

Universidade de São Paulo
Escola de engenharia de São Carlos
Departamento de Engenharia de Materiais e Manufatura

Marco Antonio Reali Salvadori

Metodologia Lean Seis Sigma aplicada na indústria de bens de consumo

São Carlos

2018

Marco Antonio Reali Salvadori

Metodologia Lean Seis Sigma aplicada na indústria de bens de consumo

Monografia apresentada ao Departamento de Engenharia de Materiais e Manufatura da Universidade de São Paulo como requisito parcial para a obtenção do título de Graduado em Engenharia de Materiais e Manufatura.

Orientador: Prof. Dr. Luiz Cesar Ribeiro Carpinetti

São Carlos

2018

AUTORIZO A REPRODUÇÃO TOTAL OU PARCIAL DESTES TRABALHOS,
POR QUALQUER MEIO CONVENCIONAL OU ELETRÔNICO, PARA FINS
DE ESTUDO E PESQUISA, DESDE QUE CITADA A FONTE.

Ficha catalográfica elaborada pela Biblioteca Prof. Dr. Sérgio Rodrigues Fontes da
EESC/USP com os dados inseridos pelo(a) autor(a).

R182m Reali Salvadori, Marco Antonio
Metodologia Lean Seis Sigma aplicada na indústria
de bens de consumo / Marco Antonio Reali Salvadori;
orientador Luiz Cesar Ribeiro Carpinetti. São Carlos,
2018.

Monografia (Graduação em Engenharia de Materiais e
Manufatura) -- Escola de Engenharia de São Carlos da
Universidade de São Paulo, 2018.

1. DMAIC. 2. Melhoria contínua. 3. Ishikawa. 4.
OEE. I. Título.

FOLHA DE APROVAÇÃO

Candidato: Marco Antonio Reali Salvadori

Título do TCC: Metodologia Lean Seis Sigma aplicada na indústria de bens de consumo

Data de defesa: 30/11/2018

| Comissão Julgadora | Resultado |
|--|-----------|
| Professor Titular Luiz Cesar Ribeiro Carpinetti (orientador) | APROVADO |
| Instituição: EESC - SEP | |
| Professor Doutor Edson Walmir Cazarini | Aprovado |
| Instituição: EESC - SEP | |
| Pesquisador Lucas Gabriel Zanon | APROVADO |
| Instituição: EESC - SEP | |

Presidente da Banca: **Professor Titular Luiz Cesar Ribeiro Carpinetti**


(assinatura)

Resumo

SALVADORI, M. A. R. Metodologia Lean Seis Sigma aplicada na indústria de bens de consumo. 2018. 53p. Trabalho de Conclusão de Curso – Escola de Engenharia de São Carlos, Universidade de São Paulo, São Carlos, 2018.

O mercado está se tornando a cada ano mais competitivo e os clientes mais exigentes. Consumidores encontram diversos produtos de diferentes preços e diferentes níveis de qualidade. Neste cenário não basta apenas ter um produto de qualidade ou de baixo preço para superar a concorrência, é necessário atender aos dois requisitos. Para isso, as empresas têm investido fortemente na melhoria contínua de seus processos para reduzir seus desperdícios causados por não conformidades, o que representam altos custos para a companhia.

Este trabalho apresentará diversas ferramentas das metodologias Lean e Seis Sigma utilizadas para projetos de melhoria contínua em fábricas de diversos ramos, buscando manter a competitividade dos produtos e produzindo sempre com menor desperdício e maior qualidade.

O trabalho mostrará também a aplicação prática, em uma fábrica de bens de consumo, de algumas das ferramentas e técnicas. O trabalho aplicado será guiado pelo método "DMAIC" que auxilia na identificação, solução e controle dos problemas e buscará reduzir as perdas e tempo de ciclo de um determinado produto.

Ao final, o trabalho mostrará que é possível obter resultados significantes com esta metodologia e alcançará uma redução de 55% do tempo de ciclo e a redução em 45% das perdas de um produto através da aplicação das ferramentas apresentadas.

Palavras-chave: DMAIC, Melhoria contínua, Ishikawa, OEE.

Abstract

SALVADORI, M. A. R. Lean Six Sigma methodology applied in industry. 2018. 53p. Trabalho de Conclusão de Curso – Escola de Engenharia de São Carlos, Universidade de São Paulo, São Carlos, 2018.

The market is becoming more competitive each year and customers are more demanding because they have several options to buy. In this scenario it is not enough just to have a quality product or a low price to overcome the competition, it is necessary to meet both requirements. For this, companies have invested heavily in the continuous improvement of their processes to ensure product quality and reduce product costs and process wastes.

This monography presents several tools of the Lean and Six Sigma methodologies used for projects of continuous improvement in consumer goods factories, seeking to maintain the competitiveness of the products, always producing with lower cost and higher quality.

The work also shows the practical application in a consumer goods factory of some of the tools and techniques. The applied work was guided by the DMAIC method that assists in the identification, solution and control of the problems and sought to reduce the losses and cycle time of a product.

In the end, the monograph will show that it is possible to obtain significant results, in this case, a 55% reduction in cycle time and a 45% reduction in product losses through the application of the presented methodologies.

Keywords: DMAIC, Continuous Improvement, Ishikawa, OEE.

Lista de Figuras

| | | |
|-----|--|----|
| 1.1 | Diagrama de categorias da movimentação de trabalho. (Adaptado de Ohno, 1988) | 16 |
| 1.2 | A estrutura do TPS (Adaptado, Kaizen Express, 2011) | 16 |
| 1.3 | Fundamentos do Lean Six Sigma | 18 |
| 2.1 | Fases do método DMAIC (ECKES, 2001). | 25 |
| 2.2 | Causa comum (variação esperada) e causa especial (variação inesperada) em um processo. | 27 |
| 2.3 | Representação de um processo com fase de melhoria e de controle | 28 |
| 2.4 | Modelo do diagrama de Pareto | 29 |
| 2.5 | Exemplo de um diagrama de causa e efeito | 30 |
| 2.6 | Exemplo de historiograma | 31 |
| 2.7 | Gráficos de dispersão com correlação positiva, negativa e sem correlação respectivamente | 31 |
| 2.8 | Gráfico de controle estável e instável respectivamente | 32 |
| 3.1 | Fluxograma dos processos de fabricação | 35 |
| 3.2 | Diagrama SIPOC | 36 |
| 3.3 | Gráfico de variação no processo de corte | 38 |
| 3.4 | Relatório de capacidade do processo de corte | 39 |
| 3.5 | Pareto Máquina A e Máquina B respectivamente | 40 |
| 3.6 | Diagrama de Causa e Efeito para alto tempo de ciclo | 42 |
| 3.7 | Diagrama 5 Porques - Elevado tempo de ciclo | 43 |
| 3.8 | Diagrama de Causa e Efeito para elevada perda | 44 |

3.9 Diagrama 5 Porques - Elevada perda 45

Lista de Tabelas

| | | |
|-----|--|----|
| 2.1 | Tabela de níveis de σ (USEVINICIUS, 2004). | 24 |
| 3.1 | Tabela comparativa de indicadores para diferentes produtos | 37 |
| 3.2 | Comparação estado atual e estado futuro | 47 |

Sumário

| | |
|---|----|
| 1. Introdução | 13 |
| 1.1 Contextualização | 13 |
| 1.2 Objetivos | 18 |
| 1.3 Métodos de desenvolvimento | 19 |
| 1.4 Estrutura dos capítulos | 19 |
| 2. Revisão Bibliográfica | 20 |
| 2.1 Conceitos: Lean Manufacturing | 20 |
| 2.1.1 Just in time | 20 |
| 2.1.1.1 Tempo takt e tempo de ciclo | 20 |
| 2.1.1.2 Fluxo contínuo | 22 |
| 2.1.1.3 Sistema puxado | 22 |
| 2.1.2 Jidoka | 23 |
| 2.2 Conceitos: Seis Sigma | 23 |
| 2.2.1 DMAIC | 25 |
| 2.2.1.1 Definir (D) | 25 |
| 2.2.1.2 Medir (M) | 26 |
| 2.2.1.3 Analisar (A) | 27 |
| 2.2.1.4 Melhorar (I) | 27 |
| 2.2.1.5 Controlar (C) | 28 |
| 2.2.2 Ferramentas da Qualidade | 28 |
| 2.3 Conceito: OEE ("Overall Equipment Effectiveness") | 32 |

| | |
|--|----|
| 3. <i>Desenvolvimento do projeto</i> | 34 |
| 3.1 Descrição da empresa | 34 |
| 3.2 Descrição do projeto | 35 |
| 3.3 Aplicação do método DMAIC | 36 |
| 3.3.1 Fase 1: Definir | 36 |
| 3.3.2 Fase 2: Medir | 37 |
| 3.3.3 Fase 3: Analisar | 41 |
| 3.3.4 Fase 4: Melhorar | 46 |
| 3.3.5 Fase 5: Controlar | 48 |
| 4. <i>Conclusão</i> | 49 |
| <i>Referências</i> | 51 |

Introdução

1.1 Contextualização

Durante muitos séculos, desde quando surgiu a necessidade de produzir bens de consumo, a produção era feita de forma artesanal, não haviam processos, padrões nem procedimentos, era o artesão quem determinava seu tempo e intensidade de trabalho por dia.

Durante o século XVII, com o crescente aumento da demanda por bens de consumo, os artesãos começaram a se organizar e dividir os trabalhos, originando as primeiras linhas de processos e montagem. Com o avanço da tecnologia na mesma época, surgiu a Revolução Industrial, alterando completamente a forma de produção.

Com o surgimento das fábricas e o grande número de funcionários, onde cada um passou a exercer uma determinada atividade, tornou-se necessário ter uma padronização de processos e produtos, treinamentos da mão de obra, planejamento e controle da produção e meios de identificar falhas no produto e no processo produtivo.

Nesse cenário, surge o Taylorismo no qual Frederick Taylor, através de seu livro “Princípios da Administração Científica”, dissemina o conceito que os gerentes devem estudar e melhorar o trabalho de seus funcionários. Segundo Taylor (1911), as indústrias daquela época apresentavam três grandes problemas: baixa produtividade, falta de padronização técnica e métodos empíricos de gestão.

Essa larga produção em massa acabou ocasionando muitas perdas de produtos por falhas ou falta de qualidade. Para Maximiniano (2012), nessa época, a quantidade produzida era mais importante que a qualidade e as empresas preferiam encontrar defeitos utilizando técnicas de inspeção em vez de evitá-los. Foi aí que o estatístico Walter Shewhart começou

a pesquisar e utilizar ferramentas estatísticas na melhoria de processos com a finalidade de identificar quando um sistema está estável ou instável para assim saber agir frente à um problema e solucioná-lo a tempo para reduzir as perdas por qualidade.

Outro famoso estatístico, Willian Edwards Deming, deu sequência às pesquisas de Shewhart e se juntou aos grandes engenheiros japoneses que buscavam desenvolver sua indústria e tornar seus produtos competitivos para reconstruir o país após a Segunda Guerra Mundial.

De acordo com a revista *Logística and Supply Chain* (2018), esse grupo de engenheiros da Toyota que formaram a JUSE (União Japonesa dos Cientistas e Engenheiros), visitaram as fábricas da Ford para aprender mais sobre o, até então, revolucionário modelo de produção Fordista. O que se percebeu, no entanto, é que o Fordismo estava ultrapassado e tinha muito o que melhorar. O modelo que propunha a alta produtividade e padronização já não era tão eficiente. A produção em larga escala de peças para um único modelo de carro causava gargalos na produção e, conseqüentemente, grandes estoques parados.

O desafio dos japoneses seria aprimorar seus conceitos e aplicá-los na Toyota. A adaptação se mostrou tão eficaz para a Toyota que originou um modelo de gestão aplicado em diversas fábricas pelo mundo, chamado TPS (Sistema Toyota de Produção) que busca proporcionar a melhor qualidade, o custo mais baixo e o menor tempo de produção e entrega mediante a eliminação dos desperdícios (NARUSAWA, 2011).

Narusawa (2011) definiu desperdício como qualquer atividade que consome recursos sem criar valor para o cliente, ou seja, qualquer atividade que o cliente não está disposto a pagar por ela. Taiichi Ohno, um dos integrantes da JUSE, categorizou os sete maiores desperdícios encontrados em qualquer local de trabalho. Picchi (2017) explica os sete desperdícios definidos por Ohno:

- **Produção em excesso:** É quando a empresa produz mais do que precisa para atender o cliente. Cada etapa deve produzir exatamente, nem mais nem menos, o que pede ou exige o processo seguinte, de forma que a cadeia de valor atenda à demanda real. Produzir além do necessário agrava em outros desperdícios, pois utiliza recursos desnecessariamente, gera estoques e deslocamentos, consumindo capacidade que deveria ser utilizada para fazer o que o cliente deseja.
- **Espera:** O ideal do sistema enxuto é que todos os processos ocorram em fluxo contínuo,

entregando rapidamente para o cliente, sem interrupção. O desperdício de espera ocorre quando alguém ou algum equipamento que deveria estar produzindo não está trabalhando. Pessoas paradas, máquinas paradas devido à falta de material ou falta de informação são grandes ineficiências.

- **Transporte:** é um desperdício fazer qualquer tipo de transporte que poderia ser evitado. É quando, por exemplo, há movimentos de matérias-primas dentro de uma fábrica sem necessidade, estoques intermediários e distantes das linhas de produção, e meios de abastecimento ineficientes.
- **Processamento:** ações no processo feitas sem necessidade, as quais poderiam ser eliminadas e não impactariam o processo ou produto
- **Estoque em excesso:** Produtos ou serviços são feitos para serem consumidos. É assim que a empresa atende os clientes e tem sua remuneração. Se o que é produzido não é consumido – seja pelo consumidor final, seja pelo processo seguinte numa cadeia produtiva – temos estoques, um dos principais indicadores de um sistema com problemas. O custo financeiro de capital parado e não vendido é o desperdício mais evidente. Mas o estoque esconde vários outros problemas, por exemplo, ao retardar a detecção de defeitos, gerando muitas vezes retrabalhos em grandes lotes.
- **Correção:** O ideal em processo produtivo é produzir sem falhas, pois assim não será preciso produzir de novo. O sexto desperdício identificado por Ohno é um dos que mais ocorrem nas organizações tradicionais: gastar tempo, gente e recursos para refazer, corrigir ou retrabalhar o que foi feito de forma errada. Isso envolve uma série de desperdícios típicos de processos produtivos cheios de falhas: necessidades de inspeções, manejos de refugos e retrabalhos.
- **Movimentação:** movimentos de pessoas ou máquinas sem necessidade são desperdícios, consomem tempo que não está sendo usado para produzir, para criar valor. O ideal é que todo o movimento de um trabalhador seja usado para produzir.

Muitos autores consideram nos dias de hoje o aparecimento de mais um desperdício, que é o mal aproveitamento do capital humano, ou seja, ter mão de obra especializada e utilizá-la para tarefas básicas ou não dar importância às ideias e sugestões dos principais envolvidos durante a atividade.

Para Ohno (1988) o movimento dos trabalhadores em suas atividades está dividido em duas diferentes dimensões: a do trabalho e a das perdas. O trabalho constitui-se do trabalho necessário para os processos, e pode ser dividido em dois tipos: o que agrega valor, por exemplo a transformação de matéria-prima ou partes em produtos; e o que não agrega valor, porém é necessário para viabilizar o trabalho que agrega, por exemplo transportes necessários, deslocamentos para buscar uma ferramenta ou matéria prima. A figura 1.1, representa a movimentação dos trabalhadores dividido em trabalho (que agrega e não agrega valor) e desperdícios.

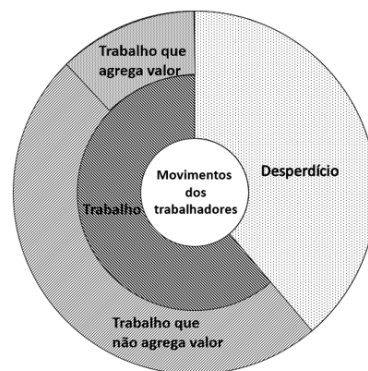


Figura 1.1: Diagrama de categorias da movimentação de trabalho. (Adaptado de Ohno, 1988)

O TPS está estruturado sobre a base de dois pilares, o jidoka e o just in time, conforme ilustra a figura 1.2



Figura 1.2: A estrutura do TPS (Adaptado, Kaizen Express, 2011)

Kondrasovas (2010), resume os pilares do TPS como: Just-in-Time refere-se às entregas aos clientes, no tempo certo e nas quantidades pedidas, sem gerar estoques ou atrasos.

Jidoka refere-se à melhoria dos processos, buscando a eliminação dos desperdícios. Estes são os pilares da metodologia que estão apoiados nas bases da melhoria contínua, trabalho padronizado e nivelamento de produção, os quais exigem um grau de estabilidade para se equilibrarem.

A partir destes princípios, diversas ferramentas como o Kanban, PDCA, 5 S's, 5 por quês, poka-yoke, takt-time entre outras, foram criadas voltadas para resolução de problemas e gerenciamento de produção.

Assim surgiu o Lean Manufacturing, inspirado nas práticas e resultados do Sistema Toyota de Produção (TPS), o sistema de produção enxuta se disseminou e se tornou fundamental em organizações pelo mundo de praticamente todos setores com o objetivo de transformar realidades gerenciais, potencializar resultados e aproveitar melhor o potencial humano (Lean Institute Brasil).

O Lean Enterprise Institute define Lean como “maximizar o valor do cliente e minimizar o desperdício, ou seja, criar mais valor para os clientes com menos recursos”, cujo principal objetivo é eliminar o desperdício ao longo de todo o fluxo de valor, e não apenas de pontos isolados, assim os processos exigirão menos esforço humano, menos espaço, menos capital e menos tempo para fabricar produtos e serviços a custos muito menores e com muito menos defeitos, em comparação com sistemas tradicionais de produção.

Outra ferramenta que se desenvolveu nas últimas décadas e revolucionou os sistemas de produção junto com o “Lean Manufacturing” foi o conceito “Seis Sigma”. Para Siqueira (2011), quando um produto apresenta Seis Sigma isto significa que sua qualidade é excelente e que a probabilidade de produzir defeitos é extremamente baixa.

A abordagem Seis Sigma foi desenvolvida pela Motorola, na década de 1980, com o objetivo de reduzir a taxa de falhas em seus produtos eletrônicos manufaturados. O programa tinha como principais objetivos o aprimoramento da confiabilidade do produto final e a redução de custos por falta de qualidade (SIQUEIRA, 2011).

De acordo com a Revista Exame (2011), estima-se que a média das indústrias americanas opera em um nível de qualidade de 3 a 4 sigma, e que isso custa em torno de 15% a 30% de seu faturamento em desperdícios como inspeções, testes, retrabalho, refugos, desgaste da imagem e perda de clientes. Ao trabalhar em Seis Sigma esses custos são

reduzidos.

No século XXI começou a surgir a combinação destas metodologias, conhecida como Lean Seis Sigma, uma combinação das ideias do Lean Manufacturing com os conceitos do Seis Sigma. O Lean Seis Sigma busca melhorar o desempenho através da eliminação do desperdício e das causas de defeitos nos processos administrativos, de produção e de manufatura (JUNQUEIRA, 2010).

Enquanto o Lean busca reduzir o tempo e o custo dos processos através da eliminação dos desperdícios, o Seis Sigma visa melhorar qualidade e custos reduzindo a variabilidade dos processos e também busca a redução de desperdícios e não conformidades, diminuir os tempos de setup, menores estoques, entre outros. E dessa forma, ambos buscam a melhoria da qualidade, produtividade e redução de custos dos produtos ou serviços, utilizando abordagens e formas diferentes. Na figura 1.3 observa-se os fundamentos que cada metodologia busca eliminar ou reduzir.



Figura 1.3: Fundamentos do Lean Six Sigma

O Lean Six sigma se tornou uma forte metodologia para a melhoria do desempenho empresarial. Com isso empresas de diferentes ramos e portes estão buscando implementar essa metodologia através de equipes qualificadas em aplicar suas ferramentas e processos e alcançar bons resultados que são fundamentais para manter a empresa competitiva no mercado atual.

1.2 Objetivos

Este trabalho tem como objetivo apresentar e discutir os principais conceitos e técnicas da metodologia Lean Production (Produção enxuta) e Seis Sigma, e aplicar as ferramentas

de qualidade e técnicas de solução de problemas no ambiente fabril visando identificar causas raízes e soluções para reduzir diversos desperdícios nos processos de produção. Para isso, as ferramentas aplicadas serão guiadas pelo método DMAIC (“Definir, Medir, Analisar, Implementar, Controlar”).

1.3 Métodos de desenvolvimento

O presente trabalho foi desenvolvido a partir da revisão bibliográfica das metodologias Lean Manufacturing (“Produção Enxuta”) e Seis Sigma e suas diversas ferramentas e técnicas para melhoria de processos e resolução de problemas.

Após apresentação dos conceitos teóricos, é demonstrado pelo autor através do desenvolvimento de um projeto de redução de desperdícios, a aplicação prática destas ferramentas em uma fábrica de bens de consumo. Serão apresentadas todas as etapas de um projeto guiado por tal metodologia, desde a coleta e análise dos dados, até a implementação de um piloto.

1.4 Estrutura dos capítulos

Este trabalho está dividido em seis capítulos na seguinte configuração:

Capítulo 1 – “Introdução”: este capítulo contextualiza todo cenário histórico dos processos de produção e seu desenvolvimento até as metodologias utilizadas atualmente, destacando sua importância. Este capítulo apresenta também os objetivos e a estrutura do trabalho.

Capítulo 2 – “Revisão bibliográfica”: apresenta as definições das principais metodologias de processos de produção de acordo com a literatura e suas técnicas e ferramentas mais utilizadas.

Capítulo 3 – “Desenvolvimento do projeto”: explica o desenvolvimento do estudo de caso real que foi aplicado em uma empresa, utilizando as técnicas estudadas e apresentadas no capítulo anterior. Há também uma descrição sobre a empresa onde o projeto foi realizado. No final, apresenta os resultados da aplicação do projeto e uma breve discussão sobre eles, mostrando se o objetivo inicial foi alcançado.

Capítulo 4 - conclui todo o trabalho realizado, ressaltando as melhorias alcançadas e indicando quais são os trabalhos futuros a serem feitos para dar continuidade ao projeto.

Revisão Bibliográfica

2.1 *Conceitos: Lean Manufacturing*

O Lean, originado da metodologia TPS, é sustentado por dois pilares principais: O Just in time que se relaciona mais ao aspecto quantitativo objetivando manter um fluxo contínuo das atividades em processo, e o Jidoka, que está relacionado a parar o fluxo quando ocorrer qualquer anomalia, ou seja, está mais relacionado ao aspecto qualitativo do sistema.

2.1.1 *Just in time*

O Just in time, um dos pilares do TPS, está relacionado ao sistema produtivo e denota que a fábrica deve produzir e transportar o que é necessário, quando necessário e na quantidade exata necessária, ou seja, nenhum produto deve ser produzido, transportado ou comprado sem necessidade, apenas quando solicitado pelo processo seguinte ou pelo cliente. Seu objetivo é fabricar sem ou com o menor estoque em processo, reduzindo o custo e o lead time (tempo necessário para um produto ou serviço percorrer todas as etapas do processo, do início até o fim). (KOSAKA, 2009).

Para atingir esse objetivo, o Just in time se baseia em três princípios fundamentais: tempo takt, produção puxada e fluxo contínuo (KOSAKA, 2009).

2.1.1.1 *Tempo takt e tempo de ciclo*

Primeiro é importante esclarecer as diferenças conceituais entre o tempo takt e o tempo de ciclo para que não haja interpretações equivocadas das mesmas nem conflito entre os dois conceitos.

Tempo takt significa “ritmo de produção” e é determinado a partir da demanda do mercado e do tempo disponível para produção (entende-se por tempo disponível para produção o período total de trabalho menos o tempo das paradas programadas, como mostra a equação 2.1), ou seja, é o ritmo de produção necessário para atender a demanda (SHOOK, 1988).

Matematicamente, é o resultado da divisão do tempo diário de operação pelo número de peças requeridas por dia (Ohno, 1996), conforme a equação 2.2. Outra definição dada por Iwayama (1997) é que o tempo takt é o tempo estipulado para a produção de uma peça ou produto em uma célula ou linha.

$$tempodeop. = tempototal - tempodeparadaprogramada \quad (2.1)$$

$$TempoTakt = \frac{tempodeop.disponivel}{quantidadeaserproduzida(demanda)} \quad (2.2)$$

O tempo de ciclo é definido como o tempo percorrido entre a repetição de um mesmo evento, de acordo com Rother and Shook (1998) o tempo de ciclo é “o tempo transcorrido entre a saída de uma peça e a saída da peça seguinte”.

Em uma operação isolada, o tempo de ciclo será igual ao tempo padrão, por exemplo em uma máquina dedicada que produz uma peça em três minutos (tempo padrão), seu tempo de ciclo será igual a três minutos também, pois o ciclo se repetirá a cada três minutos produzindo uma nova peça a cada ciclo (ALVAREZ; ANTUNES JR, 2011).

Se o tempo de ciclo de uma célula ou linha representa o ritmo máximo possível, mantidas as condições atuais, é nítida a conclusão de que o tempo de ciclo é um limitante do tempo takt, isto é, da cadência de produção, da velocidade do fluxo. Em verdade, o ritmo da linha é sempre limitado, seja pela capacidade (representada pelo tempo de ciclo) ou pela demanda (representada pelo tempo takt calculado).

Com esses dois conceitos de tempo, é possível esclarecer as prioridades para melhorias na fábrica melhorando a gestão dos fluxos dos materiais. Como o tempo de ciclo de uma linha representa a máxima velocidade do fluxo possível, logo isso é um limitante para o tempo takt, que deve ser igual ou maior que o tempo de ciclo para atender a demanda.

Caso o tempo takt seja inferior ao tempo de ciclo, ou seja, a demanda é maior que a capacidade de produção, então melhorias devem ser feitas na linha, ou funcionários devem ser contratados ou realocados com o objetivo de reduzir o tempo de ciclo, tornando-o igual ou inferior ao tempo takt. Caso contrário, o cliente terá que esperar, pois a capacidade de produção não atenderá a demanda (IWAYAMA, 1997).

2.1.1.2 Fluxo contínuo

De acordo com o livro “Léxico Lean” (2011), fluxo contínuo, também conhecido como “one-piece-flow” é produzir e movimentar uma peça por vez, ou o movimento contínuo de um pequeno e homogêneo lote de itens ao longo de uma série de processos compatível com o tempo takt, realizando em cada um apenas o que é exigido para avançar imediatamente para o próximo.

O principal objetivo do fluxo contínuo é eliminar as paradas e os reinícios de produção, típicos do sistema convencional de produção, diminuir o “lead time” e o tempo de não-processamento e eliminar o estoque em processo, conhecido como WIP - “Work in progress” (KOSAKA, 2009).

Para Liker (2005), criar fluxo contínuo nos processos de fabricação é uma boa maneira para a empresa eliminar desperdícios, pois o fluxo contínuo força a redução do nível de estoque tornando os problemas mais visíveis. O autor ressalta que criar um fluxo contínuo significa juntar operações que antes eram separadas com a finalidade de identificar rapidamente problemas de qualidade e acionar imediatamente os responsáveis pela solução.

2.1.1.3 Sistema puxado

Para compreender o sistema de produção puxado, é importante antes conhecer o conceito do sistema empurrado, que é o sistema clássico de produção originado na Revolução Industrial.

O sistema empurrado produz em cada posto de trabalho todos os itens que devem ser produzidos e os empurra para o posto seguinte, sem haver preocupação com o estoque de produtos acabados ou produtos em processo, visava apenas utilizar ao máximo seus recursos produtivos. (TOSHIKO, 2011).

No sistema de produção puxada, inicia-se o processo quando o cliente solicita o produto, assim essa informação da necessidade do cliente é repassada ao processo anterior

sucessivamente até o pedido chegar ao fornecedor e então iniciar a produção. Ou seja, um processo fornece aos processos seguintes apenas o que é necessário, no momento em que é solicitado e na quantidade necessária para atender o pedido do cliente (TUBINO, 2000).

Para realizar o sistema puxado, é importante ter um sistema produtivo estável que garanta e possibilite o fluxo contínuo. Com isso e com o processo seguinte puxando o que é necessário no momento e quantidades necessárias evita-se a formação de estoque de produtos em processo e a superprodução. Torna-se também imediatamente perceptível a discrepância na qualidade entre os processos, evitando assim, descartar lotes inteiros de produção. O tempo de espera dos processos subsequentes de ficar aguardando processar o lote inteiro é eliminado, encurtando o lead time. Com isso vários desperdícios da produção enxuta são eliminados (KOSAKA, 2009).

2.1.2 Jidoka

O outro pilar que sustenta a metodologia TPS junto com Just in time é o Jidoka, palavra em japonês que significa automação. Seu conceito é fornecer aos operadores e máquinas a capacidade de detectar alguma anormalidade, seja um erro ou uma falha e interromper imediatamente o trabalho para que uma ação corretiva seja tomada a tempo. O Jidoka permite que as operações integrem a qualidade em cada processo estabelecendo uma separação entre os operadores e máquinas para obter um trabalho mais eficiente. (NARUSAWA; SHOOK, 2011).

O Jidoka permite que os operadores executem outras atividades que agregam valor durante um ciclo da máquina pois monitorar a máquina enquanto ela está operando deixa de ser necessário, liberando tempo para o operador realizar outros trabalhos (NARUSAWA; SHOOK, 2011).

2.2 Conceitos: Seis Sigma

O Seis Sigma é um programa de melhoria surgido na Motorola nos anos 80 pelo Engenheiro Bill Smith. Na época a Motorola destinava cerca de 10% dos investimentos (às vezes até 20%) para corrigir defeitos, o que equivalia cerca de US\$ 900 milhões por ano. Nesse cenário foi criado o Seis Sigma cuja meta era reduzir a variabilidade dos processos de manufatura de forma a diminuir a ocorrência de defeitos para a ordem de 3,4 partes

por milhão de oportunidades (3,4 ppm ou 0,00034%). Com o Seis Sigma, reduziu-se 95% dos defeitos de qualidade da fábrica representando uma redução de custo significativa e tornando a Motorola extremamente competitiva no mercado (BASU; WRIGHT, 2003).

De acordo com Carpinetti (2012) o objetivo do Seis Sigma é reduzir os desperdícios de não qualidade e as variações de processo e consequentemente reduzir os custos e melhorar o atendimento aos requisitos dos clientes, como qualidade de produto e confiabilidade de entrega aumentando a satisfação dos clientes.

O sigma σ representa uma medida da variabilidade intrínseca de um processo, o desvio-padrão. Segundo Deming (1990), a variabilidade estará sempre presente nos produtos e serviços que são gerados por quaisquer processos. Para Werkema (2002), se o valor do desvio-padrão de um processo é alto, significa que os resultados variam muito e não há estabilidade no processo. Se o valor do desvio-padrão é baixo, há pouca variação nos resultados e o processo é estável. Assim quanto menor for o desvio padrão, melhor e mais estável será o processo. Quanto mais contida estiver essa variação em relação a sua especificação, menor a possibilidade de erros ou falhas no processo. De acordo com o conceito Seis Sigma, ainda que a média se desloque até 1,5 σ do seu valor nominal, podemos esperar até 3,4 defeitos em cada um milhão de oportunidades, como mostra a tabela 2.1.

| Rendimento (%) | Escala sigma | Defeitos (RPM) |
|----------------|--------------|----------------|
| 30.9 | 1 | 691.462 |
| 69.2 | 2 | 308.000 |
| 93.3 | 3 | 66.800 |
| 99.4 | 4 | 6210 |
| 99.98 | 5 | 320 |
| 99.9997 | 6 | 3.4 |

Tabela 2.1 - Tabela de níveis de σ (USEVINICIUS, 2004).

A metodologia Seis Sigma segue um rigoroso modelo de gerenciamento e desenvolvimento de projetos que garante uma sequência ordenada, lógica e eficaz. Esse modelo é conhecido como DMAIC. Além do DMAIC que é o método mais aplicado, há outros, como o método de análise e solução de problemas, e o PDCA.

2.2.1 DMAIC

O objetivo do DMAIC é guiar as atividades necessárias e empregadas na abordagem Seis Sigma para a melhoria dos processos. O método é composto por cinco fases definidas por cada letra da sua sigla que são: Definição (D), Medição (M), Análise (A), Melhoria (I) e Controle (C). (SANTOS; MARTINS, 2003). A figura 2.1 apresenta as cinco fases do ciclo DMAIC e as principais atividades de cada fase.

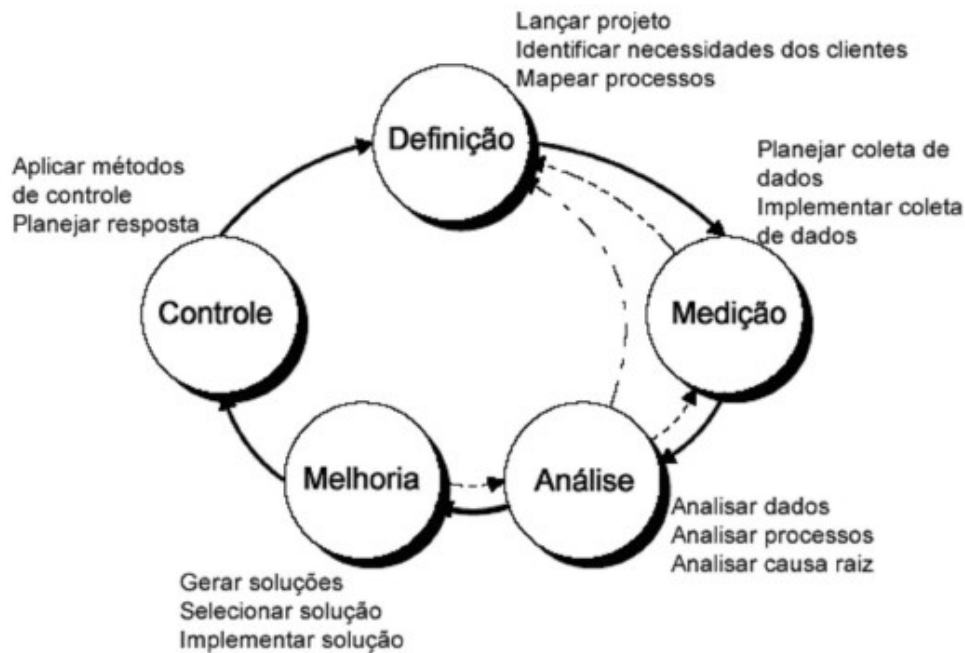


Figura 2.1: Fases do método DMAIC (ECKES, 2001).

2.2.1.1 Definir (D)

O objetivo desta fase é identificar problemas e situações a serem melhoradas nos processos organizacionais de qualquer natureza e definir qual dele será o foco do projeto Seis Sigma. As oportunidades de melhoria identificadas nesses processos devem ter como foco principal o atendimento das necessidades dos clientes que são todos aqueles afetados pela baixa qualidade de um produto ou serviço entregue. Entre os clientes estão departamentos internos, os funcionários e principalmente os consumidores. (STAMATIS, 2004)

Durante esta fase, todos processos internos que afetam os clientes são mapeados, identificando as entradas (X's) e saídas (Y's) dos processos e seus relacionamentos com os demais processos da organização. O mapeamento dos processos é uma ferramenta muito utilizada nesta fase pois através do resultado do mapeamento é possível identificar oportunidades

de melhoria, como por exemplo: áreas de retrabalho, atividades que não agregam valor ao resultado final, atividades que estão fora dos padrões de mercado no quesito tempo e uso de recurso, e também problemas com recursos humanos específicos dentro de um processo. (STAMATIS, 2004)

Ao definir o projeto é importante levar em consideração as necessidades do cliente, que podem ser identificadas através da ferramenta VoC (Voice of Customer), ter uma métrica (KPI) definida para guiar e medir o projeto, conhecer o potencial benefício que o projeto irá trazer e definir todo espoco, cronograma e pessoas envolvidas no trabalho (Carpinetti, 2012). Com o contrato do projeto montado e aprovado pelo responsável, começa a fase de medição.

2.2.1.2 Medir (M)

Nesta fase, com o projeto já definido, o objetivo é coletar dados que possam auxiliar na investigação das características específicas do problema e que forneçam informações para o processo de análise das causas do problema em estudo (CARPINETTI, 2012).

São estudados os procedimentos para coleta de informações dos processos mapeados e identificadas as informações sobre o desempenho atual dos processos. Estas informações são importantes para o desenvolvimento do plano de coleta, preparando a estrutura de avaliação de desempenho dos processos. A avaliação tem a função de acompanhar e medir o andamento dos processos, possibilitando que melhorias possam ser implementadas de acordo com os resultados obtidos (STAMATIS, 2004).

Há diversas ferramentas que podem ser utilizadas para encontrar essas variações durante as medições, porém as mais utilizadas são o Histograma e o gráfico de Pareto que auxiliam a equipe de trabalho a visualizar o desempenho dos processos frente às mesmas medições realizadas em um período anterior. Durante as atividades de medição dos processos, é importante que a equipe de trabalho esteja ciente sobre os motivos pelos quais variações podem ocorrer durante as medições.

Há dois tipos distintos de variação: as variações comuns são causas aleatórias e inevitáveis que envolvem a instabilidade de alguns fatores, essas variáveis seguem uma distribuição comum e são as oportunidades de melhorias dentro do processo. As variações especiais acontecem de forma imprevisível e alteram os parâmetros do processo, pois estão fora dos limites de controle. As variáveis especiais não são oportunidades de melhoria pois

são eventos inesperados que não costumam acontecer no processo (STAMATIS, 2004).

A figura 2.2 mostra os dois tipos de variações, comum e especial, em um processo.

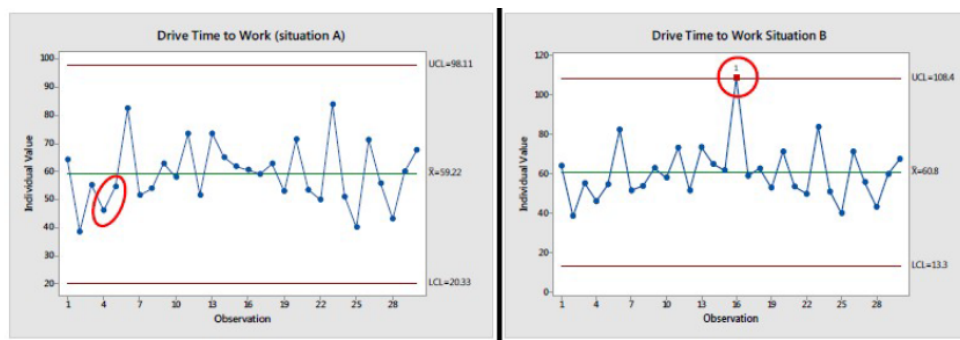


Figura 2.2: Causa comum (variação esperada) e causa especial (variação inesperada) em um processo.

2.2.1.3 Analisar (A)

Na terceira etapa do DMAIC, o objetivo é identificar as causas fundamentais do problema e consolidar o plano de coleta de informações e oportunidades de melhoria identificadas nas fases anteriores. Com estas análises é possível que a equipe de trabalho defina quais melhorias devem priorizar, quais são as reais necessidades do processo e quais são os benefícios de implementar essa melhoria (STAMATIS, 2004).

As ferramentas fundamentais da fase “Analisar” são os diagramas de causa e efeito pois a principal análise nesta etapa é o relacionamento entre o problema e a causa. Esse relacionamento é testado por meio de técnicas estatísticas (CARPINETTI, 2012).

Ao final desta etapa, espera-se obter o problema, a identificação de oportunidades de melhoria e possíveis soluções. Deve-se identificar as causas fundamentais e propor ações que eliminem ou minimizem o problema. (CARPINETTI, 2012).

2.2.1.4 Melhorar (I)

Após concluídas as análises e a proposição de melhoria, deve-se planejar e executar a implementação da melhoria. Experimentos e novas análises de capacidade de processo podem ser necessárias para confirmar os resultados esperados (Carpinetti, 2012).

Toda proposta de melhoria deve passar antes pela implementação de um piloto inicial, que é um projeto em menor escala que visa validar com um grupo menor se os benefícios propostos foram alcançados. A comprovação dos benefícios em projetos pilotos é um forte

indicativo de que o resultado pode ser propagado se implementado na área ou em um processo (STAMATIS, 2004).

2.2.1.5 Controlar (C)

O objetivo desta etapa é garantir a continuidade das melhorias implementadas. É a fase de conclusão do projeto, onde se criam os mecanismos de controle que garantirão a manutenção dos resultados. Sem um controle pós implementação, as melhorias serão perdidas e os problemas voltarão a aparecer (CARPINETTI, 2012).

A figura 2.3 mostra um processo que houve a implementação de uma melhoria e as consequências da fase de controle.

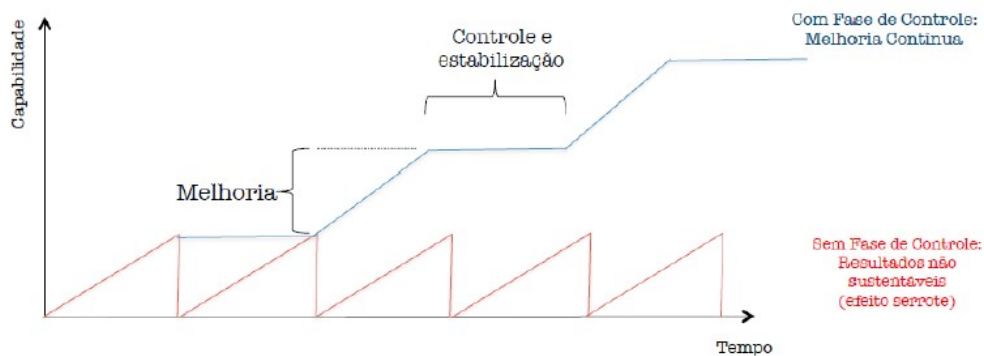


Figura 2.3: Representação de um processo com fase de melhoria e de controle

2.2.2 Ferramentas da Qualidade

Em todas as fases do DMAIC, existem diversas ferramentas e técnicas que auxiliam na medição e análise de medidas. As seguintes ferramentas são muito utilizadas na metodologia DMAIC.

Carpinetti (2012), lista e define as sete principais ferramentas para o controle da qualidade. São elas:

- Estratificação:

A estratificação consiste na divisão de dados de um grupo em diversos subgrupos com base em características específicas. As principais causas de variação que atuam nos processos produtivos constituem os possíveis fatores de estratificação de um conjunto de dados como o local, condições climáticas, processos, métodos e equipamentos.

O objetivo desta técnica é identificar como a variação de cada um destes fatores interfere no resultado do processo ou problema que se deseja investigar. A estratificação é um recurso bastante utilizado na fase de análise e observação de dados.

- Folha de verificação:

A folha de verificação é utilizada para planejar a coleta de dados a partir da necessidade de analisar dados futuramente. É um formulário já impresso que contém os itens a serem examinados. Seu objetivo é simplificar e organizar a coleta e análise de dados eliminando a necessidade posterior de rearranjá-los.

- Diagrama de Pareto

O diagrama de Pareto estabelece que a maior parte das perdas decorrentes dos problemas relacionados à qualidade provém de poucos, mas vitais problemas. Pareto afirma que 80% das perdas representam apenas 20% dos problemas. Assim se as poucas causas vitais forem identificadas, será possível eliminar quase todas as perdas com poucas ações.

O gráfico de Pareto é representado por um gráfico de barras verticais que torna evidente e visual a ordem de importância dos problemas e causas. É uma ferramenta importante para priorização das ações e é muito utilizada nas fases Medir e Analisar do DMAIC. A figura 2.4 representa um exemplo do diagrama de Pareto.

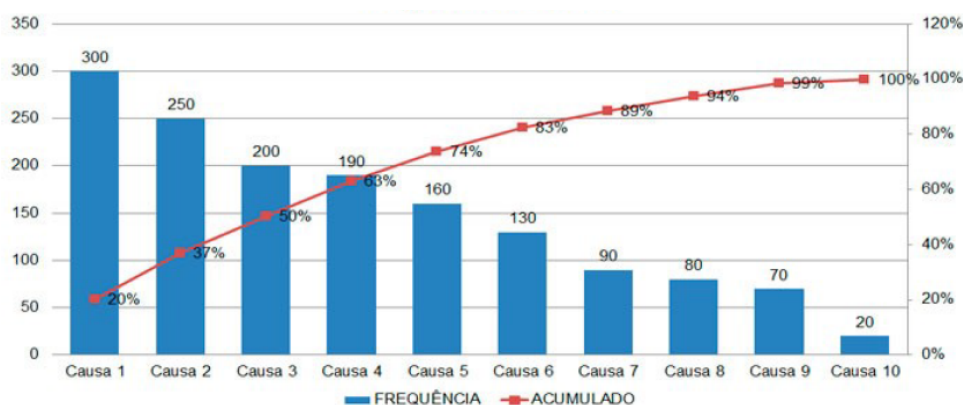


Figura 2.4: Modelo do diagrama de Pareto

- Diagrama de Causa e Efeito (Ishikawa)

O diagrama de causa e efeito ou diagrama de Ishikawa representa as relações existentes entre um problema ou o efeito indesejável do resultado de um processo e todas as possíveis causas desse problema, auxiliando a identificar a causa fundamental do problema e a determinar as ações corretivas que deverão ser feitas. Esta ferramenta é frequentemente utilizada na fase Analisar do método DMAIC para levantar todas as possíveis causas do problema.

O diagrama é dividido em quatro categorias: Máquina, Mão-de-Obra, Métodos e Materiais, e mostra as várias possíveis causas que levam ao defeito e como estão relacionadas. A figura 2.5 mostra um exemplo do diagrama de Ishikawa.

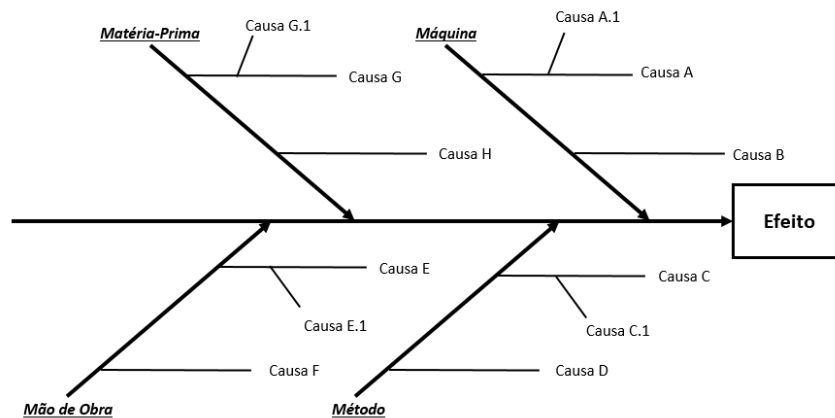


Figura 2.5: Exemplo de um diagrama de causa e efeito

- Histogramas:

Histograma é um gráfico de barra subdividido em pequenos intervalos que serve para analisar a distribuição dos dados, máximo, mínimo e onde existe maior concentração de valores destacando a localização do valor central e a dispersão dos valores em torno deste. Com isso é possível saber se o processo atende às especificações e se será necessário adotar medidas para reduzir a variabilidade do processo. Gráfico muito utilizado na etapa Medir do DMAIC para verificar a estabilidade do processo.

O Histograma frequentemente apresenta o formato da figura 2.6, com maior concentração de dados no meio do intervalo e diminuição da concentração à medida que se afasta do centro da distribuição.

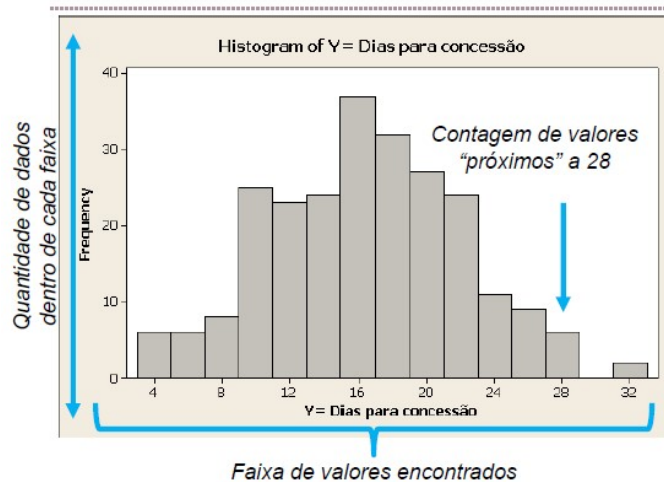


Figura 2.6: Exemplo de historiograma

- Diagrama de dispersão

O gráfico de dispersão mostra a relação existente entre duas variáveis. Relaciona a causa e efeito e a correlação pode ser positiva, se uma variável aumenta quando a outra também aumenta, negativa, se uma variável diminui quando a outra aumenta ou inexistente quando a variação de uma variável não interfere na outra. Gráfico muito utilizado nas fases Medir e Analisar do DMAIC.

A figura 2.7 mostra os três diferentes tipos de gráficos de dispersão.

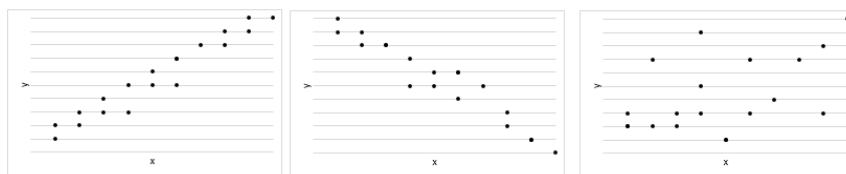


Figura 2.7: Gráficos de dispersão com correlação positiva, negativa e sem correlação respectivamente

- Gráficos de controle

Os gráficos de controle são construídos a partir das médias e amplitudes de amostras, que variam dentro de um limite inferior e superior estabelecidos para garantir que o processo esteja dentro de suas condições ideais.

Se o gráfico estiver dentro dos limites, significa que o processo está em controle estatístico e os resultados devem se distribuir aleatoriamente de acordo com o padrão

de distribuição normal. Se apresentar pontos fora dos limites ou com distribuição não aleatória, significa que o processo não está em controle estatístico.

Ferramenta frequentemente utilizada no método DMAIC para medir e analisar como está a variabilidade e capacidade do processo.

A figura 2.8 mostra um exemplo de um gráfico de controle com distribuição aleatória e dentro dos limites.

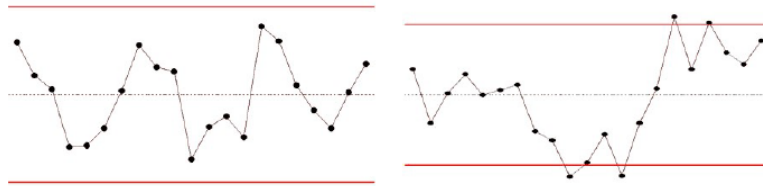


Figura 2.8: Gráfico de controle estável e instável respectivamente

2.3 Conceito: OEE (“Overall Equipment Effectiveness”)

OEE é o principal indicador de efetividade de um equipamento, sendo largamente utilizado nas indústrias de manufatura. A sigla OEE é uma abreviação do termo em inglês “Overall Equipment Effectiveness” que significa “Eficiência Global dos Equipamentos”.

OEE indica a real eficácia do processo, ou seja, quantos produtos são feitos na velocidade considerada, atendendo os requisitos de qualidade e no tempo que o equipamento está programado para operar (HANSEN, 2006).

Hansen (2006) classifica o OEE em três componentes:

- Disponibilidade: é definida como a capacidade de um item estar em condições de executar certa função em um dado instante ou durante um intervalo de tempo determinado.

Disponibilidade representa o tempo disponível da máquina para produzir e é calculada pela divisão entre o tempo de produção pelo tempo programado:

$$Disponibilidade = \frac{tempodeProd.}{tempoProgramado} \quad (2.3)$$

Disponibilidade de 100% significa que o processo está sempre em execução durante o tempo de produção planejado.

Exemplos de perdas de disponibilidade: quebra de máquina, ociosidade e setup (troca de ferramental).

- Performance: almeja a máxima utilização do equipamento, buscando redução ou eliminação de possíveis paradas ou reduções de velocidade.

O desempenho leva em conta ciclos lentos e pequenas paradas. Uma performance de 100% significa que, quando o processo está em execução, ele está sendo executado o mais rápido possível.

$$Performance = \frac{Prod.real}{Prod.teorica} \quad (2.4)$$

Exemplos de perda de performance: velocidade reduzida e pequenas paradas.

- Taxa de Qualidade: é a relação entre as quantidades de produtos bons e o total de produtos fabricados buscando a ausência de defeitos ou retrabalhos.

Qualidade leva em conta defeitos (incluindo peças que precisam de retrabalho). Um índice de qualidade de 100% significa que não há defeitos (somente peças boas estão sendo produzidas).

$$TaxadeQualidade = \frac{Prod.bons}{Prod.bons + Prod.ruins} \quad (2.5)$$

Exemplos de perda de taxa de qualidade: refugos de partida e de produção.

Assim, para calcular e obter o valor do OEE de um equipamento, basta multiplicar os três componentes do OEE que foram calculados separadamente.

$$OEE = Disponibilidade \cdot Performance \cdot TaxadeQualidade \quad (2.6)$$

Desenvolvimento do projeto

3.1 *Descrição da empresa*

O estudo foi realizado em uma empresa de bens de consumo de grande porte que está presente no Brasil há mais de 80 anos e seus produtos são comercializados em mais de 170 países. É uma empresa com mais de 5 mil colaboradores, possui pelo país diversos escritórios regionais de vendas, centros de distribuição e mais de 900 m² de parque industrial.

A empresa preza pela alta qualidade de seus produtos para atender às necessidades e exigências dos clientes e também se esforça constantemente para reduzir seus desperdícios a fim de manter competitivo o preço dos produtos.

Para alcançar isso, metodologias como Lean Six Sigma, TPM e 5S estão implementadas na companhia, que trabalha constantemente com melhoria contínua e possui equipes de trabalho qualificadas em solução de problemas e com conhecimento de diversas ferramentas para encontrar rapidamente a causa raiz do problema. A empresa investe fortemente em programas de desenvolvimento e capacitação dos funcionários ao longo do ano.

Outro ponto de destaque na companhia é a cultura de segurança que vem sendo implementada e reforçada nos últimos anos. Há frequentemente campanhas de conscientização de segurança com temas diversos, desde segurança no trabalho até segurança em casa ou na rotina pessoal de cada um e também há diversas condutas dentro da empresa que são rigorosamente respeitadas por todos. O objetivo não é apenas ser um local seguro de trabalho, mas também transmitir essa segurança para fora da fábrica e ser repassada até as famílias dos funcionários.

Por fim, é uma empresa que busca constantemente a melhoria de seus processos, re-

duzindo as perdas e custos dos materiais, mantendo sempre a alta qualidade de seus produtos e garantindo um ambiente seguro de trabalho para seus funcionários.

3.2 Descrição do projeto

A empresa possui um extenso portfólio de produtos e atende tanto mercado nacional como internacional. Um produto em especial teve grande aceitação do mercado e sua produção para o ano de 2019 foi planejada com um aumento de aproximadamente 35% em relação à produção de 2018.

A alta demanda por este produto motivou o estudo para reduzir os desperdícios em seu processo de produção. O projeto apresentado nesta monografia tem como objetivo analisar e identificar oportunidades de reduzir ou eliminar seus desperdícios.

Este produto passa por quatro processos de produção. Sua fabricação começa com o recebimento do filme, que é o principal componente do produto. O primeiro processo irá adesivar de forma direta o material, ou seja, o adesivo será diretamente aplicado ao filme. Após isso, os rolos de filme adesivados são cortados em rolos menores.

Esses rolos passarão por um processo de montagem da peça de acordo com o formato e tamanho desejado. Já o último processo é responsável pela embalagem em caixas e paletização, deixando o produto acabado pronto para ser enviado.

O fluxograma a seguir (Figura 3.1) representa os processos de fabricação pelos quais o produto passa até se tornar o produto acabado.

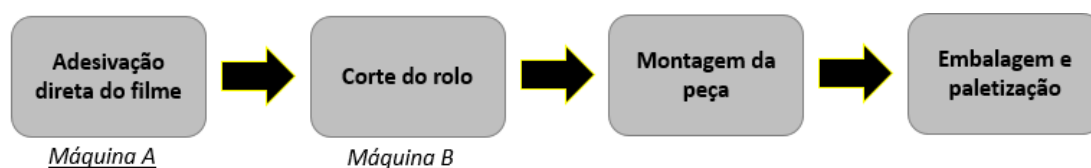


Figura 3.1: Fluxograma dos processos de fabricação

Atualmente este produto é o que possui maior tempo de ciclo em cada processo, pois a velocidade da máquina é reduzida devido à sua composição de difícil processamento. Assim, a maioria das linhas operam com velocidade e eficiência abaixo da média.

O objetivo principal do estudo é identificar oportunidades de reduzir perdas e desperdícios dentro destes processos, com a finalidade de tornar o produto mais competitivo

no mercado e também reduzir o tempo de ciclo, uma vez que sua demanda está aumentando.

Para alcançar este objetivo, o projeto se baseou em diversos métodos e conceitos e utilizou ferramentas provenientes das metodologias Lean e Seis Sigma. O projeto foi guiado pelo método DMAIC, como apresentado a seguir.

3.3 Aplicação do método DMAIC

3.3.1 Fase 1: Definir

Com o aumento da demanda por este produto e por apresentar elevadas perdas, alto tempo de ciclo e baixa performance, decidiu-se focar o estudo neste produto específico.

Para identificar e definir as possíveis oportunidades de melhoria, foi construído um diagrama SIPOC do processo de fabricação, conforme a figura 3.2.

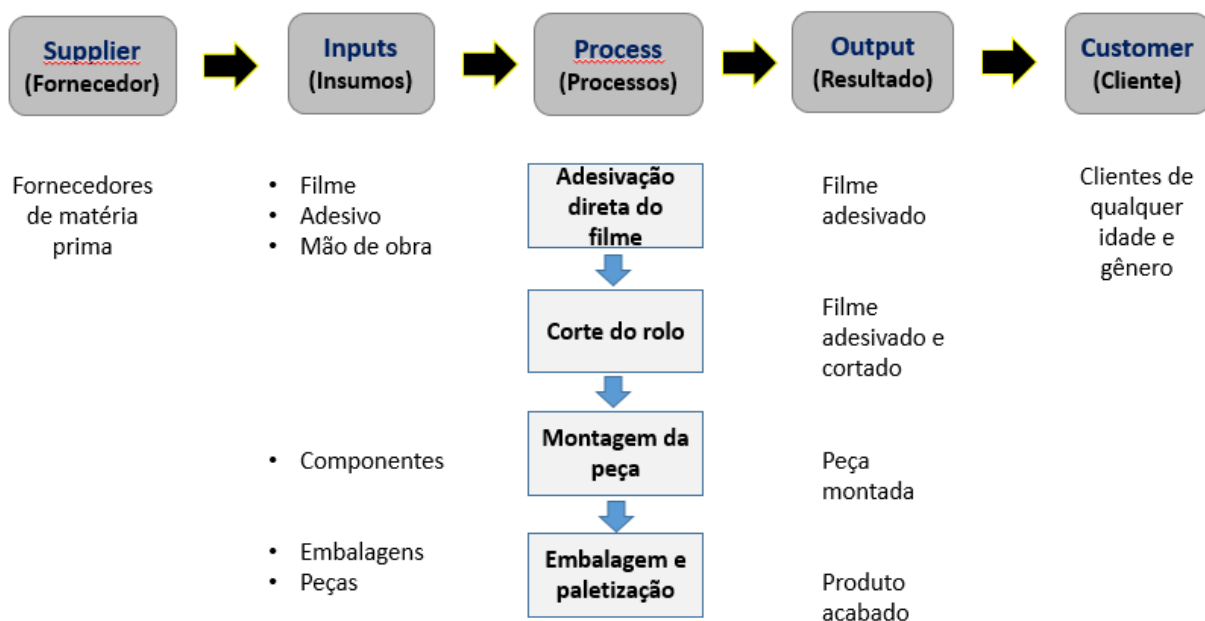


Figura 3.2: Diagrama SIPOC

Com o mapa de processos desenhado, facilitou identificar todas as entradas e saídas dos processos e levantar os indicadores de cada etapa para cada produto diferente. Comparando os indicadores é mais fácil identificar onde estão os maiores desperdícios dos processos e assim focar em reduzi-los. Também foi possível identificar quem são os fornecedores e o consumidor final.

A tabela a seguir (tabela 3.1) representa um comparativo de alguns indicadores críticos em diferentes produtos que passam pelos mesmos processos. O produto em estudo está representado pelo produto “e” da tabela. Os outros produtos da tabela, são materiais que passam pelos mesmos processos mas se diferenciam pela sua composição ou aparência.

| Produto | Proceso de adesivação | | Processo de corte | |
|---------|-----------------------|---------------------------------|-------------------|----------------------------------|
| | Tempo Setup(min) | Velocidade(m ² /min) | Perda Comp.(%) | Velocidade (m ² /min) |
| a | 10 | 42 | 2.91 | 41 |
| b | 10 | 42 | 2.91 | 41 |
| c | 30 | 42 | 5.69 | 41 |
| d | 10 | 42 | 2.91 | 41 |
| e | 60 | 13 | 10.23 | 20 |

Tabela 3.1 - Tabela comparativa de indicadores para diferentes produtos

Diversos indicadores dos processos foram analisados a partir do mapa de processos e os mais críticos foram indicados na tabela 3.1. Observou-se que o produto “e” quando comparado com os outros produtos apresenta perda compulsória e tempo de setup maiores e velocidades de processamento inferiores.

Perda compulsória é uma perda constante no processo, é a perda lateral do corte do rolo, a qual não varia durante o procedimento.

Assim, concluiu-se que o produto em estudo (produto “e” da tabela) apresenta algumas oportunidades de melhoria e o objetivo do trabalho será reduzir sua perda compulsória no processo de corte e reduzir seu tempo de ciclo nos processos de adesivação e corte, aumentando sua velocidade de produção. Outra oportunidade está no alto tempo de setup, que também será analisado.

3.3.2 Fase 2: Medir

Nesta fase mediu-se as variações em alguns parâmetros nos processos nos últimos 12 meses, com a finalidade de identificar a tendência destes e verificar se as variações foram devidas a causas aleatórias ou causas especiais.

Foram medidos o peso dos refugos e os tempos de parada da máquina que impactaram na eficiência da linha. Através do programa Minitab, gerou-se os gráficos de variação (carta de controle) com os valores dos pesos dos refugos e gráfico de Pareto com os tempos medidos e parada de máquina.

A figura 3.3 representa a carta de controle que aponta as variações dos refugos no processo de corte nos últimos 12 meses com o objetivo de verificar a estabilidade do processo. O valor indicado se refere à perda de processo. A perda compulsória mencionada na tabela 3.1 não é pesada, pois é uma perda constante que não se altera com variações do processo e seu valor é somado a estes para estimar a perda total.

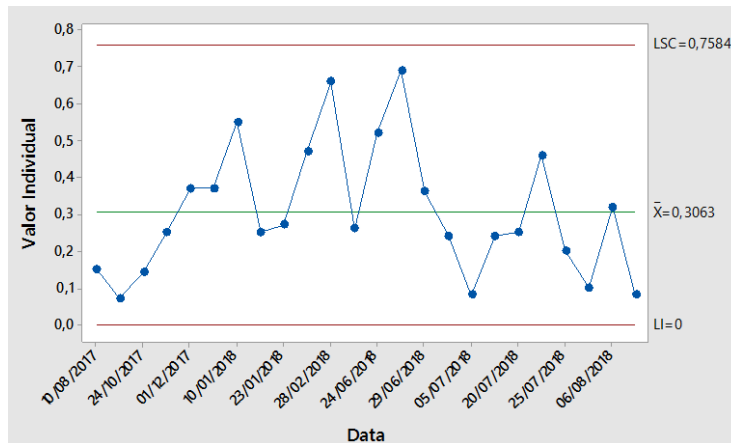


Figura 3.3: Gráfico de variação no processo de corte

No gráfico, LSC representa o limite superior e LI o limite inferior. Se o gráfico apresenta pontos dentro destes limites, significa que está sob controle estatístico. Se aparecem pontos fora dos limites é porque está instável. \bar{X} representa a média dos valores, ou seja, o refugo de processo médio neste período foi de 0,306%, somando a perda compulsória temos que a perda média deste material no processo de corte é de 10,5%. No gráfico, quanto mais próximo os valores estiverem da média e quanto menor forem os limites, mais estável será o processo.

No gráfico há intervalos de tempo entre algumas datas, isto ocorre pois este produto é produzido conforme a demanda, logo não é há produção todos os dias.

A partir do gráfico é possível afirmar que não há nenhuma variação especial (ponto isolado fora dos limites), apenas variações de causas aleatórias, pois todos os pontos estão dentro dos limites. Logo, o processo está sob controle estatístico e pela carta de controle, é possível afirmar que o processo não variou muito ao longo do ano.

Quando um processo está sob controle estatístico, significa que ele está suscetível a qualquer valor dentro de seus limites e um ponto fora disso deve ter sua causa estudada separadamente para que não volte a acontecer. Para melhorar um processo e reduzir seus

refugos, é necessário primeiro garantir que esteja estável para depois implementar alguma melhoria no processo que reduza sua média e seus limites mantendo o processo estável, porém com valores inferiores e menor amplitude dos limites.

Para verificar se o processo está estável, foi analisada sua capacidade do processo. Para isso, gerou-se um relatório de capacidade no Minitab (figura 3.4), o qual mostra que não foram observados valores fora dos limites inferiores e superiores. O relatório também calcula o índice de capacidade do processo (Cpk), que mostra que o processo é satisfatório pois a distribuição está centrada e a variação é menor que a faixa dos limites de especificação.

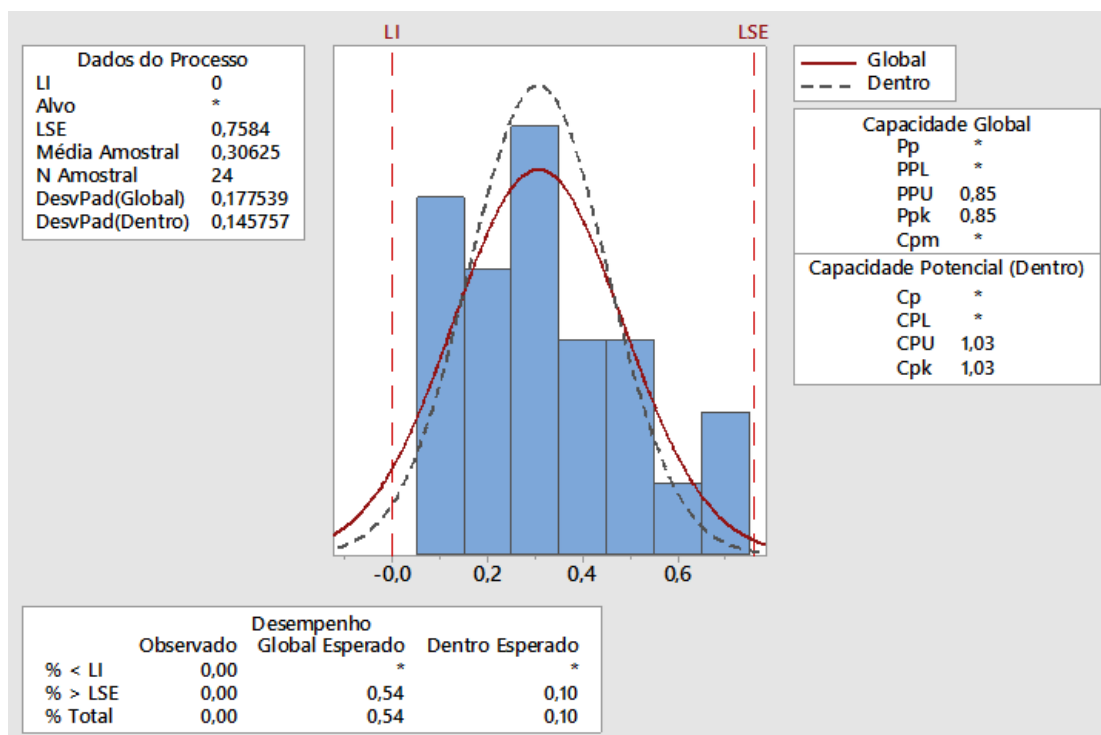


Figura 3.4: Relatório de capacidade do processo de corte

Para análise do Cpk, há um valor de benchmarking adotado pelas empresas que afirma que um processo satisfatório possui índice entre 1,00 e 1,33, enquanto um processo capaz possui Cpk maior que 1,33 e um processo incapaz apresenta índice inferior à 1,00.

Assim, é possível afirmar que este processo é aceitável, ou satisfatório pois apresenta valor de Cpk maior que 1,00. Como estes valores representam o refugo, ele não impactará no produto entregue ao cliente, apenas representa o desperdício gerado pelo processo.

Com os valores dos tempos de parada da máquina e suas causas, foi gerado um gráfico de Pareto (figura 3.5) que aponta as principais causas de parada da máquina em ordem

decrecente, facilitando a identificação das causas que mais impactaram a eficiência (OEE) das máquinas A (processo de adesivação) e B (processo de corte).

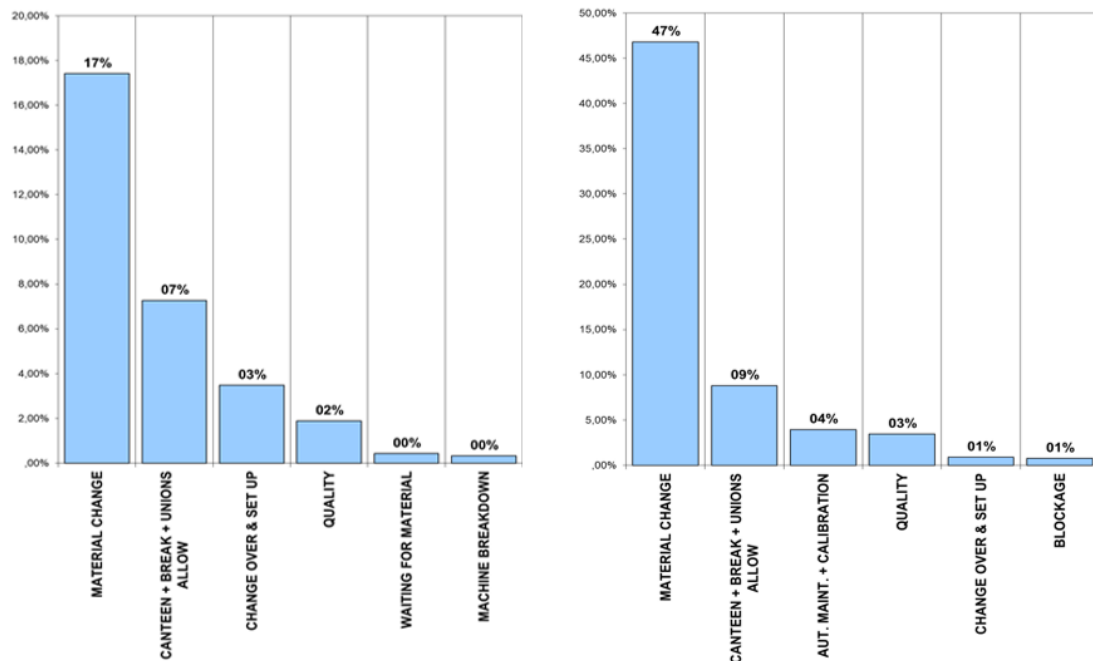


Figura 3.5: Pareto Máquina A e Máquina B respectivamente

A partir do gráfico de Pareto, é fácil identificar quais foram os principais impactos na eficiência das linhas e com isso levantar suas causas e oportunidades de como melhorar a eficiência.

Os dois maiores impactos nos dois processos estão em “material change” que representa a troca de material, atividade muito comum que exige tempo e esforço dos operadores devido ao tamanho e peso dos materiais e no tempo de parada para refeição dos operadores, classificado como “Canteen + Breaks + Union allows”. Porém, o impacto da troca de material no OEE da máquina B no processo de corte está muito acima do impacto nas outras linhas.

Já o terceiro maior impacto para a máquina A é o tempo de Set Up (“Change Over + Setup”), tempo de parada para troca de ferramentais, e para a máquina B é o tempo de parada para manutenção e calibração do equipamento (“Aut. Maint. + Calibration”).

Com estas ferramentas foi possível analisar um histórico de dados coletados e medir seus impactos ao longo do ano e verificar a estabilidade dos processos. Com essa análise, torna-se mais fácil identificar os principais desperdícios nos processos e se são passíveis de

melhoria.

3.3.3 Fase 3: Analisar

Na terceira etapa, com o objetivo de identificar as possíveis causas dos desperdícios e como se relacionam, foi feito um brainstorming com a equipe e pessoas envolvidas no processo e montou-se um diagrama de causa e efeito (Diagrama Ishikawa) para os dois principais problemas já identificados.

O diagrama de Causa e Efeito divide as possíveis causas levantadas em quatro áreas: matéria-prima, máquina, mão-de-obra e método. Isso facilita na identificação e análise das causas e o relacionamento entre elas.

Todas as ideias apontadas no brainstorming são escritas em um destes blocos e depois de finalizado o diagrama, cada item é analisado individualmente e são descartados ou investigados a fundo, dependendo da comprovação se influencia ou não no problema em análise.

O primeiro diagrama aponta todas possíveis causas divididas nas quatro áreas mencionadas se relacionando com o alto tempo de ciclo nas máquinas A e B, processos de adesivação e corte respectivamente, como mostra a figura 3.6. Os dois processos estão representados no mesmo diagrama Ishikawa devido à grande semelhança das possíveis causas que foram levantadas para as duas máquinas.

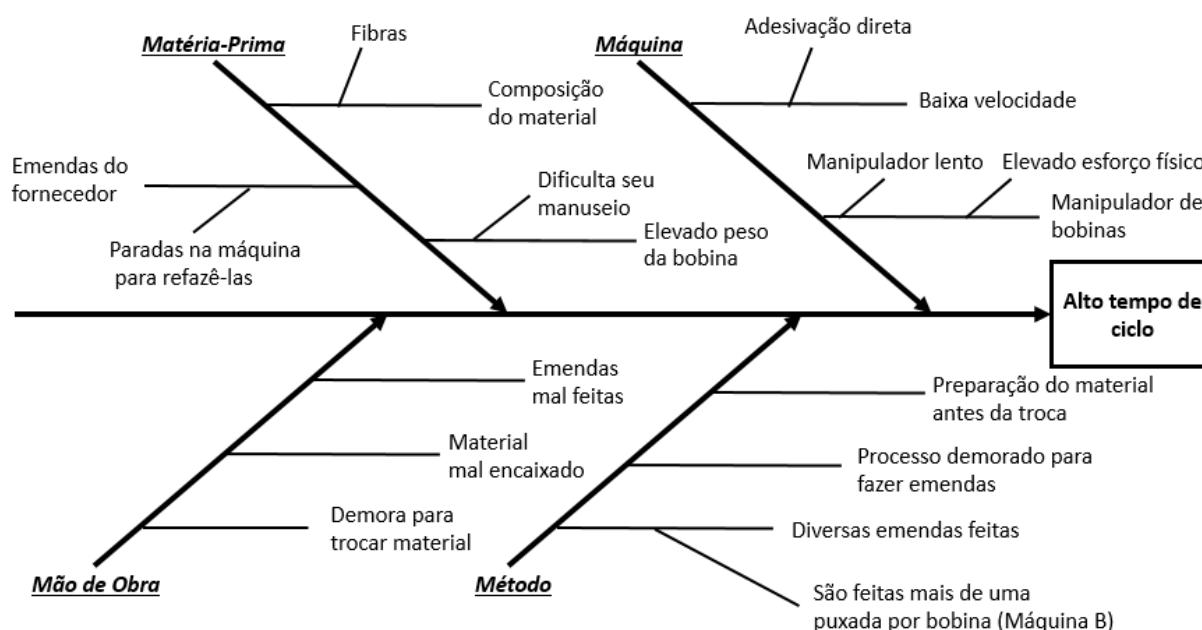


Figura 3.6: Diagrama de Causa e Efeito para alto tempo de ciclo

Analisando o diagrama acima, observa-se que algumas causas como peso das bobinas e emendas tanto de fornecedor como de processo, são fatores que impactam diretamente no tempo de ciclo, porém fazem parte do processo e é difícil agir sobre eles para reduzi-los ou eliminá-los pois mesmo reduzindo o tempo de ciclo nestas linhas, as consequências poderão ser piores em processos posteriores, não trazendo benefícios para o produto final.

Comparando as causas listadas com o processo de outros produtos semelhantes, porém que possui maior velocidade de produção, observou-se que muitas delas, principalmente as relacionadas à mão-de-obra e matéria-prima, acontecem em todos processos de todos produtos manufaturados nestas máquinas. Assim, descarta-se que essas possam ser causas vitais do processo.

Uma causa que só aparece neste produto específico é a adesivação direta, enquanto nos outros produtos a adesivação é feita indiretamente através de um papel transportador e apresentam melhores indicadores de velocidade de produção. Essa causa passou a ser uma possível causa vital. Então, para analisa-la mais a fundo foi utilizada a ferramenta “5 Por quês”, a qual busca descobrir a causa raiz do problema através de perguntas sequenciais e analisar a cada etapa se esta suposição de causa é verdadeira (V) ou falsa (F), para assim seguir a análise ou descartar essa hipótese. Ao chegar na última resposta, se for verdadeira e não for possível fazer mais perguntas, é porque encontrou-se uma causa que

de fato influencia o problema (pergunta inicial).

A figura 3.7 apresenta todas perguntas e respostas para o alto tempo de ciclo até chegar na possível causa raiz do problema.

| Problema | | Porque 1 | V | Porque 2 | V | Porque 3 | V | Porque 4 |
|--|-----|--|--|--|--|---|--|--|
| Por que o tempo de ciclo para este produto é alto? | 1 | Porque a máquina possui baixa velocidade quando roda este material | Por que a máquina é lenta para este material? | Porque a altas velocidades pode haver estiramento do filme ou má distribuição do adesivo sobre o filme | Por que o adesivo não é uniformemente distribuído? | Porque este material é adesivado de forma direta | Por que este material é adesivado diretamente? | Porque não há papel entre as camadas do filme laminado |
| | | Porque 1 | V | Porque 2 | V | Porque 3 | V | Porque 4 |
| | 2 | Porque requer muito tempo para manusear as bobinas | Por que demora para manusear as bobinas? | Porque são muito pesadas, exigindo elevado esforço físico | Por que são muito pesadas? | Porque são muito grandes e com elevada gramatura | Por que as bobinas devem ser muito grandes? | Para exigir menor frequência de troca de material |
| | | Porque 1 | | Porque 2 | V | Porque 3 | | Porque 4 |
| | 2.1 | | | | Por que requer elevado esforço físico? | Porque requer que os operadores tombem a bobina manualmente | Por que os operadores tombam manualmente? | Porque não há ferramentas ou manipuladores para auxiliarem nesta atividade |
| | | Porque 1 | V | Porque 2 | V | Porque 3 | | |
| | 3 | Porque a máquina B não consegue cortar uma bobina inteira que entra de uma vez | Por que não é possível cortar uma bobina de uma vez? | Porque há um limitante que limita o diâmetro máximo da bobina de saída da máquina | Por que há esse limitante no tamanho? | Porque não há espaço físico na máquina que permita uma bobina maior na saída. | | |

Figura 3.7: Diagrama 5 Porques - Elevado tempo de ciclo

Conforme as respostas eram consideradas verdadeiras, era feita outra pergunta "Por que" sobre a resposta até encontrar a causa final que está em verde na figura, ou até confirmar que a mesma é falsa (em vermelho na figura).

Neste caso as principais causas encontradas para o alto tempo de ciclo foram a falta de papel entre as camadas de filme adesivado, a falta de espaço para produzir bobinas com maior diâmetro e ferramentas ou manipuladores que auxiliem no processo de movimentação e manuseio dos materiais. Para reduzir o tempo de ciclo do produto, o projeto será feito em cima destes itens.

O fato das bobinas serem muito pesadas foi dividido em duas diferentes análises e em uma delas verificou que a causa era verdadeira, influenciava no alto tempo de ciclo, enquanto a outra foi classificada como falsa.

Já o segundo diagrama, apresentado na figura 3.8, mostra possíveis causas levantadas

no brainstorming para a elevada perda na máquina B durante o processo de corte do filme. O diagrama segue o mesmo modelo e padrão do que foi feito para encontrar as causas do alto tempo de ciclo.

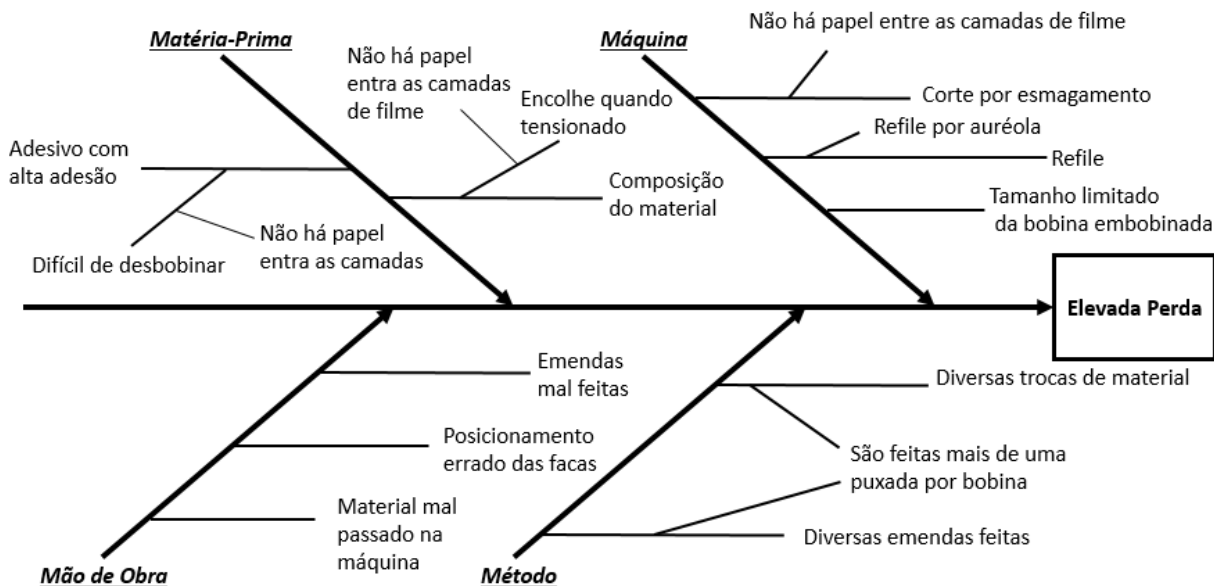


Figura 3.8: Diagrama de Causa e Efeito para elevada perda

Analisando o diagrama de Ishikawa para elevada perda, nota-se que algumas ações listadas são falsas e não ocorrem com frequência ou não representam uma perda significativa no processo. As listadas em mão-de-obra são exemplos disso.

Comparando as causas listadas com outros produtos que passam pelo mesmo processo e apresentam menores valores de perda, as principais causas que podem ser possíveis causas vitais são: não haver papel entre as camadas de filme, tamanho limitado de bobina embobinada e refile em forma de auréola. Logo, devem ser analisadas de forma mais profunda através da ferramenta “5 Por quês”.

A figura 3.9 mostra o diagrama “5 Por quês” feito para a elevada perda deste produto seguindo o mesmo modelo feito para o alto tempo de ciclo.

| Problema | | Porque 1 | V | Porque 2 | V | Porque 3 | V | Porque 4 | V | Porque 5 |
|---|-----|---|--------------------------------------|--|-------------------------------|--|---|---|---------------------------------------|---|
| Por que este produto apresenta elevada perda ? | 1 | Porque seu refil é muito grande | Por que o refil é muito grande? | Porque é formado em auréolas o que exige maior largura | Por que o refil é em auréola? | Porque a máquina não possui um motor para sucção do scrap | Por que não existe este equipamento na máquina? | Porque o adesivo está desprotegido e isso iria entopir a saída do equipamento | Por que o adesivo está desprotegido? | Porque não há papel entre as camadas do filme laminado |
| | | Porque 1 | V | Porque 2 | V | Porque 3 | F | Porque 4 | F | Porque 5 |
| | 2 | Porque são feitas muitas emendas durante o processo | Por que as emendas aumentam a perda? | Porque a cada emenda feita, uma parte do filme é cortado e perdido e a emenda pode prejudicar o processo | Por que há tantas emendas? | Porque os filmes chegam com falhas e emendas do fornecedor | | | | |
| | | Porque 1 | | Porque 2 | V | Porque 3 | | Porque 4 | V | Porque 5 |
| | 2.1 | | | | Por que há tantas emendas? | Porque a bobina de entrada é maior que a de saída, forçando a fazer mais emendas no material durante o processo. | Por que os diâmetros são diferentes? | Porque há um limitante que limita o diâmetro máximo da bobina de saída da máquina | Por que há esse limitante no tamanho? | Porque não há espaço físico na máquina que permita uma bobina maior na saída. |

Figura 3.9: Diagrama 5 Porques - Elevada perda

As principais causas encontradas para a elevada perda foram: a falta de papel entre as camadas do filme adesivado e falta de espaço físico na máquina para rebobinar bobinas de maiores diâmetros. O projeto focará em trabalhar em cima destes pontos para reduzir as perdas.

O fato do material chegar com muitas emendas e falhas do fornecedor foi classificado como falso, pois é algo que não justifica a elevada perda do processo e são casos pontuais.

Através da ferramenta “5 Por quês”, foi possível encontrar algumas possíveis causas raiz dos problemas citados, e verificar sua veracidade. Assim, algumas causas levantadas já puderam ser descartadas, pois comprovou-se que são falsas, não influenciam nos problemas ou são essenciais para o processo. Enquanto outras foram consideradas verdadeiras, as quais serão o foco do estudo e análise.

Os dois problemas analisados, tanto a elevada perda como o alto tempo de ciclo, possuem algumas causas muito semelhantes, como a ausência de papel entre as camadas de filme adesivado e a falta de espaço para embobinar bobinas com diâmetros maiores na saída do processo de corte.

Analisando os processos de outros produtos similares, notou-se que os materiais que são adesivados indiretamente através de um papel transportador não sofrem estas causas e apresentam resultados melhores de tempo e perda, pois através da adesivação indireta,

a velocidade no primeiro processo é maior, garantindo uniformidade na distribuição do adesivo. E tendo papel entre as camadas de filme adesivado é possível realizar o corte por cisalhamento em outra máquina, que possui maior velocidade de corte e o refile (perda lateral ou compulsória) é puxado por uma máquina de sucção permitindo aproveitamento de maior largura da bobina e diminuindo a perda compulsória de material. Também há espaço para embobinar rolos de maior diâmetro, reduzindo assim o número de trocas de material.

3.3.4 Fase 4: Melhorar

Nesta fase o objetivo é testar um piloto para verificar se as melhorias serão realmente alcançadas conforme o planejado.

Após análise e priorização das causas identificadas, será feito um teste no qual o filme será adesivado indiretamente através de um papel siliconado, como é feitos em outros produtos. Com isso espera-se que a velocidade de processo na máquina A seja o triplo da velocidade atual. Logo, o tempo de ciclo da linha cairá.

Espera-se também reduzir o tempo de setup da máquina, aumentando o OEE da máquina A em torno de 1%, pois adesivando de forma indireta, o bico aplicador de cola será o mesmo que é utilizado para os outros produtos que são adesivados através de papel siliconado, eliminando o tempo de troca deste ferramental.

Com papel entre as camadas de adesivo, será testado cortar este material na máquina C, máquina que realiza o mesmo processo de corte porém por cisalhaento. Espera-se processar com o dobro da velocidade de corte e reduzir a perda compulsória da bobina de 10,23% para 5,68%, pois será aproveitada maior largura do filme, uma vez que o refile será sugado e não formará auréola. Na máquina C é possível embobinar rolos de maiores diâmetros, logo consegue-se cortar uma bobina inteira de uma vez, reduzindo o número de emendas por bobina cortada e o tempo gasto para troca de material. Com isso, o impacto de troca de materiais no OEE da linha deve cair em torno de 25 pontos percentuais, devido ao grande aumento na taxa de disponibilidade da máquina.

A tabela 3.2, mostra o estado atual e estado futuro dos processos em análise, facilitando a comparação dos números atuais e os que são esperados alcançar com o teste.

| | | Estado Atual | Estado Futuro |
|------------------------|--------------------------------|------------------------|------------------------|
| | Maquina | A | A |
| PROCESSO DE ADESIVAÇÃO | Velocidade de corte | 13 m ² /min | 42 m ² /min |
| | Impacto Setup - OEE | 3.5% | 2.7% |
| | | Estado Atual | Estado Futuro |
| | Maquina | B | C |
| PROCESO DE CORTE | Velocidade de corte | 20 m ² /min | 41 m ² /min |
| | Impacto Troca de Material- OEE | 47% | 22% |
| | Perda de refile | 10,23% | 5,68% |

Tabela 3.2 - Comparação estado atual e estado futuro

Para o teste, utilizou-se uma bobina do filme, e obteve-se os seguintes resultados:

- Processo de adesivação:

A bobina foi adesivada na mesma máquina (A), porém foi adesivada de forma indireta, através de um papel siliconado, o adesivo é aplicado no papel que transfere a cola para o filme. O papel permanece entre as camadas de filme o que facilita o embobinamento e desbobinamento do rolo.

A velocidade de processo foi de 42m²/min, os testes de autocontrole foram realizados, e a gramatura e adesividade estavam dentro da especificação.

O setup (troca de ferramentais) durou cerca de 30 minutos a menos que o habitual, pois foi utilizado o mesmo bico aplicador de cola que é utilizado para os outros produtos que são adesivado através de papel siliconado. Assim, eliminou-se a atividade de troca deste ferramental.

- Processo de corte:

A bobina foi cortada na máquina C, a velocidade de corte foi de 41m²/min.

A mesma bobina foi inteira cortada sem paradas. Para produzir um palete, foram feitas 7 trocas de material, um impacto de 22% no OEE da linha, enquanto na máquina B ocorrem cerca de 16 paradas para troca de material durante a produção do mesmo volume,

pois a bobina de entrada não está sincronizada com a de saída o que representa 47% do impacto no OEE desta linha.

Nesta máquina, foi possível realizar um corte diferente da bobina, cortando a bobina grande em rolos de diferente larguras e aproveitando cerca de 20mm a mais da largura do filme. Com esse novo corte, a perda lateral (compulsória) caiu para 5,7%, com oportunidades de ser reduzida para 2,91% caso seja negociado com o fornecedor da matéria-prima um novo tamanho do filme.

Após realização dos testes, foi possível comprovar os resultados esperados. Reduziu-se a perda do produto e seu tempo de ciclo, através do aumento da velocidade em alguns processos.

Para este projeto ser viabilizado financeiramente, uma parte do papel utilizado nos processos deve ser reaproveitado em outros processos, atividade possível de ser realizada e já implementada na fábrica. Estima-se que cerca de 80% do papel transportador será reutilizado, trazendo um retorno financeiro para a empresa pela redução de desperdícios do processo.

Com o projeto, a perda compulsória no processo de corte caiu 45% e a velocidade em alguns processos aumentou mais de 100%. Com isso, o tempo de ciclo deste produto foi reduzido em 55% nestes dois processos.

3.3.5 Fase 5: Controlar

Na fase “Controlar”, o objetivo é garantir que a melhoria está sendo mantida após implementada, para isso, os indicadores apontados como melhoria – porcentagem da perda, velocidade de produção e impacto no OEE da máquina, devem ser acompanhados e analisados se estão conforme o planejado e se estas mudanças não geraram novos problemas.

Como neste projeto foi realizado apenas um teste em um piloto, não é possível concluir esta fase, que deverá ser realizada após a implementação completa do projeto.

Conclusão

Neste trabalho foi apresentado uma breve contextualização da evolução dos processos de fabricação ao longo dos séculos, destacando suas origens e principais pensadores. O trabalho mostrou também os principais desperdícios encontrados hoje nas fábricas e a importância de reduzir ou eliminar eles.

O trabalho apresentou uma revisão bibliográfica sobre as metodologias Lean e Seis Sigma, muito utilizadas atualmente nas empresas para buscar reduzir custos através da eliminação de desperdícios e garantir maior qualidade e padronização dos produtos. Durante o trabalho são explicitadas diversas ferramentas e técnicas destas metodologias.

Após apresentação teórica destas metodologias, foi mostrado um estudo de caso real em uma fábrica no qual algumas das ferramentas explicitadas foram aplicadas. Com este caso, pôde-se comprovar a eficácia das técnicas conseguindo identificar oportunidades de melhoria no processo e suas causas raízes.

A utilização destes métodos, suportadas pelo estudo teórico, possibilitou concluir que são ferramentas simples e de fácil aplicação que podem ser utilizadas por qualquer pessoa envolvida no processo, criando uma cultura de melhoria contínua e rápida identificação e resolução de problemas.

O projeto aplicado foi guiado pelo método “DMAIC”, demonstrando claramente suas cinco etapas: definir, medir, analisar, melhorar e controlar. Após todo levantamento de dados e análises feitas, determinou-se o principal problema e suas causas raízes. Com isso, foi possível propor melhorias e testar um piloto. Os resultados do teste foram satisfatórios e através do DMAIC a perda e o tempo de ciclo foram reduzidos, trazendo um retorno financeiro relevante para a empresa.

Os próximos trabalhos a serem feitos para dar continuidade ao projeto será a imple-

mentação de fato e acompanhamento dos indicadores para medir se estão atendendo ao que foi estimado e garantir o retorno financeiro calculado.

Referências

1. CHUMACHER, Rodrigues de Souza. Revolução industrial. Centro Universitario Luterano de Ji-Paraná. Dezembro 2012.
2. MAXIMINIANO A,C.A. Teoria Geral da Administração: da revolução urbana a revolução digital. 7. ed. São Paulo. Atlas, 2012.
3. DEMING, W. E. Qualidade: A Revolução da Administração. Rio de Janeiro: Marques Saraiva, 1990.
4. Revista Logística and Supply Chain. Entenda os conceitos do lean manufacturing. 2018
5. TOSHIKO, Narusawa; SHOOK, John. Kaizen express; Fundamentos para sua jornada lean. 2009, Lean Institute of Brasil.
6. PICCHI, Flávio Augusto. Entenda os “7 desperdícios” que uma empresa pode ter. Lean Institute Brasil. 2017.
7. OHNO, Taiichi. O Sistema Toyota de Produção: além da produção em larga escala. Porto Alegre: Bookman, 1997.
8. Revista Exame. Em busca do padrão Seis Sigma. Marco Siqueira Campos. 2011.
9. Lean Construction na prática. Lean Construction e Gestão na Construção Civil. Luiz Junqueira. Março 2016.
10. KOSAKA, Ilberto. Just in time (JIT). Lean Institute of Brasil. 2009.
11. Roberto dos Reis Alvarez e José Antonio Valle Antunes Jr. TAKT-TIME: Conceitos e contextualização dentro do sistema toyota de produção. Rio de Janeiro. 2001

12. SHOOK, Y. Bringing the Toyota Production System to the United States: A Personal Perspective: Becoming Lean: Inside Stories of U.S. Manufacturers. Productivity, Portland, EUA, 1998.
13. IWAYAMA, H.: Basic Concept of Just-in-time System, mimeo, IBQP-PR, Curitiba, PR, 1997.
14. LIKER, J. K. O Modelo Toyota: 14 Princípios de Gestão do Maior Fabricante do Mundo. Porto Alegre: Bookman, 2005
15. SHINGO, S. A Revolution in Manufacturing: The SMED System. Productivity Press. Cambridge, MA, 1985.
16. SHINGO, S. O Sistema de Troca Rápida de Ferramentas. Porto Alegre: Bookman Editora, 2000.
17. SLACK, Nigel, CHAMBERS, Stuart, JOHNSTON, Robert - Administração da Produção. ATLAS, 2. ed, 2002
18. TUBINO, Dalvio Ferrari. Manual do planejamento e controle da produção. 2. ed. São Paulo: Atlas, 2000.
19. FERNANDES, Flavio Cesar Faria ; GODINHO FILHO, M. . Planejamento e Controle da Produção: dos fundamentos ao essencial. 1. ed. São Paulo: Atlas, 2010.
20. GHINATO, P. Sistema Toyota de Produção: mais do que simplesmente Just-in-time. Caxias do Sul: EDUCS. 1996
21. SHINGO, S. O Sistema Toyota de Produção: do ponto de vista da engenharia de produção. Porto Alegre. 1996
22. MONDEN, Y. Sistema Toyota de Produção. São Paulo: IMAM. 1984
23. BASU, R.; WRIGH, N. (2003). Quality beyond six sigma. Boston: Elsevier Butterworth Heinemann.
24. DEMING, W. E. (1990). Qualidade: a revolução da administração. Rio de Janeiro: Marques-Saraiva.

-
25. WERKEMA, M. C. C. (2002). Criando a cultura seis sigma (Vol. 1, Série Seis Sigma). Rio de Janeiro: Qualitymark.
 26. USEVINICIUS, A. L, Implantação da metodologia Seis Sigma e aplicação da técnica estatística de projeto de experimentos na resolução de problemas e otimização dos processos de fabricação, Universidade Federal do Rio Grande do Sul. RS, p.36, 2004
 27. SANTOS, B. ADRIANA; MARTINS F. MANOEL, “A implementação dos projetos seis sigma contribuindo para o direcionamento estratégico e para o aprimoramento do sistema de medição de desempenho”, Revista Pesquisa e Desenvolvimento Engenharia de Produção, n.1, p. 1-14, dez.2003
 28. CARPINETTI, L.C.R. Gestão da Qualidade: Conceitos e Técnicas 2ed São Paulo. Atlas 2012.
 29. STAMATIS, H. DEAN. Six Sigma Fundamentals: A complete guide to the system, methods and tools, New York, Productivity Press, 2004
 30. KOSAKA, Gilberto. Fluxo Contínuo. Lean Institute Brasil.2009
 31. KOSAKA, Gilberto. Sistema Puxado. Lean Institute Brasil.2009
 32. KOSAKA, Gilberto. Jidoka. Lean Institute Brasil.2006
 33. KAMADA, Sergio. Como operar um ANDON. Lean Institute Brasil.2008
 34. SMALLEY, Art. Basic Stability is Basic to Lean Manufacturing Success. Lean Institute Brasil.2008
 35. HANSEN, R.C. Eficiência Global dos Equipamentos – uma poderosa ferramenta de produção/manutenção para o aumento dos lucros. Porto Alegre, Bookman, 2006.
 36. ECKES, GEORGE, 2001, “The Six Sigma Revolution”, 4 ed, Elsevier.