forma a encontrar novos desperdícios e caminhar rumo à perfeição. O STP reforça que todo processo pode ser melhorado, e que a análise crítica do fluxo produtivo deve ser constante, buscando a retroalimentação do processo de Rother e Shook.

O processo de mapeamento do fluxo de valor de uma empresa une o pensamento analítico com a capacidade de abstração de seus colaboradores. Para desenhar o estado atual, é necessário fazer a medição de tempos, movimentos, entre outros. Já para o desenho do estado futuro, ou estado ideal, é importante que os membros do projeto de melhoria consigam abstrair de seu processo produtivo habitual e imaginar novas soluções para os problemas encontrados. Percebe-se assim que uma equipe plural e criativa é fundamental para esse *Kaizen*.

2.4.1 INDICADORES DE SUCESSO

Ainda sobre os componentes analíticos do mapeamento do fluxo de valor de uma empresa, Silva e Lima (2013) apontaram indicadores que devem ser medidos no chão de fábrica:

- Tempo de ciclo (TC)

É o tempo que se passa desde o início de um processo ou atividade até o seu término. Para calcular o tempo de ciclo, é importante saber o resultado do volume de produção, visto que seu tempo é medido a partir de:

TC = Tempo total de produção / volume de produção no tempo determinado

Para saber o tempo total de uma operação, deve-se somar seus tempos de ciclo individuais.

- Tempo de setup

É o tempo necessário para realizar modificações nas máquinas, para que assim possam passar a produzir um determinado produto. Considerando que esse não é um tempo produtivo, a linha de produção fica parada durante a realização do setup do maquinário.

- Disponibilidade do equipamento

É o tempo no qual o equipamento fica disponível para operação, ou seja, se encontra em condições ideais de funcionamento e é capaz de produzir.

- Número de operadores por processo (N)

É a quantidade mínima de profissionais destinados a realizar uma determinada tarefa. Para determiná-lo, é necessário ter conhecimento do tempo de ciclo do processo. Os tempos dos postos de trabalho são somados e então divididos pelo tempo de ciclo, resultando no número de operadores necessários no processo.

N = tempo total para produzir um componente na linha / tempo de ciclo

- Tempo de agregação de valor (TAV)

É o tempo efetivo de transformação do produto nos moldes esperados pelo cliente.

- Tempo de não agregação de valor (TNAV)

É o somatório dos tempos gastos com atividades que se encaixam nos desperdícios previamente apresentados.

- Quantidade de materiais em estoque

É o conjunto de materiais e suprimentos necessários para a produção que estão disponíveis para uso. São eles que garantem o abastecimento das estações produtivas e que serão transformados no produto final.

- Tempo médio de estoque em fila

É a média do tempo onde os insumos recebidos pelos fornecedores ficam armazenados no estoque até serem solicitados na produção. Esse conceito é estudado pela Teoria das Filas, e apresenta grande potencial de otimização.

Além dos indicadores citados, que podem ser medidos em chão de fábrica, é importante também analisar um conjunto de métricas estratégicas para o sucesso da empresa.

a. OEE - Overall Equipment Efficiency (Eficiência Global do Equipamento)

Buscando monitorar e melhorar a eficácia dos processos da manufatura, o OEE é uma das medidas do TPM e de programas de Manufatura Enxuta. O indicador trabalha com uma metodologia simples e prática que considera categorias primárias, como qualidade, disponibilidade e performance, e aponta onde estão as oportunidades de melhoria dos processos observados.

*OEE = Disponibilidade * Performance * Qualidade*

Para calcular a Disponibilidade, faz-se uma divisão do tempo total que a fábrica está produzindo pelo tempo disponível. É neste momento em que se analisam os momentos de perdas em excesso, seja por problemas de manutenção, de atrasos, entre outros.

O cálculo de Performance envolve a quantidade de itens produzidos dentro e fora da qualidade, dividida pela quantidade teórica que a fábrica tem capacidade para produzir. Sendo assim, avalia-se a quantidade que deveria estar sendo produzida dentro da qualidade esperada pelo cliente em relação à quantidade total produzida.

Já o fator Qualidade está relacionado ao número de itens conformes, ou seja, dentro do padrão esperado pelo projeto e pelo cliente. É calculado dividindo a quantidade de produtos bons pela soma da quantidade de produtos bons e ruins.

É importante ressaltar que o OEE é uma medida percentual, que varia de 0 a 100%, e mede o volume de produção conforme em relação ao potencial produtivo da fábrica.

b. TEEP - Total Effectiveness Equipment Performance (Eficiência Total do Equipamento)

Descreve a real capacidade produtiva da fábrica em 365 dias no ano, 24h por dia. É importante para avaliar investimentos e definição de turnos de produção.

c. Índice de Entrega ao Cliente

Mostra a performance média da qualidade das entregas aos clientes em relação ao número de remessas entregues no prazo, dividido pelo número total de entregas.

d. Índice de Atrasos do Fornecedor

Busca avaliar a qualidade do fornecedor e como seus atrasos têm impacto na linha produtiva.

e. Causa das Paradas na Linha de Produção

O indicador mede as anormalidades na linha de produção e é um registro para auxiliar tomada de decisão e análises futuras sobre a produção.

f. *Lead Time* de Fabricação

É um indicativo que mostra o tempo dos processos de uma operação, desde o início até sua execução completa. Tal tempo considera desde o pedido até a entrega efetiva ao cliente.

g. Giro de Estoque

Mede a renovação do estoque da empresa em unidades por tempo, auxiliando tomada de decisão do setor de compras e também a analisar se há oportunidades de melhoria no armazenamento da empresa.

h. Utilização de Horas Extras

Busca entender o motivo da necessidade de horas extras de produção ao longo dos meses, para poder otimizar a organização dos colaboradores na fábrica.

i. Produtos Produzidos com Atraso

Mede o índice de produtos feitos com atraso durante a cadeia de produção.

j. Monitoramento da Operação Gargalo

Uma vez que sempre existirá uma operação que demanda mais tempo e esforços, é importante administrá-la com cuidado, evitando anomalias. Deve-se medir tal indicador, pois o gargalo é diretamente relacionado ao sucesso da produção.

k. Fretes extras

O indicador mede a quantidade de transporte além do padrão predefinido. É importante ressaltar que tais fretes não são necessariamente destinados ao comprador final, mas podem ser internos também.

Andrade *apud* Maia *et al.* (2010) afirmam que uma das maiores contribuições do Mapeamento do Fluxo de Valor é a capacidade de avaliar a situação inicial dos processos produtivos, realizando o mapeamento do fluxo atual, e então traçar as diretrizes para o desenvolvimento de situação futura, em que os desperdícios sejam minimizados através das diversas ferramentas desenvolvidas com o pensamento *Lean.*

Uma vez descritos os princípios do *Lean Manufacturing* e a importância do *Value Stream Mapping,* é possível aplicar os conceitos na prática e averiguar seus resultados.

2.5 ANÁLISE ESTATÍSTICA DA PRODUÇÃO

2.5.1 CONTROLE ESTATÍSTICO DA PRODUÇÃO (CEP)

Werkema (2006) afirma que o controle estatístico de processos (CEP) é uma ferramenta com base em conceitos e técnicas da Estatística que busca o controle de qualidade nas etapas de um processo, ou seja, é um método que compara resultados com um padrão já existente. A partir de tal análise e acompanhamento, o objetivo é eliminar ou controlar tais variações.

A mesma autora indica que a análise de dados do processo produtivo é importante para controlar e melhorar a produção. Werkema (2006) mostra etapas DMAIC para a o controle de qualidade dos processos produtivos:

- Definição de um padrão a ser atingido para o produto e padronização do processo
- Medição da produção e comparação com o padrão definido
- Diagnóstico das não conformidades e descrição de desvios
- Identificação das causas das não conformidades
- Atualização, caso necessário, dos padrões dos processos ou produtos

2.5.2 ANÁLISE DE DISPERSÃO

O Controle de Qualidade é uma medida adotada por organizações com o objetivo de definir e monitorar padrões de produto e processo produtivo a serem atingidos, tendo em vista elevar o grau de satisfação do consumidor, acionistas, funcionários e fornecedores (CAMPOS, 2004).

O controle estatístico pode ser usado para medir a qualidade do produto final e também a conformidade do processo em si. Neste estudo, amostras de tempos de produção em diferentes estações produtivas serão analisadas a partir de gráficos estatísticos.

Para a análise estatística realizada neste trabalho, é importante definir:

- Tamanho da amostra (n)

O número de produtos que são investigados na análise estatística compõe o tamanho da amostra do histograma. Segundo o *software* estatístico Minitab, os resultados das análises

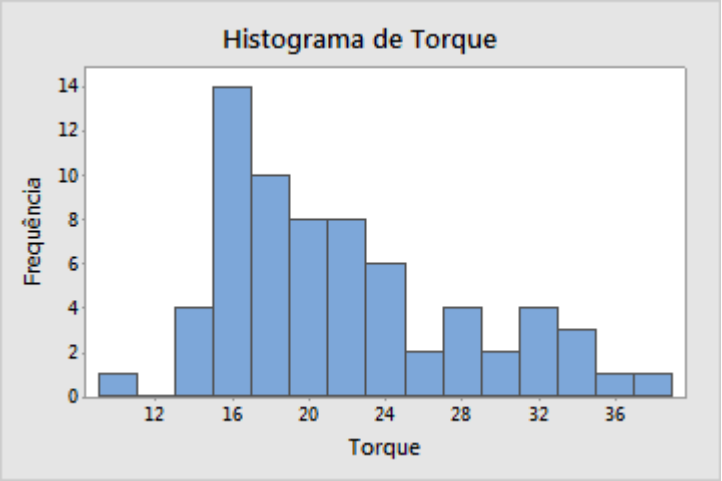
estatísticas nele realizadas são confiáveis quando o número de amostras do estudo é maior que 50 unidades. Além disso, a confiabilidade do histograma aumenta proporcionalmente com o número de amostras da pesquisa.

- Histogramas

Costa (2013) acredita que as características da população de interesse podem ser representadas em um histograma, e que o aumento do número de amostras reflete na maior confiabilidade do estudo.

Werkema (2002) afirma que o histograma é a representação visual de barras verticais, que são representantes de unidades da amostra em intervalos de valores. Para ela, a área de cada uma das barras deve crescer proporcionalmente ao número de indivíduos das amostras contidas no intervalo retratado.

Figura 6: Exemplo de histograma



Fonte: Minitab (2020)

- Dispersão e picos

No histograma, o eixo horizontal (eixo x) representa a dispersão dos valores encontrados nas amostras, agrupando-os em intervalos, representados pelas barras verticais. Para o controle de qualidade de produção, por exemplo, a dispersão tem um valor máximo aceitável. Caso contrário, mostra que a produção está menos padronizada do que o necessário.

As barras têm sua altura determinada pela frequência de amostras presentes no intervalo de valores representados pelo seu eixo x. Comparando a altura das barras, é possível encontrar picos, ou seja, agrupamentos mais altos, que representam os conjuntos de valores mais frequentes na amostra.

- *Outliers*

São valores que se diferenciam consideravelmente dos valores das demais amostras, ou seja, pontos muito distantes da mediana. A presença de outliers pode afetar o resultado da pesquisa, pois mostram uma anomalia no sistema. Tal diferença deve ser avaliada e o

outlier precisa ser investigado, e, após investigação, pode ser eliminado da pesquisa estatística.

Na representação de um histograma, os outliers são os pontos isolados nas extremidades do gráfico.

2.5.3 CAUSA DE VARIAÇÃO

Ritzman e Krajewski (2004) mostram que o CEP aplica técnicas estatísticas para determinar se o resultado de um processo pode ser considerado conforme ou não conforme com o que foi planejado. Para tal determinação, são analisadas as variações na produção.

As variações identificadas na produção podem ser consideradas comuns ou especiais, segundo Martins & Laugeni (2005). Os autores separam as duas causas de variação com as especificidades:

- Causas comuns

São aquelas que acontecem de forma inevitável e aleatória no processo. As variações aqui descritas são aquelas intrínsecas à produção, que podem ser eliminadas a partir de um trabalho de melhoria nos sistemas relacionados aos processos produtivos.

Essas causas aleatórias acontecem de forma constante, e por isso constituem um processo estável. Para eliminar tais causas é necessário substituir processos existentes por novas metodologias, e é comum que necessite de investimentos financeiros.

São exemplos de causas comuns de variabilidade na produção: pequenas flutuações na corrente elétrica, desgaste normal da ferramenta de corte, variações de temperatura e umidade, variações de características de matérias primas, entre outros.

- Causas especiais

São variações que podem ser explicadas por motivos específicos e por alterações nas condições produtivas. Não é possível apontar as variações de tais dados utilizando distribuições simples, como seria o processo sem os acontecimentos especiais.

Essas causas são atribuíveis a acontecimentos específicos, como quebras de ferramentas e maquinários, materiais fora de especificação, treinamento de novos funcionários, queda de energia elétrica, entre outros.

Com a percepção de tais causas, o CEP busca colocar o processo sob controle estatístico, ou seja, tornar o processo estável e eliminar as causas especiais de variação. A busca pela redução dessas variações é um trabalho contínuo, que faz parte da filosofia do *Lean Manufacturing*. Para trazer indicadores numéricos para mostrar o sucesso do pensamento *Lean*, percebe-se a importância de um estudo estatístico da produção.

2.5.4. Planejamento Estatístico de Experimentos (DOE)

Uma parte importante da aplicação de métodos estatísticos é o planejamento dos experimentos que irão gerar os dados, os quais devem permitir a obtenção de conclusões válidas e significativas (PIMENTA, 2007). Buscando otimizar processos e produtos, pode-se utilizar modelos estatísticos para determinar as melhores condições de processamento. Para reduzir custos e o tempo de pesquisa, é interessante também planejar e executar o melhor design do experimento.

Montgomery et al (2004) define o Planejamento Estatístico de Experimentos ou DOE como uma metodologia cujo objetivo é determinar como uma variável afeta um processo de fabricação com o grau de precisão esperado e o menor custo.

Lima, Balestrassi e Paiva (2011) acreditam que o delineamento de experimentos (DOE) é a metodologia mais adequada para correlacionar diversos fatores de um processo e

entender suas interações, buscando assim solucionar problemas a partir de análises estatísticas.

Essa metodologia é considerada poderosa para a melhoria da qualidade e produtividade, tendo sido nos últimos anos cada vez mais aplicada na indústria brasileira, principalmente pelas indústrias do segmento automobilístico (SILVA; SILVA, 2008).

O DOE é uma coleção de métodos de experimentação planejada, ou seja, que ocorrem para buscar comportamentos e variações específicas em processos. A partir de experimentos, busca-se entender mudanças em medidas de qualidade, tempo de produção, tamanho de peças, temperatura, entre outros.

Os princípios do DOE afirmam que é necessário testar em pequena escala para construir conhecimento, coletar dados ao longo do tempo e especificar condições de teste. Uma vez reconhecidas tais características, usa-se de ferramentas estatísticas para encontrar os resultados desejados.

Para a aplicação do DOE, é importante definir a variável resposta, ou seja, a característica que se deseja conhecer o desempenho no processo. É importante também os fatores que serão analisados, que são as variáveis que se modificam ao longo do processo de maneira controlada, e cujas características afetam o resultado final do produto.

Segundo Johnson e Wichern (1998), o propósito principal da análise fatorial é descrever a relação de covariância entre muitas variáveis em termos de algumas quantidades subjacentes chamadas fatores.

Cada fator tem níveis, que podem ser contínuos ou discretos. Neste estudo são considerados níveis discretos, com valores inferiores e superiores, cujos efeitos no produto final são avaliados. O nível superior será chamado de (2 ou +) e o inferior de (1 ou -).

Montgomery e Runger (2009) afirmam que em cada tentativa completa ou réplica do experimento, todas as combinações possíveis dos níveis dos fatores são investigadas, e que experimentos fatoriais são a única maneira de descobrir interações entre variáveis.

Para reduzir o número de experimentos e ainda obter uma boa resposta foram desenvolvidos os experimentos fatoriais fracionados, do tipo 2^{k-P} onde k-p é a menor potência de 2 maior que o número de fatores. Para estruturar uma matriz fatorial fracionada faz-se necessário confundir fatores para gerar códigos para outros fatores. Para confundir fatores deve-se multiplicar a coluna de um fator, por exemplo “A” pela coluna de outro fator, por exemplo “B” e assim gera-se código para um terceiro fator, por exemplo “C”.

Montgomery et al (2001, p. 245) descreve que os arranjos fatoriais fracionados apresentam 3 resoluções viáveis, como segue:

> Resolução III: O planejamento 2^{k-p} apresenta uma condição C=A*B. Neste caso, não temos efeito principal confundido com efeito principal, mas temos efeito principal confundido com interação de 2ª ordem, e temos interação de 2ª ordem confundida com interação de 2ª ordem. Montgomery et al (2001) relata que esta resolução aplica-se para condições exploratórias. Sua representação é 2_{III}^{k-p}, (MONTGONERY, et al, p. 245-246);
>
> Resolução IV: O planejamento 2k-p apresenta o confundimento de um fator pela multiplicação de D=A*B*C. Não se verifica efeito principal confundido com efeito principal ou com interações de 2ª ordem. Porém as interações de segunda ordem estão confundidas entre si. Sua representação é 2_{IV}^{k-p}(MONTGONERY, et al, p. 245-246);
>
> Resolução V: Estes são os planejamentos em que nenhum efeito principal ou qualquer interação de segunda ordem estão associados com qualquer outro efeito principal ou com interações de segunda ordem. Porém, interações de terceira ordem estão associadas com interações de terceira ordem. Sua representação é 2V k-p. (MONTGONERY, et al, p. 245-246)

Conforme Montgomery (2001, p.245) as interações de segunda ordem, como são percebidas na Resolução III, podem ser estatisticamente relevantes. Porém, podem estar

confundidas com fatores principais. Isso significa que se a variável ou fator que na matriz recebeu código pela interação pou multiplicação de de duas colunas de outros fatores tiver uma relevância importante na resposta, sempre fica a dúvida se é ela mesmo que é importante ou se é a interação dos dois fatores que geraram código para ela.

2.5.6 DELINEAMENTO DE EXPERIMENTOS COM O MÉTODO DE TAGUCHI

Dentro do planejamento estatístico de experimentos há o método desenvolvido na década de 60, por Genichi Taguchi, no Japão, que deu uma nova dimensão aos experimentos estatisticamente planejados. Este método é também conhecido como “Projeto Robusto” (PADKE, 1989).

Quando se compara o método de Taguchi (1986) com os propostos nos experimentos fatoriais fracionados, verifica-se que a diferença básica entre eles diz respeito à montagem da Matriz e a Razão Sinal/Ruído. As matrizes são arranjos ortogonais previamente preparados que fornecem diferentes combinações dos parâmetros a serem analisados, bem como estabelecem seus níveis para cada experimento. Os arranjos são elaborados de forma a permitir ao pesquisador avaliar interações entre as variáveis (ALVES, 2009).

Taguchi (1986) propôs arranjos ortogonais que devem ser escolhidos em função do número de níveis que as variáveis vão assumir e em função do número de variáveis e interações a serem estudadas. Para a distribuição dos fatores na matriz, bem como avaliar suas interações, deve-se utilizar os gráficos lineares de Taguchi. Nestes gráficos, os pontos ou nós representam as variáveis ou fatores e as linhas entre os pontos as interações entre eles (PADKE, 1989).

Fiod Neto (1997) descreve que a realização de testes com todas as combinações possíveis entre as variáveis desejadas pode ser muito custosa e até mesmo impossibilitar o estudo. Em um modelo de experimentação combinando 3 fatores com 2 níveis cada, por exemplo, são necessários 23= 8 experimentos. Porém, ao aumentar a quantidade de fatores ou níveis, a quantidade de experimentações torna-se impraticável.

Sendo assim, Fiod Neto (1997) sugere a abordagem proposta por Taguchi (1960) em seus experimentos. Ele afirma que é possível desprezar algumas das combinações esperadas e ainda assim obter um resultado confiável no experimento, e que viabiliza uma maior gama de estudos.

Tal redução de testes necessários é chamada de delineamento fatorial fracionado. A partir de uma combinação de níveis superiores e inferiores, Taguchi apresenta uma nova tabela, com menos experimentos a serem realizados, para a obtenção de um resultado confiável para o mesmo teste. Para um experimento de 3 fatores de 2 níveis cada, é possível utilizar o arranjo ortogonal L4 mostrado na figura 7.

Se for analisado com cuidado o arranjo L4 apresentado na figura 7 nota-se que não existe fator confundido com nenhuma interação de fatores.

Figura 7: Arranjo Ortogonal L4

Arranjo Ortogonal L4. Dois níveis e no máximo três fatores

$L_4\ (2^3)$

N. Exp.	FATORES		
	1	2	3
1	1	1	1
2	1	2	2
3	2	1	2
4	2	2	1

Fonte: (ALVES, 2009)

Taguchi (1991) apresenta o conceito de ruídos como as causas de variabilidade de produtos ou processos, sejam elas eventuais ou sistemáticas. Tais fatores de perturbação podem ser de origem interna, externa ou decorrentes das próprias atividades da produção.

O autor também propõe a relação sinal-ruído, que busca comparar características de uma distribuição estatística, média e variância, e medir o desempenho de um produto ou processo a partir dessa relação. Taguchi propõe valores de medição de desempenho para diferentes situações, e as mais comuns são as representadas na figura 8.

Figura 8: Relação Sinal Ruído (S/R) de Taguchi

Razão sinal-ruído	Objetivo do experimento	Características dos dados	Fórmulas da razão sinal-ruído
Quando maior, melhor	Maximizar a resposta	Positivos	$S/R = -10 * \log(\Sigma(1/Y^2)/n)$
Nominal é melhor	Criar uma resposta alvo e basear a razão sinal-ruído somente em desvios padrão	Positivo, zero ou negativo	$S/R = -10 * \log(\sigma^2)$
Nominal é melhor (padrão)	Criar uma resposta alvo e basear a razão sinal-ruído somente nas médias e em desvios padrão	Não-negativa com um "zero absoluto", em que o desvio padrão é igual a zero quando a média é zero	$S/R = 10 \times \log((\bar{Y}^2) \div \sigma^2)$ A fórmula ajustada é: $S/R = 10 \times \log((\bar{Y}^2 - s^2 \div n) \div s^2)$
Quanto menor melhor	Minimizar a resposta	Não negativos com valor alvo zero	$S/R = -10 * \log(\Sigma(Y^2)/n))$

Razão sinal-ruído	Objetivo do experimento	Características dos dados	Fórmulas da razão sinal-ruído
Quando maior, melhor	Maximizar a resposta	Positivos	$S/R = -10 * \log(\Sigma(1/Y^2)/n)$
Nominal é melhor	Criar uma resposta alvo e basear a razão sinal-ruído somente em desvios padrão	Positivo, zero ou negativo	$S/R = -10 * \log(\sigma^2)$
Nominal é melhor (padrão)	Criar uma resposta alvo e basear a razão sinal-ruído somente nas médias e em desvios padrão	Não-negativa com um "zero absoluto", em que o desvio padrão é igual a zero quando a média é zero	$S/R = 10 \times \log((\bar{Y}^2) \div \sigma^2)$ A fórmula ajustada é: $S/R = 10 \times \log((\bar{Y}^2 - s^2 \div n) \div s^2)$
Quanto menor melhor	Minimizar a resposta	Não negativos com valor alvo zero	$S/R = -10 * \log(\Sigma(Y^2)/n))$

Fonte: Minitab (2020)

Para cada aplicação, deve ser considerada situação onde se encaixa melhor a razão entre sinal e ruído, uma vez que a base matemática a ser aplicada varia conforme a classificação. Neste estudo, os cálculos a partir dos dados obtidos experimentalmente serão tratados em um software estatístico, o Minitab, que será descrito adiante.

3. METODOLOGIA

O trabalho foi realizado em uma indústria do setor automobilístico, localizada no sul de Minas Gerais. As atividades da área de pesquisa são relacionadas a montagem de cabines de caminhão.

Segundo Rodrigues (2006) trata-se de uma pesquisa quantitativa, uma vez que o enfoque da pesquisa está voltado para a análise e interpretação dos resultados, utilizando-se da estatística. A coleta dos dados foi realizada pela autora, e a análise de distribuição dos tempos de produção foi realizada com o auxílio do software estatístico Minitab.

A pesquisa foi dividida nas seguintes etapas:

3.1 – REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

Foi realizada uma pesquisa científica, com estudo do tema a partir de leitura de trabalhos anteriores e cursos sobre o assunto.

3.2 – DEFINIÇÃO DO ESCOPO

Em conjunto com o Departamento de Montagem Bruta da fábrica, foi definido o objetivo do trabalho. Busca-se encontrar o enchimento ideal da Montagem Bruta de Cabines de Caminhão, e assim encontrar o volume de cabines em fabricação que otimiza volume produzido, qualidade e custos da fábrica.

3.3 – DIVISÃO DE TAREFAS

O departamento atribuiu tarefas aos seus integrantes. Inicialmente foi desenhado o Fluxo de Valor da fábrica, mostrando, a partir de setas, a sequência que uma cabine percorre desde seu início até sua finalização. Especialistas na área especificaram quais etapas são realizadas em cada local, e o resultado foi o fluxo de valor de uma cabine, desde a primeira estação produtiva até a liberação para a pintura.

Utilizando o mapeamento como base para construção do MFV, a equipe se dividiu para captação de dados atualizados sobre os indicadores necessários. A autora deste trabalho é responsável pelo Lead Time da produção bruta das cabines, que será a análise deste trabalho.

3.4 – COLETA DE DADOS

A autora utilizou o sistema interno da empresa para colher dados para este trabalho. Como descrito anteriormente, o foco do trabalho é a análise do Lead Time das cabines. Sendo assim, foi utilizado um sistema GPX (Formato de Intercâmbio GPS), ou seja, um sistema de localização e transferência de dados, desenvolvido para rastreamento das cabines pela fábrica. O sistema utiliza antenas distribuídas pelo chão de fábrica, e capta sinais via RFID quando uma cabine passa por seus sensores.

Sendo assim, o sistema permite localizar as cabines em tempo real. O sistema mostra todas as estações de trabalho e possíveis posicionamentos das cabines de caminhão produzidas em tempo real. É possível clicar sobre a imagem da cabine e ver seus detalhes: código de identificação (NP), cor, índices de qualidade, modelo e os horários em que passou pelas estações de trabalho anteriores, entre outras especificações.

3.5 - ACOMPANHAMENTO

Durante a realização do projeto, a autora apresentava sua evolução e novas conclusões para o gerente da área e para os engenheiros envolvidos no projeto. Tais reuniões eram semanais, e as sugestões de melhoria guiavam o pensamento da semana seguinte.

3.6 - CONCLUSÃO

Os dados obtidos com a pesquisa foram usados para estabelecer uma média de Lead Time para dois dos modelos produzidos na planta de Juiz de Fora, servindo como indicadores para o MFV de estado atual. A partir de uma análise das amostras e dos resultados, também foram apontados *Kaizen Bursts*, ou seja, oportunidades de melhoria, a serem usadas no Estado Futuro do MFV, e identificação de gargalos na linha produtiva, apontando áreas de sugestão de atuação dos engenheiros responsáveis.

Além disso, foi sugerida a aplicação do método de design de experimento em diferentes fatores que se diferenciam em variantes de produção, o que pode impactar o lead time e, assim, tem potencial de identificar pontos de melhoria na linha.

4. DESENVOLVIMENTO

4.1 – SOBRE A EMPRESA

O trabalho aqui presente foi realizado em uma multinacional alemã com mais de um século de existência. Sua presença no Brasil se dá há 70 anos, e tem operações em 4 cidades no país. Em suas unidades nacionais, são fabricados ônibus, caminhões, vans e carros, que atendem o mercado interno e de exportação. Por motivos de *compliance*, o nome da empresa não será citado.

A unidade mineira é considerada uma das mais modernas fábricas da América do Sul, e conta com diversas tecnologias da Indústria 4.0. Inicialmente, a planta produzia apenas carros de passeio da linha de luxo da empresa, focado principalmente no mercado de exportação. Após mudanças do cenário financeiro, a fábrica se adaptou e deixou de produzir tais veículos na planta. Em 2012, tal fábrica passou a produzir cabines de caminhões leves e pesados.

A produção dos caminhões é constituída em 3 grandes partes: montagem bruta de cabines, pintura e montagem final. Especificamente na planta trabalhada são realizadas as duas primeiras etapas. A montagem final dos modelos de caminhões trabalhados nessa pesquisa é realizada em outra fábrica da empresa, localizada em São Bernardo do Campo. Sendo assim, as cabines são produzidas e pintadas na unidade mineira, e então enviadas para o outro polo produtivo da rede.

A organização da produção segue o modelo TOS - Truck Operating System, que funciona como um manual de ferramentas a serem usadas na gestão das fábricas ao redor do mundo. Ele dita também as auditorias, internas ou não, que visam manter a qualidade e eficiência das unidades.

As orientações do manual têm diferentes pilares:

1. Estruturas de trabalho e trabalho em equipe
2. Padronização
3. Processos e produtos robustos: qualidade
4. Just in time
5. Melhoria contínua

Tais orientações mostram que a filosofia da produção segue o sistema do Lean Manufacturing, e que seus princípios estão enraizados no dia a dia da fábrica. Na cartilha que dita as normas das operações fabris, são ensinados PDCA, 7 desperdícios, Kaizen e Kanban, por exemplo.

A empresa conta também com diversos programas de incentivo à filosofia enxuta. Um exemplo é o programa de captação de novas ideias. Os colaboradores, tanto administrativos quanto operacionais, são convidados a registrar suas ideias de inovação para a fábrica. As ideias implementadas buscam a melhoria contínua da planta, e traz benefícios aos colaboradores que as idealizaram.

A autora realizou seu estágio acadêmico na fábrica em questão, nos anos de 2019 e 2020, na área de Montagem Bruta de cabines de caminhões. Tal área será também chamada de Rohbau, como é a denominação interna. Seu trabalho constituía no auxílio aos engenheiros da área, com foco no controle de indicadores de produtividade, qualidade, volume de produção e segurança.

4.2 – LINHA DE PRODUÇÃO

A planta de Minas Gerais produz quatro modelos de caminhão, com suas variações e particularidades. A engenharia dos produtos é feita pelo polo de desenvolvimento da empresa na Alemanha, e nas demais plantas, o trabalho foca na montagem de peças e agregados.

Os caminhões são compostos por partes produzidas em diversas fábricas pelo mundo. O trabalho logístico da planta é responsável em garantir que todas as peças necessárias estarão disponíveis segundo o modelo Just in Time. A área é também essencial para a conexão entre o polo mineiro e paulista da empresa e o envio das cabines prontas e pintadas para São Bernardo do Campo, onde serão conectadas com as demais partes dos caminhões.

Além da logística, operam na planta contabilidade, recursos humanos, administração das áreas produtivas de montagem bruta, pintura e montagem final, planejamento, comando logístico, manutenção e controle de qualidade.

Neste trabalho, será utilizada a visão do setor administrativo da montagem bruta das cabines. Além disso, serão tratados dois dos quatro modelos, uma vez que seus impactos na linha produtiva, como paradas de máquinas, atrasos e desvios na produção, são altamente significativos para os indicadores de sucesso da empresa.

Para o entendimento do lead time das cabines, é importante determinar o começo e fim de seu processo produtivo. Uma vez que essa indicação é arbitrária, a área responsável determinou que no momento o ponto de início ideal é o momento da primeira soldagem que resultará na cabine.

O trabalho logístico e de planejamento antes dessa etapa, mesmo que fundamental para sua execução, não será considerado no cálculo do lead time das cabinas. O início lead time considera o momento da soldagem na parte inferior do assoalho, chamada de longarina, que equivale ao primeiro posto de trabalho nas cabines aqui trabalhadas. A sequência de produção das cabines será descrita a seguir:

4.2.1 – SOLDAGEM INICIAL

A primeira etapa de produção dos modelos tratados ocorre em uma linha de produção especializada na soldagem e colagem de peças do assoalho da cabine. Nessa linha, são montadas as longarinas, uma do lado direito e outra do lado esquerdo, que servem como base para as demais peças da cabine. Sobre elas, é soldado o assoalho, que compõe, então, a parte inferior da cabine dos caminhões.

No local, as peças são agregadas à estrutura inferior a partir do trabalho de estações automáticas e manuais. Conforme os produtos percorrem pela linha de produção, seus componentes são agregados aos conjuntos em cada estação.

A soldagem dos assoalhos, por exemplo, é realizada em duas estações gêmeas, que necessitam de operação manual para seu funcionamento. Entretanto, o encaixe de peças é realizado por robôs e pinças automáticas.

4.2.2 – LINHA DE PRODUÇÃO PRINCIPAL

A linha principal de montagem dos modelos tratados neste trabalho é composta por uma extensa série de robôs e estações automáticas. Os robôs são previamente programados para realizar a agregação de componentes na parte inferior já montada da cabine na etapa anterior.

O abastecimento é realizado pela equipe de logística seguindo a ordem de Kanban e First in First Out - FIFO. Os robôs são abastecidos com peças e insumos para que seja possível a alocação desses no local determinado pelo projeto da cabine, e então a soldagem e colagem garante a fixação e união dos elementos.

Na segunda etapa da linha principal, são agregadas as paredes laterais, traseira e frontal das cabines. Cada uma dessas partes tem necessidades diferentes de estamparia, furação e dimensionamento, e, por isso, é realizado um trabalho prévio e separado da linha principal de montagem.

No último trecho da etapa 2, o teto é encaixado na estrutura composta por assoalho e laterais já montada. Os pontos de encontro são soldados e recebem os pinos necessários.

4.2.3 - REFORÇOS DE SOLDA

As cabines já têm o formato final e sua estrutura está estruturalmente formada. Ao passar pela terceira etapa, os pontos críticos recebem um reforço de solda em altas temperaturas, com o objetivo de garantir a fixação das peças nos locais certos e assegurar a qualidade do produto final.

Nesse local, duas estações de soldagem realizam o mesmo tipo de trabalho, e a sua duplicidade busca garantir o tempo esperado de realização das atividades da produção.

4.2.4 - FURAÇÕES

As cabines recebem reforços nas furações, para que nas próximas etapas os pinos e demais componentes que serão encaixados possam ser montados corretamente. Além disso, é realizada uma análise de ultrassom na estrutura, que aponta irregularidades a serem ajustadas nas próximas etapas.

4.2.5 – MONTAGEM DE PORTAS

Nas etapas anteriores, enquanto a estrutura era montada, a cabine ainda não contava com portas, mas apenas com o espaço nas laterais para o encaixe delas. Na quinta etapa as portas são encaixadas na estrutura composta por assoalho, laterais e teto.

Na estação de ajuste de portas, seus operadores são capazes de realizar o encontro das portas com a estrutura e realizar testes de abertura e fechamento.

4.2.6 – PLATAFORMAS DE FUNILARIA

No sexto trecho de produção, existem seis plataformas de funilaria que recebem as cabines para inspeção e correção de irregularidades. Plataformas elevatórias circundam a cabine e permitem que os especialistas da área tenham acesso em todas as partes, permitindo o retrabalho em pontos de melhoria deixados pelos postos de trabalho anteriores.

Amassados, abaulados e arranhões são retrabalhados pelos colaboradores da área, para que a cabine possa continuar seu processo de fabricação sem ser desviada para solução de tais problemas. Entretanto, se o tempo necessário para atuar em um defeito for maior que o determinado, a cabine precisa ser retirada da linha para que seu conserto seja adequado e não atrase a produção dos demais produtos. Caso seja maior do que especificado em projeto de engenharia e pelo controle de qualidade, a cabine pode ser refugada, ou seja, considerada não apta a ser vendida.

4.2.6 – INSPEÇÃO DE QUALIDADE

Os portais de inspeção presentes na sétima etapa são duas estações gêmeas, que realizam a mesma função - encontrar falhas na cabine, que nesta etapa já está basicamente pronta. Todas as cabines devem passar por um dos portais, garantindo que nenhum defeito irá passar para a etapa de pintura das cabines. Mesmo que as cabines já tenham sido retrabalhadas na funilaria, os portais são considerados mais uma barreira contra o avanço de falhas na produção.

Ao lado de tais estações existe um portal extra, denominado de BPA, que escolhe arbitrariamente uma cabine por dia e realiza uma inspeção extremamente detalhada, que serve como indicador de qualidade da fabricação como um todo, e cujos dados são observados pelos engenheiros da planta para descobrir as principais áreas que necessitam de intervenções de qualidade.

4.2.7 – ESTOQUE DE CABINES PRONTAS

Na oitava etapa, o processo produtivo bruto das cabines de caminhão está finalizado. Existe um estoque vertical de cabines prontas, com objetivo de evitar que faltem cabinas das etapas adjacentes por problemas e atrasos na produção bruta das cabines.

Seu funcionamento é como o de um estacionamento, com sinalizações verdes para espaços livres e vermelhos para vagas ocupadas. O içamento das cabines até a altura da vaga é feito por robôs, assim como sua descida, quando necessário.

4.2.8 – LIBERAÇÃO PARA A PINTURA

A última etapa produtiva da Montagem Bruta é a liberação de seus produtos para a fábrica seguinte, responsável pela pintura das cabines. Até aqui, as cabines têm coloração de chapas de aço, e precisam ser pintadas na cor que o cliente deseja.

Um robô realiza o içamento da cabine para o transelevador, ou seja, uma ponte suspensa que une o prédio onde é realizada a montagem bruta até o prédio que é responsável pela pintura das cabines. A partir daqui o processo de pintura é independente e tem a própria equipe de administração.

É importante ressaltar que essa visão é generalista e que cada etapa é composta por diversos processos complexos e desafiadores. A descrição acima busca apenas permitir uma visão geral do processo e a compreensão das próximas etapas do trabalho.

4.3 – CAPTAÇÃO DE DADOS

Para a realização do Mapeamento de Fluxo de valor e desenvolvimento do Estado Futuro, foram divididas funções para observação de oportunidades de melhoria. Este trabalho foca no controle do lead time do processo de produção de cabines de caminhão descrito anteriormente.

Para permitir uma análise de tempos, foi necessário criar um banco de dados com os intervalos de tempo de produção em cada etapa da Rohbau. Ao invés de medir o tempo de cada estação de trabalho, foi seguida a filosofia de medição de tempo por cabine. O mesmo produto foi medido do começo, na soldagem da primeira peça, ao fim, na liberação para a pintura. Assim foi feito com uma amostragem de cabines que será descrita posteriormente.

A medição dos tempos se deu em intervalos de espaço selecionados pelo gerente da fábrica, considerados estratégicos para o Mapeamento de Fluxo de Valor. Os pontos selecionados não serão aqui descritos uma vez que é uma informação sensível para a segurança de dados da fábrica.

Para a captação dos intervalos de tempo que as cabines passam entre os pontos, foi usado o sistema de rastreamento desenvolvido pela empresa - GPX Client. O software capta, a partir de sensores, quando uma cabine passa no sinal. A partir do sistema, é possível ver o código da cabine, seu modelo, futura cor, especificidades e também os tempos onde passou nos últimos sensores. Com essa última informação, é possível calcular os intervalos de tempo entre um ponto de interesse e outro.

Tais sensores utilizam o sistema de RFID para ler os códigos dos transportadores de cabines que passam nos sinais. Esse transporte é realizado por AGVs, ou seja, plataformas automáticas de locomoção onde são depositadas as cabines.

A partir de programação prévia, os AGVs conseguem se deslocar pela fábrica de forma autônoma, seguindo o caminho da linha de produção sem necessidade de interferência humana. É possível também determinar o percurso do AGV manualmente, a partir de um controle conectado por cabos na plataforma e controlado por um operador, e é realizado quando é necessário o desvio da rota normal das cabines.

Figura 9: AGV transportando cabine

Fonte: arquivo da empresa

O sistema identifica a passagem do transportador pela leitura do sensor e usa seu banco de dados para reconhecer o código da cabine que está depositada naquele AGV, e assim consegue apresentar as informações de localização e horários de passagem das cabines nos pontos. Tais dados são reunidos no GPX Client, e foram a fonte de dados deste trabalho.

Para a pesquisa, foram selecionadas cabines de dois modelos. Por motivos de segurança de informações, serão aqui chamados de modelo A e B. Amostras de ambas as cabines foram escolhidas no GPX, e suas informações foram reunidas e analisadas pela autora deste trabalho.

As cabines dos dois modelos eram selecionadas diariamente, em diferentes horários. Devido a paradas de linhas por atrasos, problemas de abastecimento, quebra de equipamentos, manutenções, entre outros, o lead time poderia ser prejudicado caso a amostra fosse de um curto espaço de tempo. Sendo assim, momentos com tempos excessivamente grandes de paradas de linha não foram considerados no estudo.

Além disso, no momento de cálculo dos intervalos de tempo de captações dos AGVs, foram retirados os tempos de paradas de linha por motivos de almoço ou jantar, reuniões gerais, trocas de turno e horários não produtivos da fábrica.

Os dados foram coletados em um período de três meses, entre junho e agosto de 2020. O total de amostras a ser utilizado é de 128 cabines de caminhão, sendo 64 do modelo A e 64 do modelo B.

Sendo assim, a criação do banco de dados de cabines se deu a partir de captação diária e tratamento dos valores de tempo. Em todo o processo, os valores encontrados eram discutidos com o gestor, engenheiros e supervisores da área, que já controlavam o lead time na prática antes da realização desta pesquisa.

4.4 – MODELOS DE CABINES

Os dois modelos de cabines aqui trabalhados, chamados de A e B, são produzidos em duas plantas da empresa: Juiz de Fora e São Bernardo do Campo. As cabines são montadas e pintadas em Juiz de Fora, e sua união com o eixo do caminhão é feita na planta paulista.

Além dessas duas fábricas, diversas peças que compõem tanto a cabine quanto às demais partes do caminhão são produzidas em diversos locais do mundo. O design e criação dos modelos foram feitos na sede da empresa na Alemanha, e integrantes com alto nível tecnológico também são importados da Europa.

Os modelos A e B possuem uma série de variações, desde caminhões médios até semipesados. As diferenças entre as linhas estão na potência do motor e na quantidade de carga que pode ser transportada. Para as cabines, tal diferença não é tão bruscamente percebida. Entretanto, é possível que o cliente escolha variações no momento da compra.

Uma vez que a fábrica produz sob demanda, o comprador do caminhão pode optar por certas características de seu produto, de forma a personalizar o veículo. No que tange a produção de cabines, muitas variações podem ser encontradas. São algumas delas:

- quantidade de lugares: seleciona-se dois ou três assentos
- tamanho: monta-se o teto alto ou baixo
- Leito: adiciona-se uma cama à cabine
- Refrigerador: instala-se um frigobar na cabine
- Cleópatra: instala-se uma abertura no teto do caminhão, funcionando como uma janela para ventilação
- Potência do motor: trabalha-se com 4 ou 6 cilindros

É possível que tais modificações alterem o processo produtivo das cabines, por isso cada uma dessas combinações recebem um código, chamados de variantes. Os robôs

usados na linha produtiva conseguem identificar a variante da próxima cabine a ser montada, e se adaptam para isso. Pode ser necessária a troca de pinças ou a soldagem de pontos em locais diferentes, caso haja alteração no tamanho da cabine.

As diferenças entre modelos interferem no processo produtivo. Por alterar a produção, essas variantes também interferem no lead time das estações e precisam ser consideradas no trabalho.

Há mais de 500 variantes possíveis para os dois modelos, o que torna a medição de tempo de cada modelo trabalhosa. Entretanto, existe um bloco de variantes mais comuns, cuja demanda é significantemente maior, enquanto as demais são produzidas com baixa frequência, com intervalo de meses entre um produto e outro.

Sendo assim, na amostragem da medição do lead time não foram consideradas as variantes especiais ou com demanda baixa. Como o objetivo é calcular um lead time médio para os modelos A e B, e não especificamente de nenhuma de suas variantes, foram usadas cabines das combinações mais comuns, que compõem a maior parte do enchimento da Rohbau em períodos de produção normais.

4.5 – USO DO SOFTWARE ESTATÍSTICO

Para a análise dos dados de tempos entre as estações trabalhadas, foi usado o software estatístico Minitab ©, que oferece ferramentas para realização de estatísticas com os valores obtidos.

O software permite a criação de diferentes gráficos e tabelas com os valores inseridos. A visualização de dados de forma gráfica possibilita a facilitação na análise dos tempos de produção e apontamento de dispersões, gargalos e pontos fora de especificação.

Conforme descrito anteriormente, o uso de histogramas possibilita o agrupamento de dados em um gráfico que os classifica em intervalos, no eixo horizontal. No eixo vertical, é mostrada a frequência, ou seja, a quantidade, de dados que se enquadram naquela classificação.

O uso de histogramas na medição de tempos de produção de cabines de caminhão é justificado pelo objetivo de observar a dispersão dos tempos medidos nos mesmos espaços e encontrar um tempo de produção que representa a maioria das cabines montadas.

Os horários de produção foram retirados do GPX Client e tratados no Excel, onde foi calculado a diferença entre essas datas e descoberto o tempo, em minutos, entre os pontos selecionados. Nessa etapa, foram retirados os tempos não produtivos da fábrica, como horário de almoço e jantar, reuniões de equipe, entre outros.

Após esse tratamento, os dados foram enviados ao Minitab ©, e assim foi possível gerar os histogramas para cada um dos trechos selecionados, além de um histograma para o lead time total do produto, desde o momento da soldagem da primeira peça até a liberação para a fábrica da pintura.

O software também permitiu a realização dos testes necessários para o planejamento de experimentos (DOE). Sua utilização para as estatísticas de Taguchi resultou nos gráficos e dados que serão apresentados.

5. RESULTADOS

5.1 ANÁLISES ESTATÍSTICAS

Foram utilizados dados de tempos de produção de 128 cabines, sendo 64 do modelo A e 64 do modelo B, produzidos em diferentes dias e horários ao longo de 4 meses, para um estudo estatístico do lead time dos produtos. Ambas seguem a mesma linha de produção e têm seus processos produtivos muito similares, o que fez com que os pontos de captação utilizados escolhidos fossem os mesmos.

Considerando os intervalos de tempo entre diversos pontos da Montagem Bruta, foram calculadas as médias e desvios padrão de todos os trechos desejados. A linha foi dividida em 8 trechos, que não serão aqui especificados por motivos de proteção de dados da empresa.

Para cada trecho, foi criado, a partir do software Minitab, o histograma referente ao tempo de produção. Sendo assim, foram desenvolvidos oito histogramas, além de um que tratou o lead time total, com os tempos somados de todas as etapas da Rohbau.

Os histogramas, médias e desvios foram apresentados aos engenheiros e ao gerente da área. Houve uma discussão sobre seus resultados, e concluiu-se que têm equivalência ao que se percebe no dia a dia da produção.

A equipe também apresentou opiniões sobre os motivos de grandes desvios nos trechos, e percebe-se que a disponibilidade de linha, quebra de equipamentos, manutenção de robôs, desvios de cabines para retrabalho e para medição têm grande impacto no resultado individual de alguns produtos, o que altera o resultado total do trecho produtivo.

Tais dados foram apresentados por 3 meses, e, no final de cada mês, foi feita uma reunião para a discussão dos resultados encontrados. A partir do acompanhamento das médias mensais do lead time dos trechos e lead time total, foi possível fazer comparações com os tempos de parada e quantidade de desvios de cabines. O lead time se mostrou inversamente proporcional a tais fatores.

Os trechos com maiores desvios padrão foram destacados, e percebeu-se que seus processos são muito afetados por atrasos nos demais trechos. Seus aumentos na média do lead time e o desvio padrão são majoritariamente consequência do aumento de tempo nos trechos anteriores, visto que o processo é contínuo e é necessário que a próxima etapa esteja disponível para que o produto seja processado.

Tal conclusão mostra que há necessidade de considerar que os trechos de maiores desvios são áreas clientes das demais áreas, e que as melhorias em seus resultados estão intrinsecamente ligadas com a melhor conexão entre os trechos, ao ritmo que a linha é puxada e existe estoques de produtos em processo.

A partir dos resultados encontrados, os trechos de medição de lead time foram listados em ordem de maior desvio padrão. Por motivos de segurança de dados, os desvios padrão das áreas não será aqui descrito. Entretanto, os desvios padrão são mostrados na tabela abaixo, divididos por variáveis sigilosas chamadas de X e Y.

Tabela 2: Média e desvio padrão por trecho

trecho	média	desvio
1	16,72*X	8,75*Y
2	10,02*X	5,89*Y
3	11,55*X	9,42*Y
4	10,27*X	6,12*Y
5	11,11*X	10,68*Y
6	7,51*X	5,03*Y
7	10,33*X	6,20*Y
8	21,01*X	10,62*Y
Lead time	**98,43*X**	**21,73*Y**

Fonte: a autora

Com tais resultados, foi perceptível que o processo não está sob controle estatístico e que são necessários maiores estudos sobre as causas de variação do lead time, seu impacto na indústria e possíveis ações para que o controle estatístico seja alcançado.

5.2 DESIGN DE EXPERIMENTO

Os dados de produção coletados apontaram necessidades de aprofundar o estudo do lead time para descobrir quais as características do produto ou processo possuem maior influência no aumento de tempo de produção.

Para isso, introduziu-se o estudo do delineamento fatorial fracionado de Taguchi para a análise de dados coletados. De forma a utilizar o modelo do DOE para a análise dos dados de lead time da Montagem Bruta, foram selecionados 3 fatores de interesse, cada um com 2 níveis.

Por questões de segurança de dados, os fatores serão aqui chamados de X, Y e Z, e suas especificidades serão preservadas. Os fatores de interesse são de características discretas, com nível superior (2) ou inferior (1). O objetivo do estudo é descobrir, utilizando o método de Taguchi e as ferramentas do software estatístico Minitab, quais são as variáveis que mais influenciam no atraso de produção e se existe correlação entre os níveis selecionados.

O motivo de escolha de cada característica foi a presença do fator na maior quantidade de variantes, ou seja, especificidades dos modelos das cabines A ou B produzidas na planta mineira. 2 entre os 3 fatores selecionados são características físicas das variantes das cabines de caminhão montadas, e o outro fator é uma especificidade do processo, que pode ou não ocorrer na montagem das cabines.

Utilizando o método fracionado, foram captados os tempos de 12 cabines de cada conjunto de fatores X, Y e Z, uma vez que a tabela de Taguchi solicita o preenchimento de dados de 4 produtos, e, para reduzir o efeito da aleatoriedade, os ensaios foram repetidos 3 vezes.

Cada experimentação será aqui chamada de *run.* Para aumentar a confiabilidade do teste e reduzir o impacto de aleatoriedades na produção de uma cabine, foram usadas 3 amostras de produtos em cada *run.* Sendo assim, 12 cabines do modelo A para a primeira

aplicação do DOE, que visa ser um modelo para futuras implementações com mais fatores e para os demais modelos de cabines na Montagem Bruta, e até na fábrica como um todo.

A captação das cabines seguindo as variantes determinadas, com os conjuntos de níveis altos e baixos conforme a necessidade da tabela de Taguchi fracionada, foi feita também pelo software GPX e identificada no banco de dados formado para a etapa anterior do trabalho de identificação do lead time.

A tabela abaixo mostra 3 amostras de cabines que seguem a combinação dos fatores X, Y e Z necessários para o design de experimento. Os valores totais dos respectivos *lead times* são mostrados nas colunas nomeadas por amostra 1, amostra 2 e amostra 3. Novamente os dados da empresa foram protegidos a partir de uma variável L que será mantida em sigilo.

Tabela 3: Tabela de Taguchi Fracionada

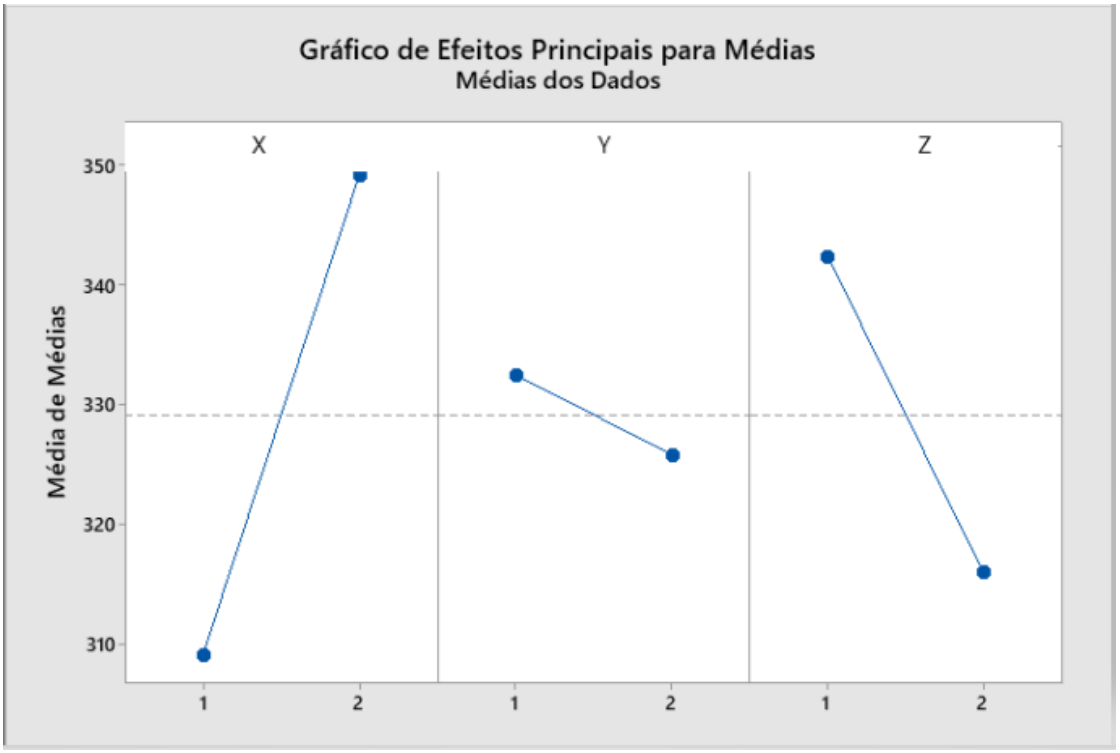
Run	X	Y	Z	amostra 1	amostra 2	amostra 3
1	1	1	1	93,52*L	80,88*L	112,94*L
2	1	2	2	63,82*L	85,58*L	108,82*L
3	2	1	2	105,29*L	87,64*L	106,47*L
4	2	2	1	103,82*L	116,17*L	96,76*L

Fonte: a autora

Após a coleta dos tempos de produção das cabines com tais características, os dados foram utilizados no software Minitab. O software necessita de informações relacionadas ao experimento de Taguchi, como o objetivo da realização de tal teste. Aqui foi utilizada a opção de “menor melhor” do experimento fatorial fracionado, visto que o foco é a minimização do lead time da indústria.

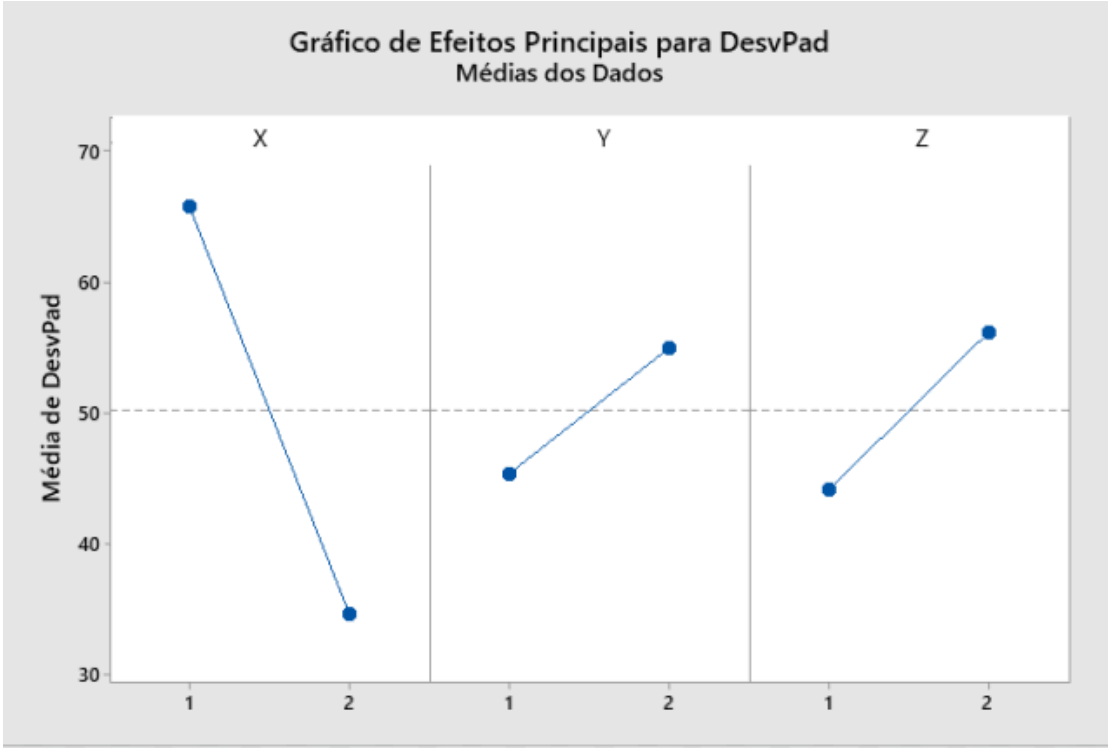
A análise dos fatores X, Y e Z resultou nos gráficos a seguir.

Figura 10: Efeito dos fatores na média das respostas



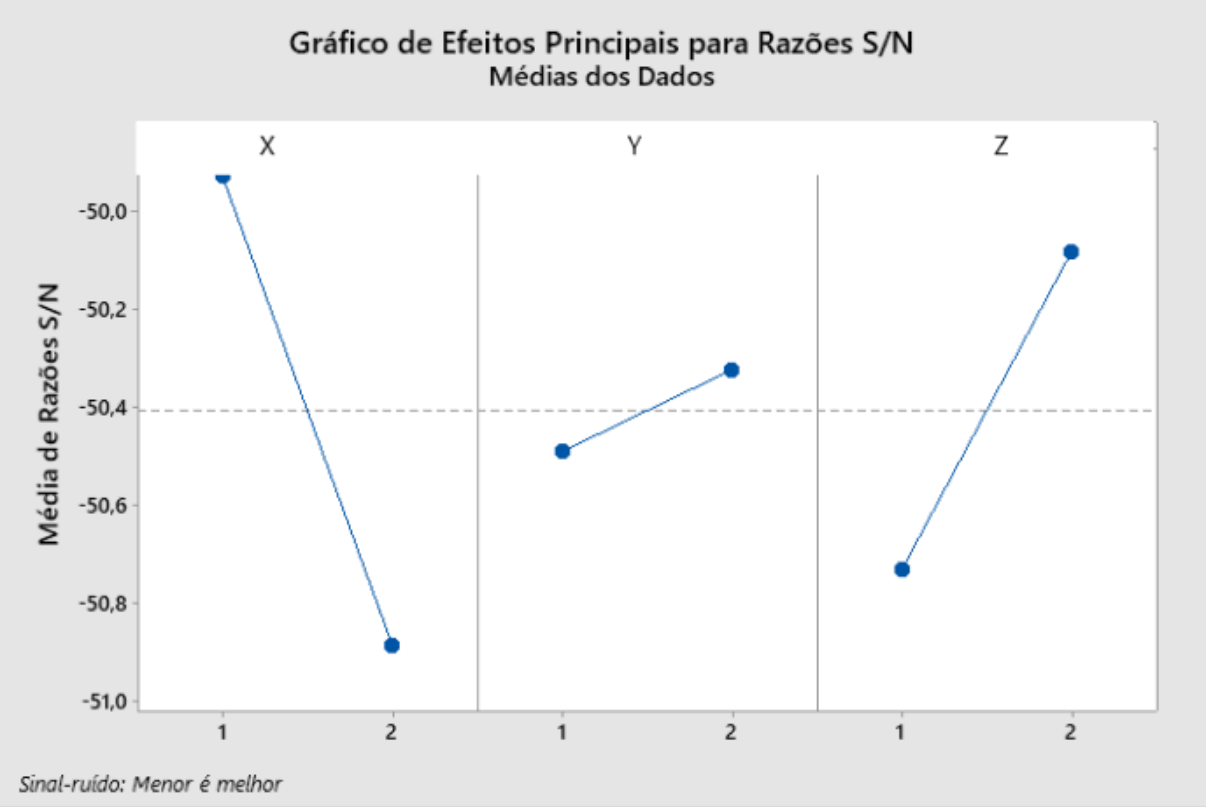
Fonte: a autora

Figura 11: Efeito dos fatores no desvio padrão para o lead time das cabines



Fonte: a autora

Figura 12: Resultado da razão sinal-ruído para as variáveis estudadas



Fonte: a autora

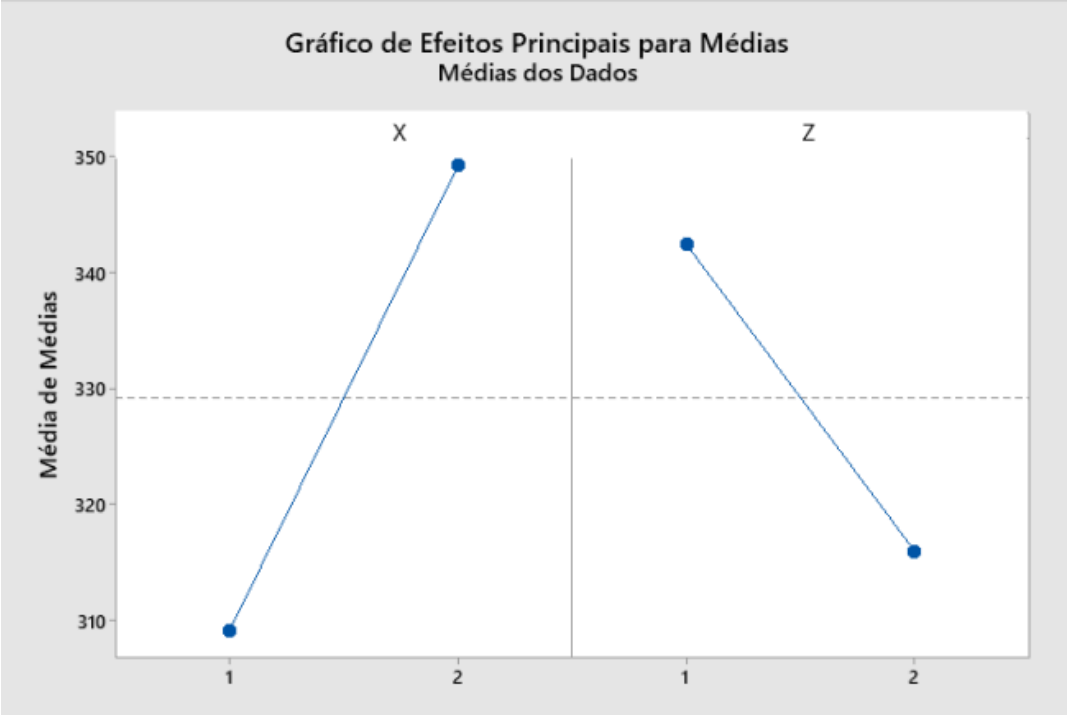
Com os resultados do experimento empregando o método de Taguchi, foi possível perceber que o fator que tem maior influência no lead time é o fator X, e que é indiretamente proporcional ao tempo de produção. A combinação de fatores que resulta no menor lead time para uma cabine com tais características é o fator X em seu nível baixo, e os fatores Y e Z no nível alto.

A análise dos gráficos, assim como dos valores encontrados para média de desvio padrão, de correlação entre as variáveis de ruído, mostra que o DOE para esses 3 fatores não consegue explicar a grande variação de tempos de produção das cabines.

A partir dessa conclusão, e do fato de que o fator Y tem muito pouco poder em influenciar os tempos do experimento, a análise foi repetida, porém para os fatores X e Z, e Y foi considerado o erro do experimento.

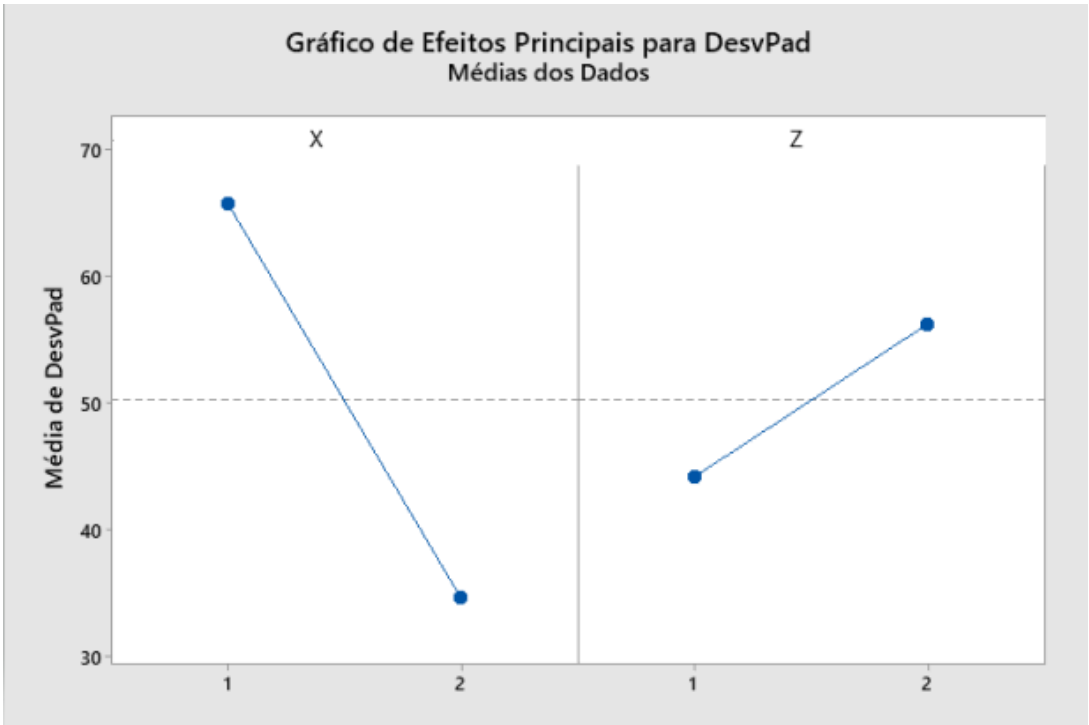
Nessa segunda avaliação, os resultados obtidos são mostrados nos gráficos.

Figura 13: Efeito dos principais fatores na média das respostas considerando somente os dois mais significativos



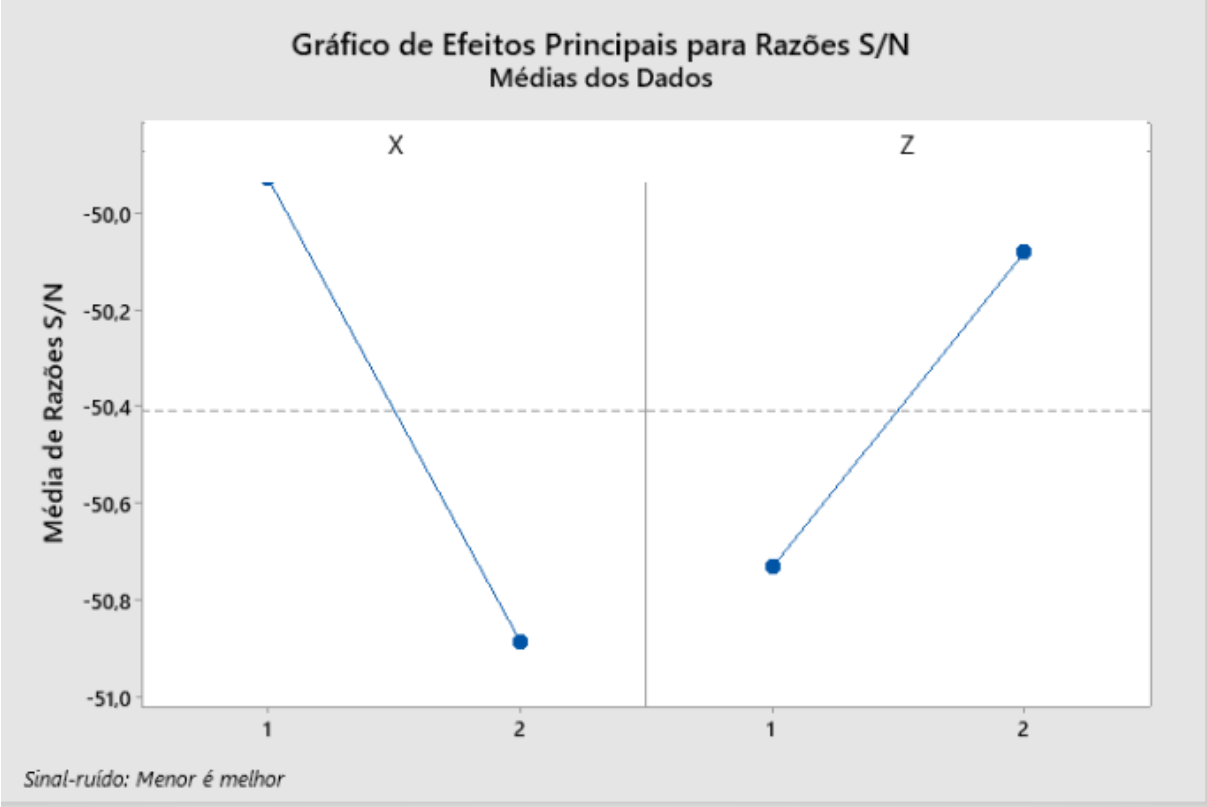
Fonte: a autora

Figura 14: Efeito dos principais fatores no desvio padrão das respostas considerando somente os dois mais significativos



Fonte: a autora

Figura 15: Efeito dos principais fatores a razão sinal-ruído das respostas considerando somente os dois mais significativos



Fonte: a autora

Ainda que, com o segundo avaliação usando o fator Y como grau de liberdade para o erro, a análise apresentou p-valor e resíduo ainda grandes, não sendo estatisticamente significantes. Isso sugere que, a partir dos experimentos realizados, não se pode afirmar que as variáveis X, Y e Z são responsáveis pelo aumento do tempo de produção das cabines com 95% de significância.

A variabilidade do processo em questão é alta, como mostrado na tabela 2, o que evidencia que o lead time de produção está fora de controle. Em uma tentativa de analisar os componentes da cabine e explicar tal variabilidade, utilizou-se a ferramenta de Taguchi. Entretanto, não foi possível justificar a variabilidade do processo analisando apenas os 3 fatores ou variáveis de processo.

Ainda assim, a realização dos testes foi considerada um sucesso e o foco foi o desenvolvimento de uma metodologia de pesquisa que possa ser ampliada. Para uma primeira medição e análise do lead time da fábrica, os resultados possibilitaram reflexões e o início do acompanhamento de tal indicador.

O estudo aponta que a área de controle de tempos de produção precisa de mais atenção e que é necessário realizar maiores aplicações da ferramenta do DOE. A análise empregando o método de Taguchi pode ser ampliada, considerando mais fatores de diferenciação entre as variantes, para que seja então encontrada a variável que mais impacta no aumento do lead time produtivo das cabines de caminhão.

Uma vez identificada, ela deve ser acompanhada e *Kaizens* podem ser realizados nas áreas afetadas por tal característica de projeto. Assim, reduzindo o tempo de processamento do fator mais crítico do processo produtivo, será encontrado um melhor

resultado para o tempo de produção dos produtos.

6. CONCLUSÃO

Pelo presente estudo, percebe-se que mesmo em grandes indústrias automobilísticas do país é possível encontrar áreas com potencial de melhoria. A filosofia do Lean Manufacturing, suas ferramentas e ideais devem ser ensinados aos colaboradores e promovido por ações internas na empresa, visto o impacto presente em inovar em processos que são considerados ótimos.

O estudo do tempo de produção das cabines teve impacto imediato, levando para a equipe administrativa da Montagem Bruta informações do lead time real, possibilitando um confrontamento entre tal valor e o número que fora desenvolvido em projeto, e que não considerava algumas adversidades encontradas no dia a dia da linha produtiva.

Foi também mostrada a necessidade de realizar o acompanhamento do lead time com o tempo. Sugere-se neste estudo um fechamento mensal da média de tempos de produção de ao menos 100 cabines, distribuídas ao longo dos dias produtivos, em diferentes turnos, visando amenizar possíveis aumentos do tempo de produção devido a paradas de linha, absenteísmo ou demais questões. Com o acompanhamento mensal do valor do lead time, é possível comparar o valor entre diferentes períodos de tempo e fazer análises do motivo de um aumento ou diminuição desses tempos.

Além da comparação entre meses, é possível também confrontar o total do tempo de produção com o total de minutos de paradas de linha no mês, de cabines desviadas da linha de montagem para retrabalhos necessários, do total de falhas por cabine produzida OEE, EE, K-Fator, entre outros indicadores de sucesso da fábrica.

O lead time para as cabines de modelo A e B, suas médias e desvios padrão foram calculados, e a análise por design de experimentos foi realizada para os fatores X, Y e Z, com dois níveis cada. O DOE foi desenvolvido para esses fatores como forma de exemplificação do uso da ferramenta, e o objetivo foi mostrar aos gestores e engenheiros da área sobre seu funcionamento e possibilidades para a fábrica.

Mesmo que não tenha sido encontrada uma relação entre esses níveis e o aumento no lead time de produção das cabines, o experimento foi bem sucedido no sentido de exemplificar a metodologia. Conclui-se que é possível captar dados a partir do GPX Client, utilizá-los no cálculo das médias mensais, separar os modelos de variantes presentes no volume de produção diário a partir das solicitações de níveis altos e baixos da tabela L4 de Taguchi e então aplicar o Minitab no cálculo de seus dados estatísticos, gráficos e dados.

Assim, sugere-se novos designs de experimentos para diferentes fatores e diferentes variantes da produção. O teste aqui realizado pode ser utilizado como base para a criação de novos e melhorados modelos, seguindo sempre a filosofia de melhoria contínua do Lean Manufacturing.

REFERÊNCIAS

ALENCAR, J. Utilização do ciclo PDCA para análise de não conformidades em um processo logístico. Monografia de Conclusão de Curso (Graduação) – Faculdade de Engenharia, Universidade Federal de Juiz de Fora, Juiz de Fora, 2008.

ANTUNES, J. Sistemas de produção: conceitos e práticas para projeto e gestão da produção enxuta. Porto Alegre: Bookman, 2008.

BAUCH, C. Lean Product Development: Making waste transparent. Munich, 2004. 140 p. Tese (Doutorado) – Technical University of Munich.

BHAMU, J.; SANGWAN, K. S. Lean manufacturing: literature review and research issues. International Journal of Operations & Production Management, v. 34, n. 7, p. 876-940, 2014. https://doi.org/10.1108/IJOPM-08-2012-0315

BIANCO, D; SANTOS, J; SAGAWA, K; GODINHO, M. Mapeamento do Fluxo de Valor: estudo de caso na fabricação de produtos Pet Food. Revista Produção Online. Florianópolis, 2019.

BORTOLOTTI, T.; BOSCARI, S.; DANESE, P. Successful lean implementation: organizational culture and soft lean practices. International Journal of Production Economics, v. 160, p. 182-201, 2015. http://dx.doi.org/10.1016/j.ijpe.2014.10.013

BRAGA, Katiuscia F. Kaizen: estudo de caso em uma indústria automobilística. Universidade Federal de Juiz de Fora - MG, 2013

CAMPOS, Vicente F. TQC: Controle da Qualidade Total (no estilo Japonês). Rio de Janeiro: Bloch Ed, 2004.

CICONELLI, Carlos M. Estudo de caso: aplicação da ferramenta Kaizen no processo de recirculação de tintas no setor de pintura de uma indústria automotiva. Universidade Federal de Juiz de Fora, Juiz de Fora - MG, 2007

COSTA, A. A. Ferramentas de controle da qualidade aplicáveis na cultura do mamão, no município de Pinheiros-ES. 2003. 72 f. Monografia (Graduação em Administração) – Faculdade Capixaba de Nova Venécia, Nova Venécia, 2003

COUTINHO, L.; LAPLANE, M.; TAVARES Filho, N.; KUPFER, D.; FARINA, E.; SABBATINI, R. (Coordenadores). Estudo da competitividade de cadeias integradas no Brasil: impactos das zonas de livre comércio. Cadeia automobilística. Campinas: UNICAMP/MDIC/MCT/FINEP, 2002.

DENNIS, P. Produção lean simplificada: um guia para entender o sistema de produção mais poderoso do mundo. Porto Alegre: Bookman, 2008.

FERREIRA, Rayna R. O Kaizen como um sistema de melhoria contínua dos processos: um estudo de caso na Mercedes-Benz do Brasil LTDA planta Juiz de Fora. Universidade Federal de Viçosa, Viçosa - MG, 2009

GONÇALVES, Edson. Manutenção industrial: do estratégico ao operacional. Rio de Janeiro: Editora Ciência Moderna Ltda., 2015.

HILSDORF, W; LOPES, A; CITTATINI, C; GHISINI, J. Aplicação de ferramentas do Lean Manufacturing: estudo de caso em uma indústria de remanufatura. Revista Produção Online. Florianópolis, 2019.

JASTI, N. V. K.; KODALI, R. Lean production: literature review and trends. International Journal of Production Research, v. 53, n. 3, p. 867-885, 2015. https://doi.org/10.1080/00207543.2014.937508

JOHNSON, R. A.; WICHERN, D. W. Applied multivariate statistical analysis. 4. ed. Nova Jersey: Prentice Hall, 1998.

KEYTE, B.; LOCHER, D.The complete lean enterprise: value streams mapping for administrative and office process. Productivity Press, New York, 2004.

LEAN INSTITUTE BRASIL. Os 5 princípios do lean thinking (mentalidade enxuta), 2015.

LIKER, Jeffrey K. O modelo Toyota: 14 princípios de gestão do maior fabricante do mundo. Bookman Editora, 2016.

LIMA, V. B. S.; BALESTRASSI, P. P.; PAIVA, A. P. Otimização do desempenho de amplificadores de rádio frequência banda larga: uma abordagem experimental. Produção, v. 21, n. 1, p. 118-131, 2011

LUSTOSA, L.; MESQUITA, M. A.; OVELHAS O.; OLIVEIRA R. J.; Planejamento e Controle da Produção. Rio de Janeiro: Elsevier, 2011.

LUSTOSA, P. Análise dos sete desperdícios de produção em um abatedouro de aves. Universidade de Brasília, 2016.

MAIA, R. D. A et al. O value stream mapping e sua relação com os princípios da abordagem enxuta: proposição de uma sistemática expandida para a gestão do lead time. XXX ENEGEP; São Carlos, 2010.

MARCHWINSKI, C.; SHOOK, J. Léxico Lean: glossário ilustrado para praticantes do pensamento lean. 5. ed. São Paulo: Lean Enterprise Institute, 2011.

MARTINS, P. G. & LAUGENI, F. P. Administração da Produção. 2. ed. São Paulo: Saraiva, 2006, 562 p.

MILARD, R. L. Value stream analysis and mapping for product development. Massachusetts, 2001. Dissertação (Mestrado) – Massachusetts Institute of Technology.

MONDEN, Ysuhiro. Sistema Toyota de Produção: uma abordagem estratégica. Bookman Editora, 2015

MONTGOMERY, D. C.; RUNGER, G. C. Estatística Aplicada e Probabilidade Para Engenheiros. 4 ed. Rio de Janeiro: LTC – Livros Técnicos e Científicos Editora S.A., 2009

MOTA, R. Avaliação da implementação Lean Manufacturing: estudo de caso no setor de manutenção de uma siderúrgica de grande porte. Revista Produção Online. Florianópolis, 2019.

NETO, M. F Taguchi e a Melhoria da Qualidade: uma Releitura Crítica. Editora UFSC, 1ª edição, Florianópolis, 1997.

OHNO, T. Toyota Production System: Beyond Large-Scale Production. Portland, OR: Productivity Press, 1988.

OHNO, Taiichi. O Sistema Toyota de Produção: além da produção em larga escala; Porto Alegre: Bookman, 1997.

PIMENTA, C. D. et al. Planejamento de experimentos (doe) aplicado no processo de têmpera e revenimento de arames de aço SAE 9254. Jânus, v. 5, n. 8, p. 119-139, 2007.

RIANI, A. M. Estudo de Caso: O Lean Manufacturing Aplicado na Becton Dickinson. Monografia de Conclusão de Curso (Graduação) – Faculdade de Engenharia, Universidade Federal de Juiz de Fora, Juiz de Fora, 2006.

RITZMAN, L. P. & KRAJEWSKI, L. J. Administração da Produção e Operações. São Paulo: Pearson Prentice Hall, 2005. 434 p

RODRIGUES, Auro de Jesus. Metodologia científica. 1º ed. São Paulo: Avercamp, 2006.

ROTHER, M.; SHOOK, J, Aprendendo a enxergar: Mapeando o Fluxo de valor para agregar Valor e eliminar o Desperdício. São Paulo: Lean Institute do Brasil, 2003.

SALGADO, E; MELLO, C; SILVA, C; OLIVEIRA, E; AMEIDA, D. Análise da aplicação do mapeamento do fluxo de valor na identificação de desperdícios do processo de desenvolvimento de produtos. Revista Gestão da Produção, 2009.

SAVI, A. Análise das práticas Lean de gestão de produção sob o enfoque da teoria da complexidade. Monografia de Conclusão de Curso (Graduação) – Faculdade de Engenharia, Universidade Federal de Santa Catarina. Florianópolis, 2007.

SHINGO, S. A Study of the Toyota Production System from an Industrial Engineering Viewpoint. [S.l.]: Productivity Press, 1981.

SHINGO, S. O Sistema Toyota de produção: do ponto de vista da engenharia de produção. 2. ed. Porto Alegre: Bookman, 1996.

SHINOHARA, I. NPS – New production system: JIT crossing industry boundaries. Cambridge: Productivity Press, 1988.

SILVA H, A.; SILVA M. B. Aplicação de um projeto de experimentos (DOE) na soldagem de tubos de zircaloy-4. Produção & Engenharia, v. 1, n. 1, p. 41-52, 2008.

SILVA, L; LIMA, D. O Mapeamento do Fluxo de Valor (MFV) como ferramenta para a identificação dos desperdícios de produção: um caso exploratório numa empresa calçadista. XXXIII ENEGEP. Salvador, 2013.

SILVA, Leonardo. Redução de Custos de Produção na Indústria Automotiva por Meio de Kaizen Identificado no Mapeamento de Fluxo de Valor. Universidade Federal de Juiz de Fora, MG - 2016

SILVA, José Pereira da. Análise financeira das empresas. 13. ed. Mason: South-Western Cengage Learning, 2016.

SLACK, N.; CHAMBERS, S.; JOHNSTON, R. Administração da produção. São Paulo: Editora Atlas, 2009.

SLACK, N. et al. Administração da produção. 4. ed. São Paulo: Atlas, 2015.

STANIO, M.; Uatanabe, P.; Suzuki, J. & Faria, A. Implantação da gestão por processos em uma pequena empresa de base tecnológica: diferencial de competitividade:

Revista Eletrônica Produção & Engenharia, v. 4, n. 2, p. 433-442, Jan./Jun. 2013. https://doi.org/10.18407/issn.1983-9952.2013.v4.n2.p433-442

TAGUCHI, G. (1987) System of Experimental Design: Engineering Methods to Optimize Quality and Minimize Costs. 1st Edition, American Suppliers Institute, Dearborn, 653-655.

WALTER, O. M. F. C.; TUBINO, D. F. Métodos de avaliação da implantação da manufatura enxuta: uma revisão da literatura e classificação. Gestão & Produção, v. 20, n. 1, p. 23-45, 2013. https://doi.org/10.1590/S0104-530X2013000100003

WERKEMA, M. C. C. Criando a cultura seis sigma. v. 1. Rio de Janeiro: Qualimark, 2002.

WERKEMA, M.C.C. Ferramentas estatísticas básicas para o gerenciamento de processos. Belo Horizonte: Fundação Christiano Ottoni, 2006.

WOMACK, J. P.; JONES, D. T. Lean thinking: Banish waste and create wealth in your corporation. New York: Simon & Schuster, 1996.

WOMACK, J. P.; JONES, D. T. A mentalidade enxuta nas empresas: elimine o desperdício e crie riqueza. Rio de Janeiro: Elsevier Editora, 2004.

ANEXO A – TERMO DE AUTENTICIDADE

ANEXO E – TERMO DE AUTENTICIDADE

UNIVERSIDADE FEDERAL DE JUIZ DE FORA
FACULDADE DE ENGENHARIA

Termo de Declaração de Autenticidade de Autoria

Declaro, sob as penas da lei e para os devidos fins, junto à Universidade Federal de Juiz de Fora, que meu Trabalho de Conclusão de Curso do Curso de Graduação em Engenharia de Produção é original, de minha única e exclusiva autoria. E não se trata de cópia integral ou parcial de textos e trabalhos de autoria de outrem, seja em formato de papel, eletrônico, digital, áudio-visual ou qualquer outro meio.
Declaro ainda ter total conhecimento e compreensão do que é considerado plágio, não apenas a cópia integral do trabalho, mas também de parte dele, inclusive de artigos e/ou parágrafos, sem citação do autor ou de sua fonte.
Declaro, por fim, ter total conhecimento e compreensão das punições decorrentes da prática de plágio, através das sanções civis previstas na lei do direito autoral[1] e criminais previstas no Código Penal[2], além das cominações administrativas e acadêmicas que poderão resultar em reprovação no Trabalho de Conclusão de Curso.

Juiz de Fora, 31 de janeiro de 2021.

Beatriz Thomaz Rabello — 201649005
NOME LEGÍVEL DO ALUNO (A) — Matrícula

Beatriz Thomaz Rabello — 155.340987-67
ASSINATURA — CPF

[1] LEI N° 9.610, DE 19 DE FEVEREIRO DE 1998. Altera, atualiza e consolida a legislação sobre direitos autorais e dá outras providências.
[2] Art. 184. Violar direitos de autor e os que lhe são conexos: Pena - detenção, de 3 (três) meses a 1 (um) ano, ou multa.