

UNIVERSIDADE DE TAUBATÉ
HELTON MOTA PEREIRA

**APLICAÇÃO DO *LEAN SEIS SIGMA* NA REDUÇÃO DE PARADAS
NÃO PROGRAMADAS EM UMA EMPRESA DE MOLDAGEM POR
INJEÇÃO**

Taubaté – SP
2016

HELTON MOTA PEREIRA

**APLICAÇÃO DO *LEAN SEIS SIGMA* NA REDUÇÃO DE PARADAS
NÃO PROGRAMADAS EM UMA EMPRESA DE MOLDAGEM POR
INJEÇÃO**

Monografia apresentada para obtenção do Certificado de Especialização pelo Curso Engenharia da Qualidade *Lean Seis Sigma - Green Belt* do Departamento de Engenharia Mecânica da Universidade de Taubaté.

Área de Concentração: qualidade e produtividade
Orientador: Prof. Álvaro Azevedo Cardoso, PhD

Taubaté – SP

2016

**Ficha Catalográfica elaborada pelo SIBi – Sistema Integrado
de Bibliotecas / UNITAU - Biblioteca das Engenharias**

P436a	<p>Pereira, Helton Mota Aplicação do lean seis sigma na redução de paradas não programadas em uma empresa de moldagem por injeção. / Helton Mota Pereira - 2016.</p> <p>80f. : il; 30 cm.</p> <p>Monografia (Especialização em Engenharia da Qualidade Lean Seis Sigma – Green Belt) – Universidade de Taubaté. Departamento de Engenharia Mecânica, 2016 Orientador: Prof. Dr. Álvaro Azevedo Cardoso, Departamento de Engenharia Mecânica.</p> <p>1. Lean seis sigma. 2. DMAIC. 3. Moldagem por injeção. 4. Paradas não programadas. 5. Produtividade. I. Título.</p>
-------	---

HELTON MOTA PEREIRA

**APLICAÇÃO DO *LEAN SEIS SIGMA* NA REDUÇÃO DE PARADAS
NÃO PROGRAMADAS EM UMA EMPRESA DE MOLDAGEM POR
INJEÇÃO**

Monografia apresentada para obtenção do
Certificado de Especialização pelo Curso
Engenharia da Qualidade *Lean Seis Sigma -
Green Belt* do Departamento de Engenharia
Mecânica da Universidade de Taubaté,

Área de Concentração: qualidade e
produtividade

Data: 12/03/2016

Resultado: _____

BANCA EXAMINADORA

Prof. Dr. Álvaro Azevedo Cardoso

Assinatura _____

Prof.^a Espec. Juliana de Lima Furtado

Assinatura _____

Dedico este trabalho a minha esposa Thaís Inácio Negrão Mota Pereira, que me apoiou em todos os momentos da execução deste trabalho.

AGRADECIMENTOS

Ao Prof. Álvaro Azevedo Cardoso, PhD, pela habilidade com que orientou para a conclusão deste trabalho.

À empresa estudada, pelo apoio e informações para elaboração da análise estatística dos resultados.

RESUMO

Este trabalho tem como objetivo estudar a aplicação dos conceitos do *Lean Seis Sigma*, com vistas à redução de paradas não programadas na produção. Para a execução desta pesquisa adotou-se a metodologia de pesquisa-ação, a qual foi realizada em uma indústria nacional de embalagens plásticas. Por meio do DMAIC e de ferramentas de análise e estatística tais como cartas de controle, matriz de causa e efeito e mapa do processo, foram levantadas as principais variáveis de entrada, importantes para a determinação do índice de paradas não programadas, bem como as ações necessárias à melhoria dessas variáveis, entre as quais mereceu destaque a adoção do *Lean Seis Sigma*, ocorrida em 2015. Por meio desta pesquisa concluiu-se que a implementação do *Lean Seis Sigma* possibilita, de fato, a redução das paradas não programadas na produção de embalagens plásticas. Ao final do período pesquisado (julho a dezembro de 2015), o índice de paradas não programadas passou de 7,125% para 3,189%. Concluiu-se, ainda, que a adoção do *Lean Seis Sigma* pela empresa levou à redução no DPMO (Defeitos por Milhão de Oportunidades), o qual passou de 71.246,81 para 31.890,66; bem como levou também à melhoria no índice da Escala Sigma, passando de 2,966 para 3,353.

Palavras-chaves: Produtividade. Lean seis sigma. DMAIC. Moldagem por injeção. Paradas não programadas.

ABSTRACT

This study has as objective to present the application of *Lean Six Sigma* concepts, with a view to reducing hours of downtime in the production process. For the implementation of this research was used the methodology research-action, which was carried out in a national industry of plastic packaging. Through the DMAIC and statistical analysis tools such as control charts, cause and effect matrix and process map, raised the main input variables, important for determining the rate downtime, as well as the actions necessary for the improvement of these variables, among them, deserved highlighting the adoption of *Lean Six Sigma* in 2015. By means of this research concluded that the implementation of *Lean Six Sigma* allows, in fact, the reduction of the downtime in the production of plastic packaging. At the end of the period researched (July to December 2015), the rate of downtime of 7.125% passed to 3.189%. It is concluded that the adoption of *Lean Six Sigma* by the company led to the reduction in DPMO (defects per million opportunities), which went from 71246.81 to 31890.66; as well as the improvement in the index of the Sigma Scale, passing from 2.966 to 3.353.

Keywords: Productivity. Lean six sigma. DMAIC. Injection molding. Downtime.

LISTA DE FIGURAS

Figura 1 – Exemplos de desperdícios	22
Figura 2– Pontos fortes do Seis Sigma e <i>Lean Manufacturing</i>	34
Figura 3– Resultados da contribuição do <i>Lean</i> e Seis Sigma usados conjuntamente	35
Figura 4– Resumo do <i>Lean Seis Sigma</i>	38
Figura 5 - Representação gráfica do diagrama de causa e efeito	40
Figura 6 – Exemplo de <i>SIPOC</i>	41
Figura 7 – Cálculo do DPMO	41
Figura 8 – Carta de controle	43
Figura 9 – Exemplo de Diagrama de Pareto	43
Figura 10 – Exemplo de 5W2H	44
Figura 11 – Exemplo matriz de priorização	44
Figura 12 – Máquina injetora	47
Figura 13 – Ciclo completo de injeção	48
Figura 14 – Molde de injeção plástica.....	49
Figura 15– <i>Project charter</i>	55
Figura 16 - Diagrama SIPOC	56
Figura 17 - Mapeamento do processo de injeção plástica por moldagem	58
Figura 18 – Diagrama de causa e efeito para o índice de paradas não programadas.....	59
Figura 19 – Cálculo do DPMO	60
Figura 20 – Carta de controle das horas de paradas não programadas mensal	62
Figura 21 – Matriz de priorização das potenciais causas	64
Figura 22 – Gráfico de Pareto das possíveis causas	65
Figura 23 – Gráfico de Pareto para causa Ferramentaria	65
Figura 24 - Gráfico de Pareto para causa manutenção mecânica.....	66
Figura 25 – Gráfico de Pareto para causa regulagem.....	67
Figura 26 – Cronograma de preventiva para moldes com base em horas trabalhadas	69

Figura 27 – Cronograma de manutenção preventiva para máquina injetora com base em horas trabalhadas	70
Figura 28 – Ficha técnica para o processo de injeção	71
Figura 29 – Cálculo do DPMO após implementação	72
Figura 30 – Índice de paradas não programadas após implementação	73

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 – Tabela de conversão para a Escala Sigma	42
Tabela 2 – Número de horas paradas nos meses de 2014.....	61
Tabela 3 – Plano de ação para ferramentaria	69
Tabela 4 – Plano de ação para quebra mecânica	69
Tabela 5 – Plano de ação para regulagem	70
Tabela 6 – Plano de controle	75

SUMÁRIO

1	INTRODUÇÃO.....	13
1.1	DESCRIÇÃO DA EMPRESA.....	14
1.2	DESCRIÇÃO DO PROBLEMA.....	15
1.3	JUSTIFICATIVA.....	16
1.4	OBJETIVO GERAL.....	17
1.5	OBJETIVOS ESPECÍFICOS.....	17
1.6	ESTRUTURA DO TRABALHO.....	17
2	REVISÃO DE LITERATURA.....	19
2.1	PRODUTIVIDADE NA MOLDAGEM POR INJEÇÃO.....	19
2.2	LEAN SEIS SIGMA.....	20
2.3	APLICAÇÃO DO DMAIC.....	36
2.4	PARADAS NÃO PROGRAMADAS NA MOLDAGEM POR INJEÇÃO.....	45
2.4.1	Máquinas Injetoras por moldagem.....	46
2.4.2	Moldes para injeção.....	48
2.4.3	Controle do processo de injeção.....	49
3	METODOLOGIA.....	51
3.1	ROTEIRO PARA OBTENÇÃO DOS DADOS.....	51
4	RESULTADOS E DISCUSSÃO.....	54
4.1	ETAPA <i>DEFINE</i> (DEFINIR).....	54
4.1.1	Project Charter.....	54
4.1.2	Voz do cliente.....	55
4.1.3	SIPOC.....	56
4.1.4	Passos chaves na etapa definir.....	56
4.2	ETAPA <i>MEASURE</i> (MEDIR).....	57
4.2.1	Mapeamento do processo.....	58
4.2.2	Diagrama de causa e efeito.....	59
4.2.3	DPMO.....	59
4.2.4	Análise do Sistema de Medição.....	60
4.2.5	Cartas de controle – estabelecimento do baseline.....	61
4.2.6	Passos chaves na etapa Medir.....	62
4.3	ETAPA <i>ANALYZE</i> (ANALISAR).....	63
4.3.1	Identificação das causas raízes.....	63
4.3.2	Passos chaves da etapa Analisar.....	67
4.4	ETAPA <i>IMPROVE</i> (MELHORAR).....	67
4.4.1	Implantação das soluções para ferramentaria.....	68

4.4.2	Implantação da solução para quebra mecânica.....	69
4.4.3	Implantação da solução para regulagem	70
4.4.4	DPMO	71
4.4.5	Indicador de paradas não programadas	72
4.4.6	Passos chaves da etapa Melhorar.....	73
4.5	ETAPA <i>CONTROL</i> (CONTROLAR).....	73
4.5.1	Monitoramento do processo.....	74
4.5.2	Revisão dos procedimentos.....	74
4.5.3	Plano de controle	74
4.5.4	Passos chaves da etapa Controlar	75
5	CONCLUSÕES.....	77
	REFERÊNCIAS.....	78

1 INTRODUÇÃO

O *Lean Manufacturing* é uma iniciativa que busca eliminar desperdícios, isto é, excluir o que não tem valor para o cliente e imprimir velocidade à empresa. O fato das empresas utilizarem as ferramentas *Lean* não significa que foi obtido pleno sucesso na implantação como um todo. (WERKEMA, 2012b).

O *Seis Sigma* é uma estratégia gerencial altamente quantitativa e disciplinada, que tem como objetivo aumentar expressivamente a performance e a lucratividade das empresas por meio da melhoria da qualidade de produtos e processos aumentando a satisfação de clientes e consumidores. (WERKEMA, 2012b)

Straatmann (2006) acrescenta a esse contexto que empresas de vários setores vem aderindo ao Seis Sigma, ao *Lean Manufacturing*, ou a ambos, simultaneamente, (*Lean Seis Sigma*), sempre com o objetivo de conduzirem seus processos de melhoria contínua.

Essa adesão ao *Lean Seis Sigma*, de forma integrada, por parte das empresas tem ocorrido em função de um certo esgotamento na redução dos desperdícios com base no Sistema Toyota de Produção. As organizações, por meio do *Lean Seis Sigma*, buscam um novo padrão de melhoria, o qual, com base em dados, visa reduzir a variabilidade dos processos e, com isso, reduzir também as paradas não programadas na produção industrial.

A adoção combinada do *Lean e Manufacturing* e do Seis Sigma, tem se mostrado como um tendência nas organizações, as quais, apesar de todas as dificuldades, possuem programas corporativos que procuram integrar Seis Sigma e o *Lean Manufacturing* de forma a desfrutar dos benefícios de cada um deles.

O uso do *Lean Seis Sigma* combina elementos do *Lean Manufacturing e dos Seis Sigma*. O *Lean Seis Sigma* refere-se a um programa de melhoria que maximiza o valor para o acionista, atingindo as mais rápidas taxas de melhorias de satisfação de clientes. Menos custo, melhor qualidade, mais velocidade do processo e bom uso do capital empregado (GEORGE, 2002).

Para Werkema (2012b) um dos elementos da infraestrutura do *Lean Seis Sigma* é a constituição de equipes para executar projetos que contribuam fortemente para o alcance das metas estratégicas da empresa. O desenvolvimento desses projetos é realizado com base em um método denominado DMAIC, constituído por cinco etapas: Define (Definir), Measure (Medir), Analyze (Analisar), Improve (Melhorar) e Control (Controlar).

Encontramos esse cenário na empresa pesquisada, visto que a mesma, em 2015, por meio do projeto Charter, implementou, de forma integrada ao *Lean Manufacturing* e o *Seis Sigma*, optando ainda, nesse contexto, por dar ênfase à metodologia DMAIC, uma vez que entende a sua relevância para o alcance de seu objetivo principal: reduzir as paradas não programadas na produção de embalagens.

Assim, este estudo tem a finalidade de apresentar e analisar a aplicação dos conceitos do *Lean Seis Sigma*, com ênfase no DMAIC (Definir, Medir, Analisar, Melhorar e Controlar), com vistas à redução de paradas não programadas no processo de produção da empresa pesquisada.

1.1 DESCRIÇÃO DA EMPRESA

A empresa, objeto da aplicação das ferramentas do *Lean Seis Sigma*, possui uma única planta fabril localizada no município de Caçapava, interior do Estado de São Paulo.

Como a grande maioria das empresas, sofre, hoje, grande pressão do mercado para redução de custos.

A empresa possui certificação ISO9001 e ISOTS16949 desde 2003.

Características da empresa e produto:

- Volume de produção mensal de 1.000.000 de peças injetadas;
- Clientes são da área automotiva e de embalagens;
- Base de fornecedores nacionais;

- Tipos de produtos: embalagens plásticas de polipropileno e peças técnicas para indústria automotiva, principalmente acabamentos de portas, painéis, para-choques e teto, dentre outros;
- Linha de produção composta por 21 injetoras plásticas, de 80 a 600 toneladas de força de fechamento;
- Funcionários: 70 entre operacional e administrativo.

Na última década, a empresa vem se especializando na indústria de moldagem por injeção plástica. E, nesse período, introduziu novas tecnologias, buscando, com isso, eficiência energética em injetoras, bem como robotização e esteiras.

Há cerca de dois anos, os conceitos do *Lean Seis Sigma* e *DMAIC* passaram a ser utilizados no processo de produção da empresa lócus da pesquisa, os quais buscaram a redução das paradas não programadas na produção.

Como primeiro passo para a implantação da metodologia *Lean Seis Sigma* e *DMAIC* criou-se um time multifuncional sendo constituído por um operador, um mecânico e um analista da qualidade e processo, todos liderados por um *Champion* (gerente da qualidade).

O esquema de integração das ferramentas *Lean Seis Sigma* ao método *DMAIC*, bem como a sua aplicação será descrito nas próximas seções.

1.2 DESCRIÇÃO DO PROBLEMA

A empresa pesquisada localiza-se no Município de Caçapava, interior do Estado de São Paulo, a qual caracteriza-se como de médio porte, atuando, principalmente, na produção de embalagens plásticas.

No ano de 2014, as paradas não programadas no processo de moldagem por injeção plástica foram identificadas pelos funcionários envolvidos na produção, como um dos maiores problemas na rotina de trabalho, as quais levavam a frequentes invalidações do planejamento de produção. Nesse mesmo ano, o índice médio de paradas não programadas na empresa em questão foi de 6,48%, contra 5,51%

observado em 2013, indicando, portanto, uma tendência para o agravamento do problema.

As paradas não programadas no processo de produção geram, além dos impactos negativos imediatos, outros efeitos que, comprometem, em diversas áreas, o sucesso da empresa, tais como: comprometimento da qualidade da produção, perda de mercado, aumento do custo de produção, entre outros, os quais não se constituíram em objetos deste estudo, tendo em vista a sua amplitude.

O presente trabalho abarcou somente questões relacionadas à redução das paradas não programadas no processo de produção, mediante aplicação do *Lean Seis Sigma*, associado ao DMAIC, em razão do cenário apresentado pela empresa em 2014, o qual requeria uma intervenção direta e imediata.

1.3 JUSTIFICATIVA

A questão que se apresenta, mediante análise prévia do cenário encontrado na empresa pesquisada no ano de 2014, refere-se à confirmação, ou não, das contribuições que a aplicação do *Lean Seis Sigma* e DMAIC oferecem para a redução das paradas não programadas no processo de produção de embalagens plásticas.

Assim, este trabalho procura colaborar com os gestores dos processos de produção desse tipo de empresa, oferecendo uma análise estruturada da aplicação do *Lean Seis Sigma*, com ênfase no DMAIC, identificando e apresentando seu valor, bem como sinalizando com os ganhos que podem ser obtidos com essa aplicação.

Observando-se a literatura sobre o tema pesquisado, encontra-se que essas preocupações atingem muitas corporações e que os resultados obtidos por algumas das organizações que implementaram o programa *Lean Seis Sigma* têm despertado a atenção em diferentes ramos de negócios, principalmente, pelos resultados financeiros alcançados por estas empresas (GEORGE, 2002).

Dessa forma, a validade social do presente estudo fica destacada, visto que o sucesso financeiro e técnico da empresa implica em ganhos, diretos ou indiretos, para seus colaboradores, como a melhoria das condições de trabalho pela diminuição do

estresse gerado pelas paradas não programadas na produção, a maior probabilidade de manutenção do emprego, entre outros.

1.4 OBJETIVO GERAL

O objetivo geral desta pesquisa é verificar se a adoção das práticas do *Lean Seis Sigma*, com ênfase na metodologia DMAIC, reduz, de fato, as horas de paradas não programadas no processo de produção de embalagens plásticas.

1.5 OBJETIVOS ESPECÍFICOS

Os objetivos específicos propostos para esta pesquisa são:

- Demonstrar a aplicação do *Lean* e Seis Sigma de forma integrada (*Lean Seis Sigma*), com associação das estratégias DMAIC, na empresa de embalagens plásticas pesquisada;
- Identificar as causas raízes das paradas não programadas na produção de embalagens plásticas;
- Verificar o impacto da aplicação do DMAIC nos processos de produção da empresa, com base na Escala Sigma de curto prazo e no índice DPMO.

1.6 ESTRUTURA DO TRABALHO

Esta monografia encontra-se estruturada em cinco itens. O item “1 Introdução” contextualiza o objeto e o lócus da pesquisa, bem como apresenta o tema pesquisado. Assim, tem-se nesse item, a descrição da empresa, do problema de pesquisa, bem como a justificativa e os objetivos geral e específicos desse estudo. Tem-se, ainda, a descrição da estrutura do trabalho.

O item “2 Revisão da Literatura” discorre sobre o referencial teórico utilizado para a pesquisa, obtido com base no estudo da literatura referente a produtividade,

paradas não programadas em moldagem por injeção, *Lean Seis Sigma* e DMAIC. Busca-se demonstrar as contribuições científicas já existentes e diretamente relacionados ao tema deste trabalho.

Dessa forma, com base nesses estudos, são apresentados os principais conceitos, técnicas e ferramentas para o entendimento da aplicação do *Lean Seis Sigma*, além dos conceitos referentes ao processo de moldagem por injeção plástica.

A metodologia é apresentada no item 3, quando fica explicitado o caráter quantitativo da pesquisa e a adoção do método de Pesquisa-Ação para a realização desse estudo. Também são apresentadas as etapas cumpridas no percurso da pesquisa, as quais levaram aos resultados obtidos.

No item “4 Resultados e Discussão” temos uma breve descrição dos resultados obtidos durante a pesquisa e da discussão proporcionada por esse processo de pesquisa.

O item “5 Conclusões” traz a síntese dos resultados da pesquisa, os quais baseiam-se nos dados obtidos.

2 REVISÃO DE LITERATURA

Neste item são apresentados os principais conceitos, técnicas e ferramentas para o entendimento da aplicação do *Lean Seis Sigma*, bem como os conceitos do processo de moldagem por injeção plástica. Esses conceitos e técnicas são apresentados com base em levantamento efetuado nos principais livros e periódicos da área, artigos e trabalhos científicos publicados na rede mundial de computadores – internet, sempre relacionados ao tema pesquisado.

2.1 PRODUTIVIDADE NA MOLDAGEM POR INJEÇÃO

Segundo Zheng et al. (2011), moldagem por injeção é definida como um processo cíclico para produzir produtos idênticos por meio de um molde, sendo altamente utilizado no processamento de polímeros. A principal vantagem desse processo é a sua capacidade de repetição, fabricando peças com geometrias complexas em altas taxas de produção.

Para Harada; Ueki (2012), peças podem ser produzidas com altas taxas de produtividade, produção de peças em grandes volumes, com custo de mão de obra relativamente baixo, peças que requerem pouco ou nenhum acabamento, e ainda as peças podem ser moldadas com insertos metálicos. Para as desvantagens, competição acirrada oferece baixa margem de lucro, falta de conhecimento nos fundamentos do processo, causa problemas e moldes possuem preço elevado em comparação a outros processos.

A obtenção de produtos em menor tempo de fabricação e com propriedades mecânicas adequadas é vital para a permanência das empresas no mercado. Decorrente desta necessidade, os materiais poliméricos aparecem com grande destaque. Segundo Fuh et al. (2004) em cerca de 70% dos produtos produzidos mundialmente, desde computadores, brinquedos, utensílios para a casa, equipamentos para a área da saúde e componentes para a indústria automobilística.

Cada vez mais um aumento de produtividade é desejado, sendo, portanto, necessário realizar a moldagem das peças poliméricas com ciclos extremamente

curtos. Entretanto, uma análise criteriosa do processo, da temperatura da massa fundida, da condição de resfriamento do molde, dos pontos mortos no processo e da condição dimensional da peça (distribuição de espessura) deve ser analisada ainda no decorrer do processo, afim de que não ocorram prejuízos futuros.

Segundo Costa Neto (2007), o conceito de produtividade está ligado ao bom aproveitamento dos recursos, com mínimo de desperdícios, visando alcançar os resultados esperados. O autor explicita, ainda, que as empresas competitivas podem oferecer seus produtos ou serviços com a qualidade esperada pelos clientes e com preços aceitáveis. Para que os preços sejam competitivos, a empresa deve ter seus custos compatíveis, obtendo isso por meio da produtividade no uso dos recursos que dispõe.

Para Campos (1999), aumentar a produtividade é produzir cada vez mais com menos. A produtividade é definida como sendo o quociente entre o que é produzido e o que é consumido. Para se obter aumento da produtividade é necessário agregar o máximo de valor, ou seja, máxima satisfação das necessidades dos clientes ao menor custo. Não basta aumentar a quantidade produzida, é necessário que o produto tenha valor e que atenda às necessidades dos clientes. Quanto maior for a produtividade de uma empresa, mais útil ela se torna para a sociedade e importante no atendimento às necessidades de seus clientes, os quais buscam custos baixos. Enfim, o que garante a sobrevivência das empresas no mercado é a sua competitividade, a qual deve ser mantida por meio de uma produtividade sempre maior que aquela obtida por seus concorrentes.

2.2 LEAN SEIS SIGMA

As origens do *Lean Manufacturing* remontam ao Sistema Toyota de Produção. O executivo da Toyota Taiichi Ohno iniciou a criação de um sistema de produção, cujo principal foco era a identificação e a posterior eliminação de desperdícios, com objetivo de reduzir custos e aumentar a qualidade e a velocidade de entrega do produto ao cliente. (WERKEMA, 2012b)

Após a segunda guerra mundial, o salto japonês para sua atual proeminência econômica logo se definiu, na medida em que outras companhias e indústrias japonesas adotaram este sistema. Fabricantes em todo mundo tentam agora adotar a produção enxuta, porém o caminho está cheio de obstáculos. A produção enxuta exige que se adquira um número bem maior de qualificações profissionais, aplicando-as criativamente num ambiente de equipe, em lugar da hierarquia rígida (WOMACK, JONES e ROOS, 2004b).

Ohno (1988), explicando esse fato, comenta que os valores da sociedade haviam mudado e que a Toyota havia conseguido uma melhor adequação a essa necessidade, por meio da redução dos desperdícios. Depois que estes objetivos são perseguidos, torna-se muito mais econômico fazer um item por vez, atendendo às necessidades dos clientes.

Segundo Liu e Brookfield (2006), os funcionários da linha de produção da Toyota foram encorajados a considerar o próximo homem (ou mulher) na linha de produção como cliente e rejeitar o envio de qualquer parte do automóvel que não fosse perfeita. Para George (2002), a superação da aparente contradição existente quando se tem baixo custo combinado com alta qualidade e velocidade, foi a primeira conquista da Toyota.

Essa ideologia de minimização das perdas dentro dos processos começou com Henry Ford, quando percebeu que o inventário reduzia a velocidade dos processos e acrescentava custos no sistema produtivo (GEORGE, 2002). Com isso, Ford criou suas linhas de montagem, fazendo com que houvesse um grande ganho sobre seus processos.

O *Lean Manufacturing* é uma abordagem que busca a melhor forma de organizar e gerenciar os relacionamentos de uma empresa com seus clientes, cadeia de fornecedores, desenvolvimento de produtos e operações de produção, segundo o qual, é possível fazer cada vez mais com menos (menos esforço humano, menos equipamentos, menos tempo e menos espaço) e simultaneamente, aproximar-se cada vez mais de oferecer aos clientes, exatamente o que eles desejam (WOMACK; JONES, 2004a).

Já, para Sharma (2003), o principal objetivo do *Lean Manufacturing* é livrar o capital de atividades que não agregam valor ou que geram desperdícios. Para Bhuiyan e Baghel (2005), o objetivo do *Lean Manufacturing* é a eliminação de desperdícios em cada área da produção, incluindo a relação com o cliente, design de produto, rede de fornecedores e gestão da fábrica. Estes autores concordam que o objetivo principal do *Lean Manufacturing* é a eliminação de desperdícios.

Segundo Werkema (2012a), no cerne do *Lean Manufacturing* está a redução dos sete tipos de desperdícios: defeitos (nos produtos), excesso de produção de mercadorias desnecessárias, estoques de mercadorias à espera de processamento ou consumo, processamento desnecessário, movimento desnecessário (de pessoas), transporte desnecessário (de mercadorias) e espera (dos funcionários pelo equipamento de processamento para finalizar o trabalho ou por uma atividade anterior). A Figura 1 apresenta exemplos de possíveis desperdícios:

Tipo de desperdício	Exemplos
Defeitos	Erros em faturas, pedidos, cotações de compra de materiais.
Excesso de produção	Processamento e/ou impressão de documentos antes do necessário, aquisição antecipada de materiais.
Estoques	Material de escritório, catálogos de vendas, relatórios.
Processamento desnecessário	Relatórios não necessários ou em excesso, cópias adicionais de documentos, reentrada de dados.
Movimento desnecessário	Caminhadas até o fax, copiadora, almoxarifado.
Transporte desnecessário	Anexos de <i>e-mails</i> em excesso, aprovações múltiplas de um documento.
Espera	Sistema fora do ar ou lento, ramal ocupado, demora na aprovação de um documento.

Figura 1 – Exemplos de desperdícios

Fonte: (WERKEMA, 2012a)

Conforme demonstrado por Werkema (2012a), os princípios do *Lean Thinking* são:

- Especificar o valor – aquilo que o cliente valoriza. Para o cliente, a necessidade gera o valor e cabe às empresas determinarem qual é a necessidade, procurar satisfazê-la e cobrar por isso um preço específico.

Esses procedimentos visam manter a empresa no negócio e aumentar os lucros via melhoria contínua dos processos, com redução dos custos e melhoria da qualidade;

- Identificar o fluxo de valor – o próximo passo consiste em definir o fluxo de valor, o que significa dissecar a cadeia produtiva e separar os processos em três tipos: aqueles que efetivamente geram valor, aqueles que não geram valor, mas que são importantes para a manutenção dos processos e da qualidade e, por fim, aqueles que não agregam valor, devendo ser eliminados imediatamente;
- Criar fluxos contínuos – é necessário fazer com que as etapas que criam valor fluam. Isso exige uma mudança de mentalidade, em que o produto e suas necessidades devem ser o foco, e não as máquinas e equipamentos. O objetivo é reduzir as atividades que não agregam valor;
- Produção puxada – O fluxo contínuo permite a inversão do fluxo produtivo: as empresas não mais empurram os produtos para o consumidor através de descontos e promoções. O consumidor passa a “puxar” a produção, eliminando estoques e dando valor ao produto.
- Buscar a perfeição – A busca do aperfeiçoamento contínuo em direção a um estado ideal deve nortear todos os esforços da empresa, em processos transparentes nos quais todos os membros da cadeia (montadores, fabricantes de diversos níveis, distribuidores e revendedores) tenham conhecimento profundo do processo como um todo, podendo dialogar e buscar continuamente melhores formas de criar valor.

Para Houshmand e Jamshidnezhad (2006), o *Lean Manufacturing* não é somente um conjunto de técnicas e princípios, mas um novo ponto de vista de produção. Portanto, exige um longo tempo para mudar a forma de pensar das pessoas, porque a cultura no trabalho será mudada.

Para Werkema (2012a) as principais ferramentas usadas para colocar em prática os princípios *Lean Thinking* são: Mapeamento do Fluxo de Valor; Métricas

Lean; Kaizen; Kanban; Padronização; 5S; Redução de setup; TPM (Total Productive Maintenance); Poka- Yoke (Mistake Proofing) e Gestão Visual (WOMACK; JONES, 2004a). Seguem destacadas algumas das ferramentas e conceitos utilizados no programa de melhoria do *Lean Manufacturing*.

Conforme *Lean Enterprise Institute* (2008), as principais métricas do *Lean*, são descritas como:

- Tempo de Ciclo (CT – *Cycle Time*): frequência com que um produto é finalizado em um processo;
- *Lead Time* (LT): tempo necessário para um produto percorrer todas as etapas de um processo ou fluxo de valor, do início até o fim;
- Tempo de Agregação de Valor (VAT – *Value Added Time*): tempo dos elementos de trabalho que realmente transformam o produto de uma maneira que o cliente se disponha a pagar;
- Tempo de Não Agregação de Valor (NVAT – *Non Value Added Time*): tempo gasto em atividades que adicionam custos, mas não agregam valor do ponto de vista do cliente;
- Eficiência do Ciclo do Processo (PCE – *Process Cycle Efficiency*): indicador que mede a relação entre o tempo de agregação de valor e o *Lead Time*;
- Taxa de Saída (*Throughput*): resultado de um processo ao longo de um período de tempo definido, expresso em unidade / tempo;
- Trabalho em Processo (WIP – *Work in Process*): itens que estão dentro dos limites do processo, isto é, que foram admitidos no processo, mas ainda não foram liberados;
- Tempo de Setup ou Tempo de Troca (*Changeover Time*): tempo gasto para alterar a produção de um tipo de produto para outro;

- Tempo *Takt* (*Takt Time*): tempo disponível para a produção, dividido pela demanda do cliente;
- Eficácia Total do Equipamento (OEE – *Overall Equipment Effectiveness*): indicador de Manutenção Produtiva Total que mede o grau de eficácia no uso de um equipamento.

Outras definições importantes para aplicação do *Lean Manufacturing*:

Padronização - é um método usado para indicar os procedimentos na execução das tarefas de um processo, de modo que os resultados desejados possam ser alcançados e mantidos. No contexto do *Lean Manufacturing*, a criação de procedimentos padronizados para o trabalho dos operadores de um processo produtivo é baseada no tempo *takt*, na seqüência das tarefas executadas por um operador dentro do tempo *takt* e no estoque padrão exigido para a operação do processo (WERKEMA, 2012b).

5S – Cinco termos relacionados, todos começando com a letra S, descrevem as práticas para o ambiente de trabalho que são consideradas úteis ao gerenciamento visual e à produção *Lean*. Os cinco termos em japonês são (LEAN ENTERPRISE INSTITUTE, 2008):

- *Seiri* - separar os itens necessários dos desnecessários, descartando estes últimos;
- *Seiton* - organizar o que sobrou, um lugar para cada coisa e cada coisa em seu lugar; (3) *Seiso* - limpeza;
- *Seiketsu* - padronização resultante do bom desempenho nos três primeiros Ss;
- *Shitsuke*: disciplina para manter em andamento os quatro primeiros Ss.

Redução de *Setup* – é um método para a diminuição do tempo necessário para a troca da fabricação de um tipo de produto para outro (tempo de setup). O método também é conhecido pela sigla SMED (*Single Minute Exchange of Die*), que se refere

ao objetivo 14 de redução dos tempos de troca para menos de 10 minutos, ou seja, para um único dígito (WERKEMA, 2012b).

TPM (*Total Productive Maintenance*) – é um conjunto de procedimentos que tem como objetivo garantir que os equipamentos de um processo produtivo sejam sempre capazes de executar as tarefas necessárias, de modo a não interromper a produção;

O TPM possui a palavra “total” em sua denominação, pelos seguintes motivos: requer a total participação de todas as pessoas; objetiva a produtividade total do equipamento, voltando a atenção para as principais perdas sofridas pelas máquinas; focaliza o ciclo de vida total do equipamento, reavaliando as atividades de manutenção em função do estágio em que o equipamento se encontra no ciclo; Já a palavra produtiva da sigla TPM está associada ao objetivo final da ferramenta, que é a produção eficiente, e não apenas a manutenção eficiente como se costuma pensar (WERKEMA, 2012b).

Gestão Visual - colocação em local fácil de visualização todas as ferramentas, peças, atividades de produção e indicadores de desempenho do sistema de produção, de modo que a situação do sistema possa ser entendida rapidamente por todos os envolvidos (LEAN ENTERPRISE INSTITUTE, 2008).

Poka-Yoke – termo japonês que significa à prova de erros (*mistake proofing*) – consiste em um conjunto de procedimentos e/ou dispositivos cujo objetivo é detectar e corrigir erros em um processo antes que esses erros se transformem em defeitos percebidos pelos clientes. Um dispositivo *Poka-Yoke* é qualquer mecanismo que evite que o erro seja cometido ou que faça com que o erro seja óbvio à primeira vista, para que seja facilmente detectado e corrigido (WERKEMA, 2012b).

Sistemas Puxados Genéricos – estabelece um limite máximo de itens produzidos pelo processo, dessa forma o *lead time* passa a ser conhecido e previsível, facilitando a aplicação de ferramentas de melhoria para reduzir o inventário do processo, por meio a eliminação dos efeitos da variação e do tamanho do lote de produção (GEORGE et al., 2005).

Reposição do Sistema Puxado – é um sistema de produção puxada no qual os processos precedentes (fornecedor) produzem apenas o suficiente para substituir ou repor a retirada do produto pelos processos seguintes (cliente) (LEAN ENTERPRISE INSTITUTE, 2008).

Balanceamento de Linha de Produção – é uma extensão ao mapeamento do fluxo de valor, onde um conjunto de etapas do processo é igualado, considerando-se o tempo necessário para execução de cada etapa do processo. Para balanceamento da linha utiliza-se o estudo dos tempos e o gráfico do tempo *takt* (GEORGE, 2002).

A filosofia Seis Sigma foi desenvolvida pelo engenheiro Bill Smith, em 1986, junto à Motorola, no intuito de diminuir o número de falhas de um produto, ainda dentro do seu período de garantia e de reduzir custos de qualidade (ANTONY; BANUELAS, 2002).

Segundo Harry e Schoroeder (2000), o programa de melhoria Seis Sigma nasceu e se desenvolveu em meados de 1980 na Motorola, nos Estados Unidos. Porém a raiz original do Seis Sigma foi encontrada no livro “*Quality is Free*” escrito por Crosby (1980), onde uma de suas contribuições para a gestão da qualidade foi o “defeito zero”, que é a filosofia seguida pelo Seis Sigma.

O conjunto de ações de melhoria chamado de programa Seis Sigma foi lançado oficialmente pela Motorola em 1987. No ano seguinte a empresa foi agraciada com o prêmio Nacional da Qualidade Malcolm Baldrige, tornando o Seis Sigma conhecido como o programa responsável pelo sucesso da organização. Com isso, outras empresas, como a Asea Brown Boveri, AlliedSignal, General Eletric, Kodak e Sony passaram a utilizar, com sucesso, o programa. E, assim, a divulgação dos enormes ganhos alcançados por elas, gerou um crescente interesse pelo Seis Sigma.

Segundo Bossert (2003), o Seis Sigma é primeiramente um programa para melhorar a capacidade de processos, usando ferramentas estatísticas para identificar, reduzir ou eliminar a variação dos processos.

Vasconcellos, Junior e Chap (2006) explicam que a origem do nome Seis Sigma vem da estatística. Seis Sigma significa que um processo apresenta uma pequena variabilidade, onde é possível alocar seis desvios padrões para cada lado da

média do processo, respeitando os limites de especificação, ou seja, as fronteiras da satisfação de um cliente quanto a um processo ou produto. Assim, qualquer variação no processo ou produto estará de acordo com as expectativas do cliente, desde que coincidam com os limites de especificação.

O Seis Sigma tem, como medida de desempenho e meta para a operação de processos, uma taxa de 3,4 falhas por milhão de atividades ou oportunidades. Dificilmente é atingida, mas o nome Seis Sigma extrapolou a esfera da pura estatística e passou a ser empregado para denominar toda uma estratégia de trabalho.

O Seis Sigma é uma estratégia que busca a satisfação dos clientes e menores custos pela redução da variabilidade e, conseqüentemente, dos defeitos. Werkema (2012b) acrescenta que esta definição é uma estratégia que tem como objetivo aumentar expressivamente o desempenho e a lucratividade das empresas.

Antony e Banuelas (2001), Bossert (2003), Vasconcellos, Junior e Chap (2006) e Werkema (2012b) concordam que o Seis Sigma é uma estratégia que visa buscar a redução da variabilidade nos processos, o aumento de lucratividade das empresas e, ao mesmo tempo, a satisfação dos clientes.

Para Werkema (2012a), apesar de as ferramentas do Seis Sigma não serem novidades, sua abordagem e sua forma de implementação são únicas e muito poderosas, o que explica o sucesso do programa. Garrido (2005) acrescenta que o enfoque do Seis Sigma agrega valor pela sua harmoniosa integração ao gerenciamento por processo e por diretrizes, mantendo o foco nos clientes, nos processos críticos e nos resultados da empresa.

Segundo Klefsjö, Wiklund e Edgerman (2001), o conteúdo do Seis Sigma varia de empresa para empresa, mas geralmente os programas apresentam as seguintes características:

- É uma abordagem *top-down*;
- É uma abordagem de alta disciplina que inclui cinco estágios: definir, medir, analisar, melhorar e controlar;

- É uma abordagem orientada por dados, fazendo um uso intensivo e severo de várias ferramentas estatísticas de decisão.

Conforme Werkema (2012a), o segredo do sucesso do Seis Sigma nas empresas está baseado em alguns aspectos, dos quais destacam-se:

- Benefícios Financeiros - mensuração dos benefícios do programa pelo aumento da lucratividade das empresas;
- Elevado comprometimento da alta administração das empresas;
- DMAIC – sequência de etapas estruturadas para alcance de metas utilizadas no Seis Sigma.

O Seis Sigma utiliza técnicas estatísticas seguindo os passos do DMAIC para estudo e análise dos dados coletados. A finalidade da utilização destas técnicas é a de encontrar as causas raízes dos problemas, eliminá-los ou minimizá-los e também mantê-los sob controle depois de efetuada a mudança (LUCAS, 2002).

A seguir, algumas técnicas que podem ser utilizadas nas análises Seis Sigma:

SIPOC – estuda a relação entre os processos existentes e as suas variáveis de entrada e saída. É utilizado com o intuito de mapear os processos que constituem o objeto estudado, enumerando todas as variáveis que afetam os processos e as suas saídas, que virão a se constituir nos fatores críticos de qualidade dos clientes (GEORGE, 2002).

Análise do Sistema de Medição (MSA – *Measurement System Analysis*) – determina se o sistema de medição pode gerar dados confiáveis e se essa confiabilidade é adequada para atingir os objetivos de melhoria (GEORGE et al., 2005).

Repetibilidade – refere-se à variabilidade inerente ao sistema de medição. Esta variação ocorre quando sucessivas medições são realizadas sob as mesmas condições: mesma pessoa, produto ou item, característica, instrumento, setup e as mesmas condições ambientais (GEORGE et al., 2005).

Reprodutibilidade – é a variação média de medições realizadas por diferentes operadores usando o mesmo instrumento e técnica, quando da realização da medição da mesma peça ou processo (GEORGE et al., 2005).

Plano de Coleta de Dados – é o planejamento de como os dados serão coletados e pode ser entendido como 5WIH – Who, What, Where, When, Why e How, ou em português, quem, o que, onde, quando e como medir os dados (WERKEMA, 2012a).

Gráfico de Controle – os gráficos de controle são utilizados para estudar a variabilidade de um objeto no decorrer do tempo. Ele é baseado nas especificações dos clientes (Limites de Controle Superior e Inferior) e demonstra o quanto a variável está sob controle. Para que uma variável esteja sob controle é necessário que ela varie no tempo dentro das especificações, ou seja, não ultrapasse os limites de qualidade colocados pelos clientes e varie de forma relativamente constante em torno da média (Costa; Epprecht; Carpinetti, 2004; George, 2002).

Capabilidade do Processo – avalia se um processo é capaz de gerar produtos que atendam as especificações provenientes dos clientes internos e externos (WERKEMA, 2012a).

Coeficiente de Potencial do Processo (Cp) – mede a capacidade de potencial de um processo, que é definida pela razão entre a dispersão permitida e a dispersão real. É utilizado para visualizar se um processo é capaz de atender às especificações propostas ou não. Por convenção, se um processo possui um Cp menor do que 1,0, ele é considerado incapaz de satisfazer as exigências. Quanto maior o Cp maior a capacidade do processo de atender as exigências das especificações (COSTA; EPPRECHT; CARPINETTI; 2004).

Coeficiente de Capacidade do Processo (Cpk) – mede a habilidade de o processo criar um produto dentro dos limites de especificação. Representa a diferença entre a média aritmética real do processo e o limite de especificação mais próximo, dividido por três vezes o desvio padrão. Com o Cpk é possível saber se a média da distribuição está centrada, ou não, de acordo com as exigências das especificações (COSTA; EPPRECHT; CARPINETTI; 2004).

Diagrama de *Ishikawa* – é utilizado para apresentar a relação entre o resultado de um processo (efeito) e os fatores (causas) que, por razões técnicas, possam afetar o resultado considerado. É empregado nas sessões de brainstorming realizadas nos trabalhos em grupo (WERKEMA, 2012a).

Matriz de Causa e Efeito (MCE) – matriz que busca analisar, por meio de pontuação, quais variáveis de entrada, provocam maiores efeitos sobre as variáveis de saída. A pontuação é dada pela equipe participante do estudo e são atribuídos pesos sobre as variáveis de saída que afetam o cliente, de forma a priorizar as que produzem uma maior percepção de não qualidade (GEORGE, 2002).

Anova – é uma técnica estatística para comparar várias amostras (3 ou mais) entre si, com o objetivo de verificar se alguma delas é estatisticamente diferente das outras. Esta ferramenta é utilizada para analisar as relações entre as variáveis de entrada e a variável de saída do processo (GEORGE, 2002).

Análise de Regressão – é uma técnica que processa as informações contidas nos dados de forma a gerar um modelo que represente o relacionamento entre as diversas variáveis de um processo. Esse processo nos permite determinar como as variáveis de entrada (Xs) devem ser alteradas para que alguma meta associada à variável de saída (Y) seja alcançada (WERKEMA, 2012a).

Teste de Hipóteses – é uma ferramenta que permite um processamento mais profundo das informações contidas nos dados, de modo que possam ser controlados, abaixo de valores máximos pré-estabelecidos, os erros que podem ser cometidos no estabelecimento das conclusões sobre as questões avaliadas (WERKEMA, 2012a).

DOE (*Design of Experiments*) – é uma ferramenta poderosa para entender e reduzir a variação em qualquer processo. É útil para encontrar o melhor ajuste para o processo, ou seja, aquele que produz o melhor resultado e o menor custo. Identifica e quantifica os fatores ou variáveis que têm o maior impacto na variável de saída do processo. Classifica uma grande quantidade de fatores para determinar os mais importantes entre eles. Reduz o tempo e o número de experimentos necessários para a realização de testes de múltiplos fatores (GEORGE et al., 2005).

FMEA (*Failure Mode and Effect Analysis*) – é uma ferramenta que tem como objetivo identificar, hierarquizar e prevenir as falhas potenciais de um produto ou processo. Suas principais utilizações são: identificação das variáveis críticas que podem afetar a qualidade de saída de um processo; avaliação dos riscos associados às falhas; auxílio para a elaboração de suposições sobre o tipo de relacionamento entre as variáveis de um processo; avaliação das prioridades para a coleta dos dados e realização de estudos quantitativos para a descoberta das causas fundamentais de um problema (WERKEMA, 2012a).

CEP (Controle Estatístico de Processo) – é uma técnica utilizada para monitorar a performance do processo. Os três principais componentes do CEP são: (1) Criar a Carta de Controle; (2) Isolar e remover as causas principais de variação do processo; (3) Instituir procedimentos para detectar e corrigir imediatamente problemas futuros (GEORGE et al., 2005).

A visão do *Lean Manufacturing* e do Seis Sigma trabalhando em um mesmo processo de melhoria teve seu possível início na década de 90, quando as empresas começaram a empregá-los de forma paralela e desagregada. Essa visão separada dos processos de melhoria começou a colapsar ambos, pois estes competem pelos mesmos recursos e possuem formas distintas de atuação (BOSSERT, 2003; SMITH, 2003).

Segundo Bossert (2003), algumas companhias adotam abordagens mais focalizadas, tratando cada programa de melhoria de forma diferente e única. Essa abordagem tende a criar alguns empecilhos, particularmente, relacionados com o tempo necessário para a solução dos problemas. Grupos de pessoas são puxados para direções diferentes, e estes, com recursos limitados, acabam sendo forçados a escolher uma ou outra abordagem.

Para George (2002), o *Lean Seis Sigma* combina a estratégia baseada em redução de desperdícios e conjuntos de soluções inerentes ao *Lean Manufacturing*, com o processo organizacional e as ferramentas analíticas do Seis Sigma. Como resultado da combinação dessas estratégias a empresa responde melhor, mais rápido e com menos desperdício aos clientes. Implementar as duas metodologias de

forma integrada - *Lean Seis Sigma* -, é uma tendência no mundo contemporâneo dos negócios.

Conforme Ha (2007), tanto o *Lean Manufacturing* quanto o Seis Sigma possuem um foco central, que tem sido a base para sua estrutura e ferramentas. O *Lean Manufacturing* é a entrega de valor para o cliente, através da eliminação de desperdícios, considerando-se o desperdício como algo que não agrega valor da perspectiva do cliente. No caso do Seis Sigma, o foco central é a eliminação de defeitos, o qual é definido, como uma parte ou serviço que não está conforme a especificação do cliente.

Para Pannell (2006), a verdade é que ambos, *Lean Manufacturing* e Seis Sigma, são poderosas ferramentas que se completam, sem competirem entre si. Para o autor, não é uma questão de decidir entre usar uma ou outra, pois adotar ambas as técnicas de forma integrada pode ser valioso em diferentes caminhos; e pode, ainda, ser essencial para uma completa estratégia de melhoria de desempenho da empresa em longo prazo.

Vários autores defendem que as duas iniciativas devem ser tratadas de forma integrada (GEORGE, 2002; PANNELL, 2006; WERKEMA, 2012b; ARNHEITER; MALEYEFF, 2005, BERTELS, 2006; FERNANDES; RAMOS, 2006).

Na opinião de Werkema (2012b), o *Lean Manufacturing* não conta com um programa de melhoria estruturado e profundo de solução de problemas, tampouco com ferramentas estatísticas para lidar com a variabilidade, aspectos que podem ser complementados pelo Seis Sigma. Já o Seis Sigma não enfatiza a melhoria da velocidade dos processos e a redução do lead time, aspectos que constituem o núcleo do *Lean Manufacturing*.

Segundo Arnheiter e Maleyeff (2005), empresas *Lean* podem ganhar com o Seis Sigma em um maior uso dos dados na tomada de decisão e também usar a metodologia para promover um enfoque mais científico na qualidade.

Os pontos fortes do Seis Sigma e do *Lean*, que apontam as oportunidades de complementaridade dos programas, são apresentados na Figura 2:

Seis Sigma	Lean Manufacturing
1. Emprego de métodos estruturados para o alcance de metas: DMAIC e DMADV.	1. Tendência para a ação imediata no caso da solução de problemas de escopo restrito e de baixa complexidade, por meio dos eventos Kaizen.
2. Utilização, para a análise de dados, de estatísticas poderosas, que auxiliem a solução de problemas complexos.	2. Utilização de técnicas simples para análise de dados durante os eventos Kaizen.
3. Busca da redução da variabilidade.	3. Busca da redução do lead time e do trabalho em processo.
4. Ênfase na redução de custos e de defeitos definidos pelos clientes.	4. Ênfase na maximização da velocidade dos processos.
5. Seleção de projetos associados às metas estratégicas da empresa.	5. Seleção de projetos estratégicos identificados pelo Mapeamento do Fluxo de Valor e também de projetos de interesse exclusivo para alguma área da empresa.
6. Foco na melhoria de produtos (Design for Seis Sigma - DFSS) e não apenas na melhoria de processos.	
7. Mensuração direta do retorno financeiro gerado pelo programa.	
8. Infra-estrutura de patrocinadores e especialistas (Sponsors, Champions e "Belts").	
9. Elevada dedicação dos especialistas.	
10. Envolvimento de todas as pessoas da empresa, nos diferentes níveis de profundamento do programa (Black Belts, Green Belts, Yellow Belts, White Belts), como responsáveis por conhecer e implementar seus conceitos e sua metodologia.	
11. Processos de contratação, treinamento, promoção, reconhecimento e recompensa refletindo e incentivando a consolidação da cultura Seis Sigma (por exemplo, exigência de no mínimo, certificação Green Belt para o exercício de cargos gerenciais).	

Figura 2– Pontos fortes do Seis Sigma e *Lean Manufacturing*

Fonte: Werkema (2012b)

Arnheiter e Maleyeff (2005) entendem que uma abordagem integrada supera as limitações de cada processo implementado separadamente. Esses autores

destacam três contribuições do *Lean Manufacturing* e três contribuições do Seis Sigma para o *Lean Seis Sigma*.

Por parte do *Lean Manufacturing*: (1) Poderia incorporar a filosofia vigente que procura maximizar o valor agregado presente em todas as operações; (2) Poderia avaliar constantemente os processos de forma a garantir que eles resultem em uma otimização global ao invés de uma otimização local; (3) Poderia incorporar um processo de gerenciamento de tomada de decisão que baseia toda a decisão no impacto relativo ao cliente.

Por parte do Seis Sigma: (1) Poderia alocar métodos direcionados por dados em todas as tomadas de decisão, de forma que as mudanças possuam bases científicas; (2) Poderia utilizar métodos que promovam a minimização da variação das características de qualidade; (3) Poderia projetar e implementar um regimento de educação e treinamento corporativo altamente estruturado.

A Figura 3 ilustra como o *Seis Sigma* e o *Lean Manufacturing*, podem contribuir conjuntamente, para a melhoria dos processos produtivos ou transacionais dentro das empresas. Os dados utilizados na figura são meramente exemplificativos. A curva à esquerda mostra como o *Seis Sigma* pode agir para a redução da variação do processo, inicialmente, de 8 a 20 dias para de 0 a 4 dias. E a curva à direita exemplifica como o *Lean Manufacturing* pode contribuir para redução do tempo médio de entrega do processo, de 14 para 2 dias.

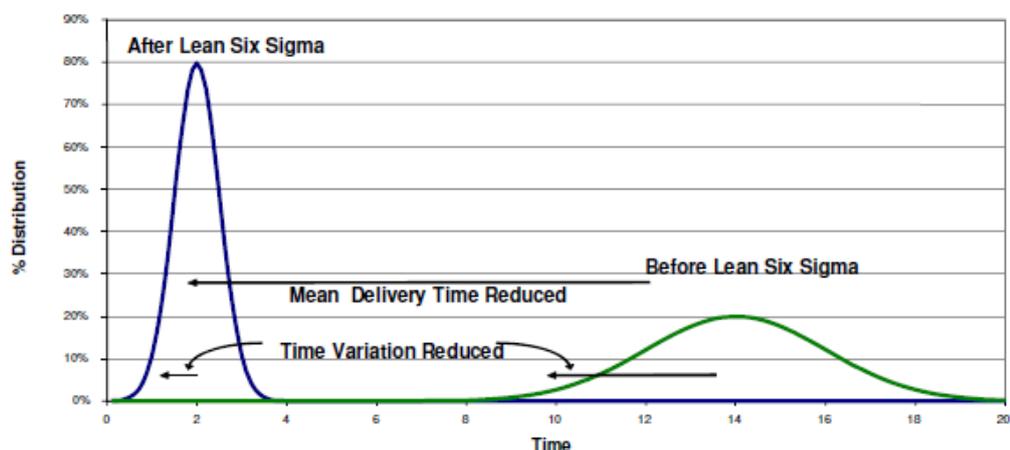


Figura 3– Resultados da contribuição do *Lean* e Seis Sigma usados conjuntamente

Fonte: Adaptado de George (2002)

Para Arnheiter e Maleyeff (2005), o Seis Sigma e o *Lean Manufacturing* têm se desenvolvido em um sistema abrangente de gerenciamento. Em cada caso, a implementação efetiva deles envolve mudanças culturais nas organizações, novas abordagens para a produção e para o serviço ao cliente e um alto grau de treinamento e educação dos empregados, que vem de um bom gerenciamento do chão de fábrica.

As leis do *Lean Seis Sigma*, adaptadas de George (2002), podem ser expressas por:

- Lei zero ou a Lei do Mercado – os defeitos críticos para a qualidade do cliente são sempre a prioridade mais alta;
- Primeira Lei ou a Lei da Flexibilidade – a velocidade do processo é diretamente proporcional à flexibilidade;
- Segunda Lei ou a Lei do Enfoque – 20% das atividades causam 80% dos atrasos num dado processo;
- Terceira Lei ou a Lei da Velocidade – a velocidade de um dado processo é inversamente proporcional à variação do abastecimento e demanda e ao número de itens no processo.

2.3 APLICAÇÃO DO DMAIC

O melhor caminho para entregar uma oportunidade é quase sempre seguir uma sequência estruturada de etapas que gerencia as oportunidades desde a definição do problema até a implementação da solução, e um dos modelos mais amplamente usado para as melhorias é o DMAIC (GEORGE, 2002).

O *Seis Sigma* implementa a gestão dos projetos através da integração do DMAIC. Para Cheng (2006), a integração do DMAIC une ferramentas chaves da Estatística, define tópicos do *Seis Sigma* e então mede, analisa, implementa e controla a sequência de melhorias de processo.

Já o *Lean Manufacturing* segue os cinco princípios sintetizados por Womack e Jones (2004a): especificar o valor; identificar o fluxo de valor; criar fluxos contínuos; operar com base na produção puxada; buscar a perfeição.

Segundo Carvalho (2007 apud FENANDES, 2008), o primeiro passo para a integração do *Lean* com o Seis Sigma é garantir o ajuste de ambas as filosofias e seus conjuntos de ferramentas em um único método. O DMAIC pode ser usado em qualquer tipo de problema, seja ele com características voltadas ao *Lean Manufacturing* ou ao Seis Sigma. O fator mais importante é utilizar as ferramentas adequadas em cada uma das fases, independente do tipo de processo a ser melhorado.

A Figura 4 demonstra a utilização do DMAIC no programa *Lean Seis Sigma* em que é possível utilizar tanto ferramentas inerentes ao *Lean* quanto ao *Seis Sigma*. Os conceitos destas ferramentas e técnicas estão apresentados nas seções 2.1 e 2.2 deste trabalho. A coluna nomeada como “Fases”, apresenta as fases do DMAIC, a coluna “Entregas” identifica o que precisa ser alcançado ou entregue ao final de cada uma delas, e a coluna “Principais Ferramentas” identifica as principais ferramentas utilizadas nas fases do DMAIC.

Fases	<i>Lean Seis Sigma</i>			
	<i>Lean</i>		Seis Sigma	
	Entregas	Principais Ferramentas	Entregas	Principais Ferramentas
Define (Definir)	Definição do Problema (Dor)	Voz do Cliente (Identificar as necessidades do cliente para a definição do Problema)	Definição do Problema (Dor)	Voz do Cliente (Identificar as necessidades do cliente para a definição do Problema)
Measure (Medir)	Mapeamento de Valor Estado Atual	Mapeamento do Fluxo de Valor (VSM - Value Stream Map)	Base Line	Análise do Sistema de Medição, Plano de Coleta de Dados, Gráfico de Controle, Análise de capacidade do processo
Analyze (Analisar)	Identificação de fontes de Desperdícios	Tempo de Agregação de Valor (TAV) / Lead Time (LT) / Eficiência do Ciclo do Processo (PCE - Process Cycle Efficiency)	Causa Raiz	Diagrama de Ishikawa, Matriz Causa Efeito / Carta de Controle/ Gráficos estatísticos / Anova/ Análise de Regressão
Improve (Melhorar)	Otimização Mapa de Valor	Redução de Set up / Análise do PCE / Balanceamento de Linha de Produção / Sistemas Puxados Genéricos/ Reposição do Sistema Puxado	Desenvolvimento de Soluções	FMEA (análise de efeitos e modos de falhas) / Teste de Hipótese / Capacidade de Processo / Gráficos Estatísticos
Control (Controlar)	Sistemas de Controle	Kanban (sistema de reposição de estoques) / Poka-Yoke (sistema a prova de erros) / Andon	Sistemas de Controle	FMEA (Análise das possíveis falhas do processo) / CEP (Controle estatístico do processo)

Figura 4– Resumo do *Lean Seis Sigma*

Fonte: Carvalho (2007 apud Fernandes 2008)

A base de um projeto *Lean Seis Sigma* é o uso das fases do DMAIC: Definir, Medir, Analisar, Melhorar e Controlar. George (2002) descreve as fases do ciclo DMAIC, conforme segue:

- Definir - confirmar a oportunidade e definir as fronteiras e os objetivos de um projeto;
- Medir - obter os dados para estabelecer o “estado atual”, o que está realmente acontecendo no local de trabalho com o processo e como ele funciona hoje;

- Analisar - interpretar os dados para estabelecer a relação entre causa e efeito;
- Melhorar - desenvolver as soluções para os problemas e confirmar as causas;
- Controlar - implementar procedimentos para assegurar as melhorias e sustentar os ganhos.

Cada uma das fases do DMAIC passa por um evento formal de aprovação ou reprovação de um projeto, chamado de *gate review*. Para Amado e Rozenfeld (2006), o encadeamento das etapas, no qual a etapa seguinte só deve começar quando a anterior já estiver encerrada, permite uma compreensão melhor dos processos, facilitando o caminho para a obtenção da resolução dos problemas ou melhoria dos processos.

A resolução de problemas através do DMAIC evita julgamentos precipitados ou errôneos que bloqueiam a identificação da verdadeira causa, o que gera um procedimento não efetivo (não corretivo ou de melhoria), possibilitando o aparecimento, no futuro, dos mesmos problemas.

Colocam-se, a partir deste momento, as ferramentas da qualidade utilizadas na pesquisa, as quais a ser apresentado com o objetivo de contribuir com as informações necessárias à compreensão do método DMAIC: Diagrama de Causa e Efeito, Gráfico de Pareto, 5W e 2 H,

O Diagrama de Causa e Efeito refere-se a uma ferramenta criada e desenvolvida por Kaoru Ishikawa, a qual também recebe a denominação de Diagrama de Espinha de Peixe, ou, ainda, Diagrama 6 M. Trata-se de uma técnica simples e eficaz na enumeração das possíveis causas de um determinado problema. Essas causas são agrupadas em famílias para facilitar a análise, sendo relacionadas com o efeito causado de forma visual e clara.

Veja-se a representação efetuada por meio da Figura 5:

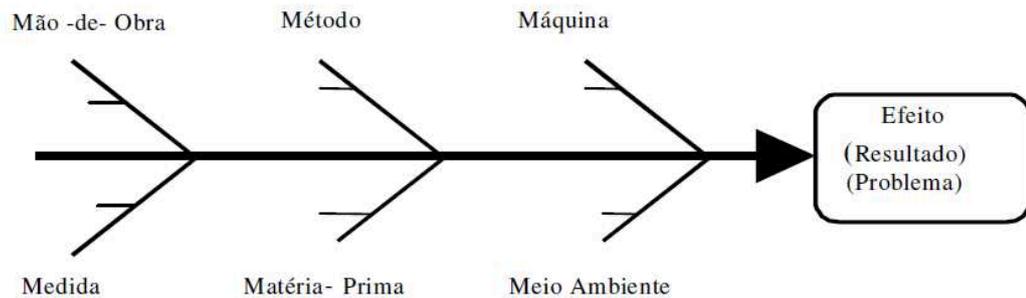


Figura 5 - Representação gráfica do diagrama de causa e efeito

Fonte: Campos (1999)

Para Werkema (2012a) na etapa Define (Definir) do DMAIC é importante identificar os principais clientes/consumidores do projeto e incorporar informações geradas por procedimentos utilizados para avaliar as necessidades desses clientes/consumidores. Essas informações são usadas com os seguintes objetivos:

- Garantir que o problema e a meta, já definidos, estejam realmente relacionados as questões prioritárias para a satisfação dos clientes/consumidores;
- Enfatizar a importância de se manter sempre o foco na satisfação dos clientes/consumidores, mesmo que o projeto tenha como objetivo principal a melhoria de resultados que afetem mais diretamente outros beneficiários da empresa;
- Assegurar que não sejam implementadas medidas prejudiciais às relações da empresa com seus clientes/consumidores.

Também deve ser utilizado um diagrama que tem como objetivo definir o principal processo envolvido no projeto e, conseqüentemente, facilitar a visualização do escopo do trabalho.

Esse diagrama é denominado SIPOC, Figura 6. A denominação SIPOC resulta das iniciais, em inglês, dos cinco elementos presentes no diagrama: fornecedores (Suppliers), insumos (Inputs), processo (Process), produtos (Outputs) e consumidores (Customers).



Figura 6 – Exemplo de SIPOC

Fonte: (WERKEMA, 2012a)

A escala sigma do processo pode ser calculada pela conversão do índice de defeitos por milhão de oportunidades (DPMO). Segundo Werkema (2012a) a equação 01 apresenta o modelo utilizado para o cálculo do DPMO, como mostra na Figura 7:

$$DPMO = \frac{N^{\circ} \text{ de defeitos encontrados}}{N^{\circ} \text{ total de unidades} \times N^{\circ} \text{ de oportunidades de defeito}} \times 10^6$$

Figura 7 – Cálculo do DPMO

O valor de DPMO, obtido deve ser substituído na tabela de conversão para a Escala Sigma (Tabela 1), de modo que seja possível identificar o nível sigma do processo.

Tabela 1 – Tabela de conversão para a Escala Sigma

Escala Sigma	DPMO	Escala Sigma	DPMO	Escala Sigma	DPMO	Escala Sigma	DPMO	Escala Sigma	DPMO
0,00	933.193	1,20	617.912	2,40	184.060	3,60	17.865	4,80	483
0,05	926.471	1,25	598.706	2,45	171.056	3,65	15.778	4,85	404
0,10	919.243	1,30	579.260	2,50	158.655	3,70	13.904	4,90	337
0,15	911.492	1,35	559.618	2,55	146.859	3,75	12.225	4,95	280
0,20	903.199	1,40	539.828	2,60	135.666	3,80	10.724	5,00	233
0,25	894.350	1,45	519.939	2,65	125.072	3,85	9.387	5,05	193
0,30	884.930	1,50	500.000	2,70	115.070	3,90	8.198	5,10	159
0,35	874.928	1,55	480.061	2,75	105.650	3,95	7.143	5,15	131
0,40	864.334	1,60	460.172	2,80	96.800	4,00	6.210	5,20	108
0,45	853.141	1,65	440.382	2,85	88.508	4,05	5.386	5,25	89
0,50	841.345	1,70	420.740	2,90	80.757	4,10	4.661	5,30	72
0,55	828.944	1,75	401.294	2,95	73.529	4,15	4.024	5,35	59
0,60	815.940	1,80	382.088	3,00	66.807	4,20	3.467	5,40	48
0,65	802.338	1,85	363.169	3,05	60.571	4,25	2.980	5,45	39
0,70	788.145	1,90	344.578	3,10	54.799	4,30	2.555	5,50	32
0,75	773.373	1,95	326.355	3,15	49.471	4,35	2.186	5,55	26
0,80	758.036	2,00	308.537	3,20	44.565	4,40	1.866	5,60	21
0,85	742.154	2,05	291.160	3,25	40.059	4,45	1.589	5,65	17
0,90	725.747	2,10	274.253	3,30	35.930	4,50	1.350	5,70	13
0,95	708.840	2,15	257.846	3,35	32.157	4,55	1.144	5,75	11
1,00	691.463	2,20	241.964	3,40	28.717	4,60	968	5,80	9
1,05	673.645	2,25	226.627	3,45	25.588	4,65	816	5,85	7
1,10	655.422	2,30	211.856	3,50	22.750	4,70	687	5,90	5
1,15	636.831	2,35	197.663	3,55	20.182	4,75	577	5,95	4
								6,00	3

Fonte: Adaptado de HARRY e SCHROEDER (2000)

A Carta de Controle, mostrada na Figura 8, é uma ferramenta que dispõe os dados do fenômeno que está sendo analisado de modo a permitir a visualização do tipo de variação desse fenômeno: variação natural (típica) ou variação especial (atípica) (WERKEMA, 2012a).

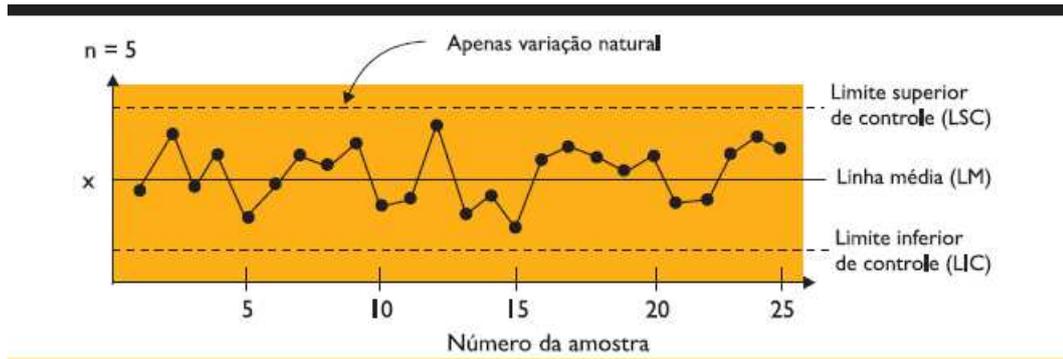


Figura 8 – Carta de controle

Fonte: (WERKEMA, 2012a)

Para Werkema (2012a), o Diagrama de Pareto mostrado na Figura 9 é um gráfico de barras verticais que dispõe a informação de modo a tornar evidente e visual a estratificação e a priorização de um fenômeno, além de permitir o estabelecimento de metas específicas.

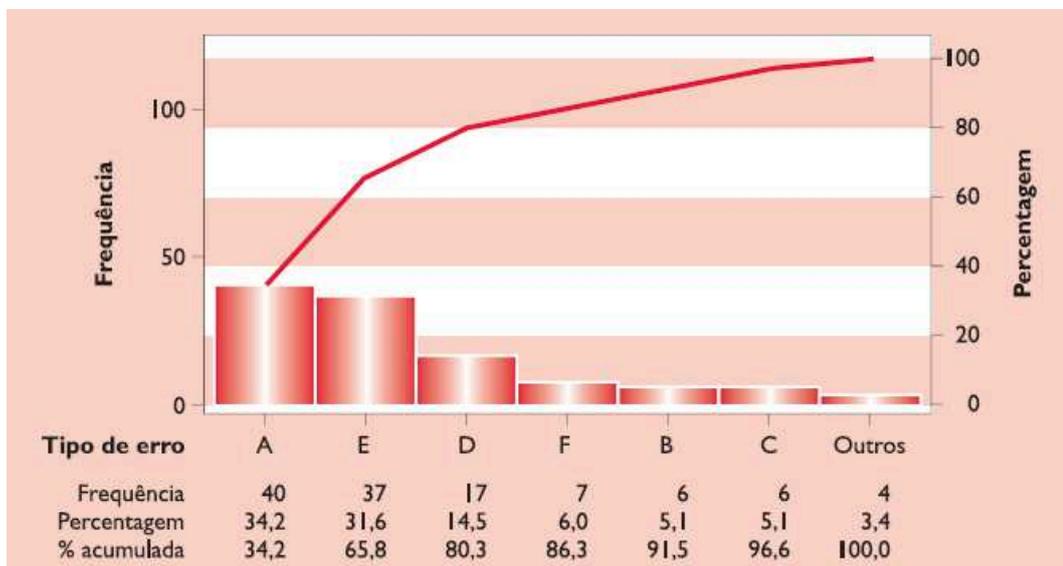


Figura 9 – Exemplo de Diagrama de Pareto

Fonte: (WERKEMA, 2012a)

O 5W2H apresentado na Figura 10 tem o objetivo de definir, para a estratégia de ação elaborada, os seguintes itens: o que será feito (What); quando será feito (When); quem fará (Who); onde será feito (Where); por que será feito (Why); como será feito (How); quanto custará o que será feito (How much) (WERKEMA, 2012a).

5W2H

Medida WHAT	Responsável WHO	Prazo WHEN	Local WHERE	Razão WHY	Procedimento HOW	Custo HOW MUCH
1. Elaborar a estória a ser relatada.	Ana e Lilian	07/10/11	Respectivas residências	Para evitar futuras contradições	Conversa telefônica	Custo da ligação telefônica
2. Relatar a estória.	Ana	09/10/11	Gerência comercial		
3.			

Figura 10 – Exemplo de 5W2H

Fonte: (WERKEMA, 2012a)

Para Werkema (2012a) a Matriz de Priorização apresentado correlaciona as saídas do processo (medidas associadas aos problemas prioritários e a outros resultados importantes) às entradas e outras variáveis do mesmo (causas potenciais dos problemas prioritários), como demonstra o exemplo da Figura 11.

		Problema prioritário			Total
		Atraso no tempo entre a chegada do material ao porto e o desembarço, decorrente da variação natural do processo de importação de polímeros por transporte marítimo.	Atraso no tempo entre a emissão do pedido e o embarque, decorrente da variação natural do processo de importação de polímeros por transporte marítimo.	Falta de ordem de fabricação de reagentes.	
Peso (5 a 10)		9	8	10	
Causa potencial	Tempo elevado de preparação da carga pelos fornecedores.	0	5	0	40
	Mudanças freqüentes no roteiro de viagem feitas pelos fornecedores, sem comunicar à empresa.	5	5	0	85
	Deficiências do software utilizado na programação da produção.	1	0	5	59
	Falta de treinamento das pessoas que trabalham em áreas administrativas da empresa.	3	0	3	57
	Falhas nos registros de controle de estoques de matérias-primas usadas na fabricação de reagentes.	0	0	5	50

Legenda: 5 - Correlação forte 3 - Correlação moderada 1 - Correlação fraca 0 - Correlação ausente

Figura 11 – Exemplo matriz de priorização

Fonte: (WERKEMA, 2012a)

2.4 PARADAS NÃO PROGRAMADAS NA MOLDAGEM POR INJEÇÃO

Na moldagem por injeção, um polímero em forma de grânulos é fundido, ou, mais corretamente, levado a estado pastoso, para depois ser forçado, sob pressão de um pistão, para dentro de um molde; ainda dentro do molde, a peça moldada é resfriada abaixo da temperatura de amolecimento do termoplástico; o molde é então aberto e a peça moldada é extraída (BLASS, A., 1988).

O processo de moldagem é intermitente, ou seja, após cada peça ser extraída do molde, um novo ciclo já teve início. Dessa forma, o processo é composto pelas etapas de alimentação, plastificação (homogeneização), enchimento do molde, resfriamento, abertura do molde e extração da peça, as quais serão detalhadas mais adiante.

A moldagem por injeção é o método mais utilizado para a transformação de termoplásticos em artigos para uso final, estimando-se que cerca de 35% dos artigos plásticos sejam produzidos por este processo.

Atualmente, a moldagem por injeção tem sido muito utilizada, tanto no cenário da indústria nacional, como internacional, uma vez que o processo tem sido avaliado como simples, rápido e preciso.

São inúmeros os fabricantes e tipos de máquinas para a injeção de plásticos, indo das mais simples até as mais complexas, que são controladas por computadores; desde as pequenas, usadas na produção de um minúsculo conector elétrico, por exemplo, até as maiores, utilizadas na produção de um para-choque de automóvel.

O enorme crescimento do processo de injeção reflete-se nos diversos tipos e tamanhos de máquinas existentes no mercado. Injetoras são, em regra geral, máquinas universais; sua função abrange a produção descontinuada de peças, preferencialmente a partir de fundidos macromoleculares, apesar de a moldagem ocorrer sob pressão. As maioria das estratégias utilizadas para a minimização do número de peças produzidas com defeitos, já adota a lógica “fuzzy”, que determina os parâmetros de processo de injeção (TAN, YUEN, 2004).

A máquina de injeção, de maneira geral, é constituída pelos seguintes partes:

a) Unidade de Injeção

Nesta unidade o plástico é fundido, homogeneizado transportado, dosado e injetado no molde. A unidade de injeção possui as funções de injeção e plastificação do material plástico.

Atualmente é comum o uso de máquinas com rosca, que também serve de êmbolo de injeção. Estas tem se mostrado mais eficientes do que as injetoras de pistão no processo de plastificação das resinas termoplásticas.

A rosca dosadora, alimentada por um funil, gira em um cilindro aquecido, empurrando o material para o bico de injeção. O conjunto composto pela rosca dosadora e pelo bico de injeção deve ser compatível com o material a ser processado e, também, com o volume da injeção.

O cilindro de injeção é constituído por um tubo de aço robusto, capaz de suportar a pressão necessária para a injeção. Geralmente é envolvido e aquecido por resistências elétricas; o calor gerado pelo sistema de aquecimento é conduzido através das paredes do cilindro e rosca dosadora, os quais fundirão o material polimérico, a fim de que este possa ser injetado de forma homogênea no molde.

O aquecimento do cilindro, geralmente, é realizado por partes, ou seja, em zonas de temperaturas controladas individualmente para obter fusão gradativa do material e maior homogeneidade do fundido.

Pelo menos três zonas de aquecimento devem ser controladas individualmente, com preferência ao tipo proporcional, ou controles de temperatura convencionais. A temperatura na extremidade do cilindro (bico), deverá ser controlada separadamente, por pirômetro ou reostato.

2.4.1 Máquinas Injetoras por moldagem

Para Zheng et al. (2011), a história da máquina de moldagem por injeção, apresentado na Figura 12, (injetora) inicia-se em 1872, com a patente dada aos irmãos Hyatt. Essa máquina continha um êmbolo básico para injetar o plástico em

um molde através de um cilindro aquecido. O grupo injetor foi substituído por um parafuso a partir de 1946. Desde então, várias melhorias levaram para o alternativo parafuso de moldagem por injeção, tal como vemos nas máquinas usadas atualmente. As máquinas modernas consistem em duas unidades distintas: uma unidade de injeção, constituída por um funil, um parafuso rotativo e um tambor aquecido e uma unidade de fixação, contendo o molde que normalmente é feito de duas metades.

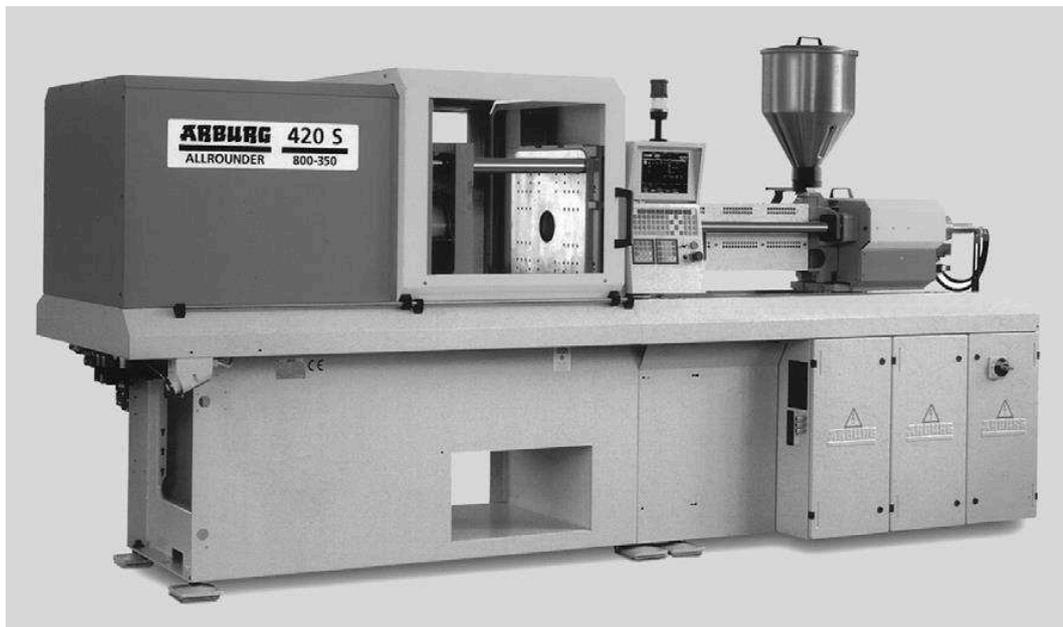


Figura 12 – Máquina injetora

Fonte: (MICHAELI, GREIF, *et al.*, 2001)

Normalmente as injetoras possuem diversos recursos para a regulação dos parâmetros do processo. Deve possuir um bom controle do torque da rosca, controle automático do preenchimento e pressurização do molde. Isso é conseguido por meio do monitoramento contínuo da viscosidade da massa fundida.

As principais regulagens dos parâmetros de processo estão relacionadas às temperaturas da máquina, isto é, ao resfriamento do molde, das zonas do cilindro, bico de injeção e dos canais quentes do molde; às pressões de preenchimento, de recalque, de fechamento e de retorno da rosca, às velocidades da injeção e da rotação da rosca, entre outras.

A Figura 13 apresenta o modelo para um ciclo completo de funcionamento de uma moldagem por injeção.

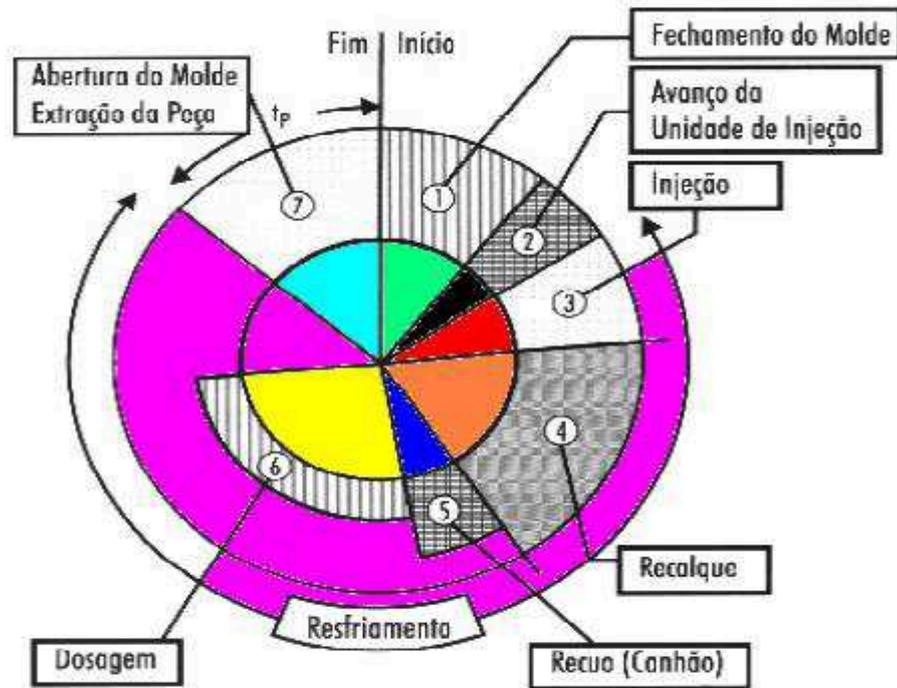


Figura 13 – Ciclo completo de injeção

Fonte: (MICHAELI, GREIF, *et al.*, 2001)

2.4.2 Moldes para injeção

Um molde é constituído de, no mínimo, duas partes. Uma é instalada na parte fixa e a outra na parte móvel da máquina injetora. Possui colunas e buchas, que direcionam o fechamento e travamento perfeito. O alinhamento das duas partes é fundamental, evitando-se assim qualquer vazamento do plástico durante a injeção sob alta pressão na cavidade (HARADA; UEKI, 2012).

A tecnologia empregada nos moldes é cada vez mais avançada, evitando a frequente intervenção do operador. Um dos exemplos disso, é o controle do peso da peça injetada através da instalação de um transdutor linear, montado no lado externo do molde, afim de monitorar o momento da separação de gavetas e as placas das

cavidades, que está relacionado com o tempo de compactação do material dentro da cavidade (CHEN, TURNG,2005).

Antes de iniciar o processo de injeção, o molde deve estar fechado e vazio para que ocorra o seu preenchimento com o polímero fundido, sendo que o resfriamento é iniciado logo após o polímero entrar nos canais do molde. Tão logo o molde esteja totalmente preenchido e pressurizado, ocorre a pressão de recalque ou compensação. Concluída a pressão de recalque, o molde permanece fechado para terminar o resfriamento, que é a etapa de maior duração e, quando encerrada, o molde se abre extraindo a peça. Na sequência, o molde se fecha e tem início um novo o ciclo.

Na Figura 14 podemos observar um molde injeção plástica por moldagem com componentes A e B.

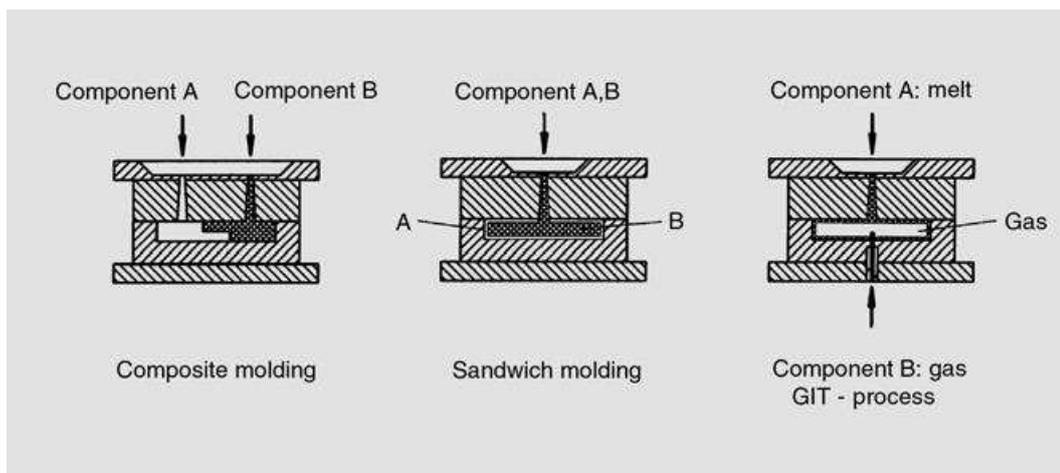


Figura 14 – Molde de injeção plástica

Fonte: (MICHAELI, GREIF, *et al.*, 2001)

2.4.3 Controle do processo de injeção

Os parâmetros relacionados com o processo de injeção são determinados em função do tipo de material, molde, características da máquina e todas as suas variáveis, pois cada máquina possui características próprias, como limites de pressões, torque para o giro da rosca, entre outras; e os materiais poliméricos também possuem características próprias, podendo variar de acordo com o lote, fornecedor, aditivos e contaminações existentes.

O molde pode ser projetado para um tipo de material ou tipo de máquina injetora, e dependendo do projeto do molde (com canais quentes, com injeção a gás, com mais de uma cavidade, com duas ou três placas), possibilita a produção de peças com propriedades diferenciadas. O desenho do produto influencia nos parâmetros do processo e no comportamento mecânico, pois a peça pode apresentar parede fina, grossa, variável, ou possuir nervuras, e os parâmetros podem ser controlados através da utilização de um determinado molde, injetora e material específico (MANRICH, 2002).

Os parâmetros de injeção interferem na qualidade do produto final. Entre os principais parâmetros que alteram as propriedades do material injetado estão a contrapressão da rosca durante a plastificação do polímero, a dosagem de material, a temperatura, a homogeneidade do polímero fundido, a velocidade ou gradiente de velocidades de injeção, a pressão de injeção (comutação), a pressão e o tempo de recalque, a temperatura do molde, a homogeneidade da temperatura do fluido refrigerante do molde, o tempo de resfriamento e o tratamento do produto após extração.

3 METODOLOGIA

Esta pesquisa privilegiou a abordagem de caráter quantitativo, uma vez que utilizou dados quantificáveis e a descrição matemática das variáveis, bem como as relações existentes entre as mesmas.

A pesquisa-ação foi o método adotado para este estudo, o qual se propõe a verificar se a implementação do *Lean Seis Sigma* na produção de embalagens plásticas reduz as paradas não programadas.

Assim, a pesquisa-ação mostra-se, por suas características, como um método adequado a este estudo. São essas as características: o processo de pesquisa constitui-se em aprendizagem para todos os envolvidos; não existe separação entre sujeito e objeto de pesquisa; os dados e resultados obtidos podem ser úteis aos clientes; e o pesquisador intervém numa situação com o objetivo de verificar se novos procedimentos são eficazes ou não.

A pesquisa documental, mostrou-se como uma estratégia importante durante a etapa de coleta de dados, uma vez que ofereceu relevante contribuição ao estudo, especialmente no que tange à sua precisão e confiabilidade.

Os dados obtidos foram tabulados em planilhas eletrônicas. O software Minitab®17 foi a ferramenta adotada para a elaboração das cartas ou gráficos de controle e diagrama de causa e efeito.

3.1 ROTEIRO PARA OBTENÇÃO DOS DADOS

Visando a resolução do problema, foram cumpridas as seguintes etapas:

1. Definição da linha de base: definiu-se a linha de base através da coleta dos dados de paradas não programadas, referente ao período de janeiro a dezembro de 2014.
2. Formação do time de trabalho: o time de trabalho foi formado por um especialista na metodologia *Lean Seis Sigma*, um representante da produção, um técnico processo, um mecânico e o líder do projeto.

3. Elaboração do *Project Charter* que contém informações importantes para a condução e execução do projeto LSS, como título do projeto, patrocinador, líder, equipe, definição clara do problema, necessidade de investimentos, impacto no negócio, indicadores, metas e delimitações do projeto.
4. Definição da Voz do cliente para identificar os clientes do processo que será melhorado e as exigências. Foram considerados os clientes, externos (indivíduos ou organizações fora do seu negócio), e os internos (áreas dentro da empresa que recebem produtos, serviços, apoio ou informação do seu processo, tais como engenharia, manufatura, qualidade, marketing, finanças, segurança, vendas, aquisição, gerenciamento, acionistas, etc) e reguladores (qualquer órgão governamental que tenha padrões aos quais o processo ou o produto deva estar em conformidade).
5. Mapeamento do processo para definir o principal processo envolvido no projeto e, conseqüentemente, facilitar a visualização do escopo do trabalho. Esse diagrama é denominado SIPOC - *Suppliers* (fornecedores), *Inputs* (entradas), *Process* (processo), *Outputs* (saídas), *Customers* (clientes).
6. Revisão dos passos chaves da fase Definir.
7. No mapeamento de processo foi levantado do processo em análise: o tempo de ciclo (C/T), o tempo de change over (C/O), de uptime, de turnos e do índice de paradas não programadas (Y).
8. Construção do diagrama de causa e efeito, colocando as principais causas para ocorrências, ou seja, as entradas do processo.
9. Calcular o DPMO, por onde foi calculado o nível sigma e os defeitos por milhão de oportunidades.
10. Analisar o sistema de medição, para conhecer melhor as fontes de variação que podem influenciar os resultados produzidos pelo processo em investigação e determinar se o sistema pode gerar dados com acuracidade adequada para alcançar os objetivos do projeto LSS.

11. Elaborar a carta de controle para estabelecer uma referência de medição contra a qual podemos medir os melhoramentos alcançados pelo projeto LSS. Uma parte chave da etapa Medir é identificar os problemas do processo para um melhoramento futuro.
12. Revisar os passos chaves da fase Medir.
13. Identificar as causas raízes e interpretar os dados para estabelecer a relação entre causa e efeito. Nesta etapa foi utilizada a ferramenta Matriz Causa e Efeito (MCE), que possibilita, através das variáveis de entrada do processo, estabelecer quais delas são as mais críticas, ou que têm maior impacto no processo.
14. Elaborar os gráficos de Pareto para as causas prioritárias.
15. Revisar os passos chaves da fase Analisar.
16. A primeira ação na etapa Melhorar foi definir quais poderiam ser as possíveis soluções ao problema.
17. Implementar as potenciais soluções encontradas para as causas prioritárias e controlar seu impacto para redução das paradas não programadas.
18. Calcular o índice DPMO, nível Sigma e índice de paradas não programadas após as implementações.
19. Revisar os passos chaves da fase Melhorar.
20. Elaborar o monitoramento do processo através da implementação de indicadores e plano de controle para manter os ganhos a longo prazo.
21. Revisar procedimentos internos para adequação da alteração do processo perante a ISO9001.
22. Revisar os passos chaves da fase Controlar.

4 RESULTADOS E DISCUSSÃO

4.1 ETAPA *DEFINE* (DEFINIR)

Nesta etapa foram utilizadas as ferramentas *Project Charter* para a definição dos objetivos, escopo e impacto financeiro. A Voz do Cliente foi adotada para identificar os clientes do processo que serão melhorados e as exigências críticas desses clientes, uma vez que essas exigências auxiliam na validação do *Project Charter* e na declaração do problema; o mapeamento do processo pelo SIPOC também foi utilizado e teve a finalidade de definir o principal processo envolvido no projeto LSS e, conseqüentemente, facilitar a visualização do escopo de trabalho.

4.1.1 Project Charter

O *Project Charter*, representado pela Figura 15, contém informações importantes para a condução e execução do projeto LSS, como título do projeto, patrocinador, líder, equipe, definição clara do problema, necessidade de investimentos, impacto no negócio, indicadores, metas e delimitações do projeto.

Através do *Project Charter* é estabelecido um compromisso entre a equipe responsável pela condução do projeto e os gestores da empresa.

<i>Project Charter</i>
<p>Título: Reduzir horas de paradas não programadas no processo injeção plástica da empresa Patrocinador: Diretor da planta Black Belt ou Green Belt: Helton Mota Pereira Equipe: um integrante da produção, um da manutenção, um analista da qualidade e um técnico de processo</p>
<p>1 - VOC: Perdas de produção por paradas não programadas gerando atrasos e horas extras</p>
<p>2 - Oportunidade/Definição do Problema: O que está acontecendo? No processo de injeção plástica, as paradas não programadas são apontadas pela produção como um dos maiores problemas na rotina de trabalho, invalidando o planejamento para as operações diárias.</p> <p>Em 2014, o índice médio de paradas não programadas foi de 6,48%, contra 5,51% em 2013. O problema vem apresentando uma tendência para o agravamento e o número de reclamações dos clientes e de devoluções de produtos vem aumentando drasticamente (gráficos sequenciais anexos a este formulário).</p>

Além disso, a empresa arrisca-se a perder uma parte significativa de seu marketshare, em consequência da insatisfação dos clientes.

3- Relação com os Objetivos Chave do Plano de Negócios:

A empresa deixará de ter prejuízos decorrentes das paradas não programadas, dos custos adicionais para entrega rápida e dos gastos com horas-extras de funcionários (para recuperação de produções perdidas, na tentativa de cumprir o prazo de entrega). O aumento da satisfação dos clientes será fundamental para que a organização possa manter ou ganhar marketshare.

4 - Definição do Defeito / CTQ (mensurável):

Índice de paradas não programadas

5 - Definição do Escopo do Projeto:

O escopo do projeto é o processo de moldagem por injeção plástica de embalagem

6 - Principais objetivos e Resultados do Projeto (Custo/Qualidade/Tempo):

Reduzir em 50% as perdas de produção por paradas não programadas até 29/08/2015. A redução das paradas não programadas em 50%, a divulgação e padronização das paradas programadas e não programadas para futuros projetos de melhoria. Eliminação de 70% de horas extras geradas pela perda de produção por paradas não programadas.

7 - Fatores viabilizadores: (Quais recursos, pessoas, investimentos estão disponíveis para auxiliá-lo neste projeto? Descreva as interações com outros projetos ou iniciativas superiores.)

Tempo adicional da mão obra produtiva para apontamentos de paradas não programadas num formulário específico ao projeto.

Objetivo (s) de Desempenho	Atuais	Estimados
Paradas não programadas	6,48%	3,24%

Data estimada de início do Projeto: 02/03/2015 Data estimada para Encerramento: 29/08/2015

Figura 15– *Project charter*

4.1.2 Voz do cliente

A ferramenta Voz do Cliente foi adotada para a validação do *Project Charter* e para a declaração do problema. Visou-se, com isso, identificar os clientes do processo que seria melhorado e as suas exigências. Foram considerados os clientes externos (indivíduos ou organizações fora do seu negócio), os internos (áreas dentro da empresa que recebem produtos, serviços, apoio ou informação do seu processo, tais como engenharia, manufatura, qualidade, marketing, finanças, segurança, vendas, aquisição, gerenciamento, acionistas, etc.) e os clientes reguladores (qualquer órgão governamental que tenha padrões aos quais o processo ou o produto deva estar em conformidade).

Nesta pesquisa, o requisito crítico para o cliente foram as perdas de produção causadas por paradas não programadas, as quais geram atrasos e necessidade horas extras para funcionários. Assim, de acordo com o modelo DMAIC, o principal objetivo a ser perseguido foi a redução das paradas não programadas na produção.

4.1.3 SIPOC

O próximo passo foi definir o principal processo envolvido no projeto e, conseqüentemente, facilitar a visualização do escopo do trabalho. Esse diagrama é denominado SIPOC - *Suppliers* (fornecedores), *Inputs* (entradas), *Process* (processo), *Outputs* (saídas), *Customers* (clientes), mostrado na Figura 16.

Por meio do SIPOC, foram identificados o processo, os fornecedores, os insumos, os produtos e os clientes deste processo. As entradas do processo são as variáveis que alimentam e, quando modificadas, transformam o processo. As saídas do processo são as variáveis que refletem o resultado do processo concluído.

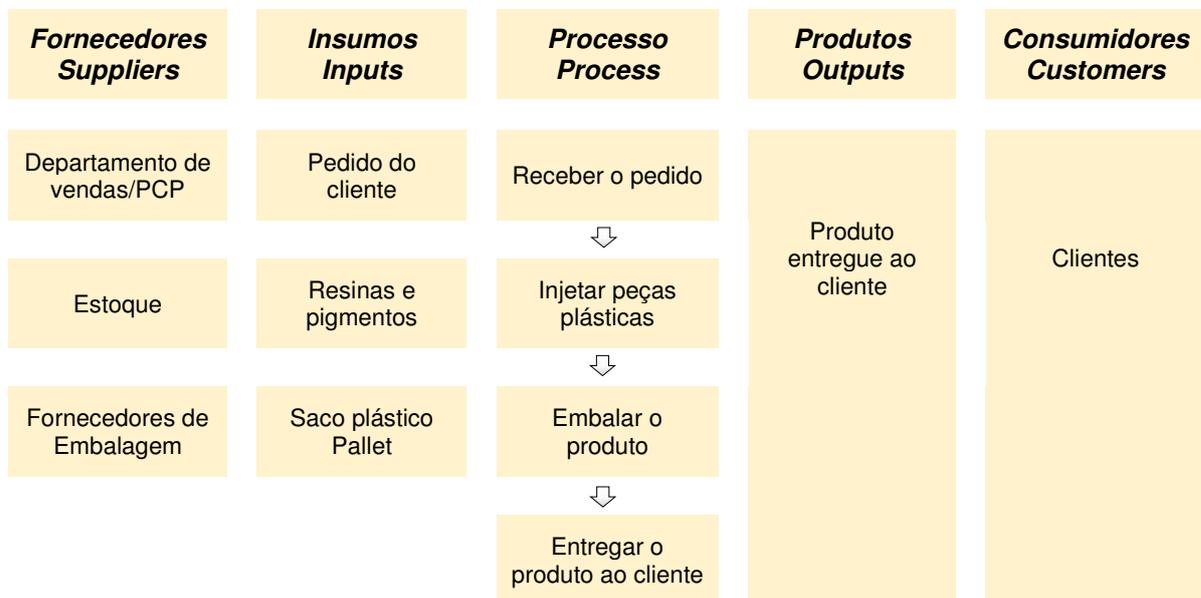


Figura 16 - Diagrama SIPOC

4.1.4 Passos chaves na etapa definir

Na finalização dessa etapa, foram verificados os seguintes pontos chaves:

- Revisão do Contrato do projeto LSS – ter uma discussão do contrato com o patrocinador do projeto LSS; obter respostas para as dúvidas; negociar datas e recurso; e ajustar o escopo do projeto LSS;
- Validação dos problemas e metas – revisar os dados existentes ou outras fontes de informação para confirmar o problema;
- Validação dos benefícios financeiros – usar os dados existentes para calcular os custos atuais, lucros, margens ou outra métrica financeira relevante para o projeto LSS; estimar o impacto financeiro, caso o objetivo do projeto LSS tenha sido atingido; e verificar, também, se está de acordo com as expectativas gerenciais;
- Criação e validação do mapa de processo e escopo – documentar os principais passos do processo para verificar o seu escopo; ver se existem dados para estabelecer a base do projeto LSS no tempo; verificar defeitos, erros e retrabalho;
- Finalização e aprovação da etapa Definir.

Após a clara definição do problema, das metas, do macro mapeamento do processo, da definição do grupo e suas responsabilidades e do cronograma de execução, inicia-se a etapa Medir.

4.2 ETAPA *MEASURE* (MEDIR)

Na segunda etapa do DMAIC, teve como foco a medição dos processos e a partir disso as características chaves foram categorizadas, os sistemas de medição verificados e os dados coletados.

Ainda nessa etapa, os dados coletados na empresa pesquisada, no intervalo de janeiro a dezembro de 2014, foram analisados. E, por meio da análise verificou-se que o nível de paradas não programadas na produção estava apresentando uma tendência crescente, portanto, fora da meta estabelecida.

4.2.1 Mapeamento do processo

A primeira ferramenta utilizada após a etapa Definir foi o Mapeamento de processo, representado pela Figura 17, teve a sua aplicação vinculada aos propósitos de:

- Fornecer descrição do estado atual do processo, considerando-se como base para o entendimento dos problemas atuais (atrasos, retrabalhos, entre outros) e oportunidades;
- Possibilitar ao grupo ver rapidamente as oportunidades de melhoria no processo e começar a definir as causas críticas do processo;
- Ajudar o grupo a ver como o processo deveria funcionar (estado futuro), uma vez que os desperdícios sejam eliminados;
- Ajudar a comunicação dentro e fora da organização.

No mapeamento de processo, explicitado na Figura 17, foi coletado os dados do processo como o tempo de ciclo (C/T), de change over (C/O), de uptime, de turnos e do índice de paradas não programadas (Y).

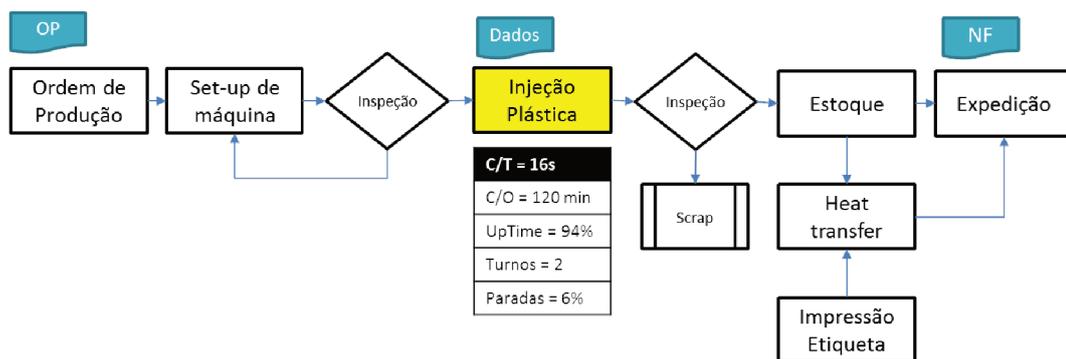


Figura 17 - Mapeamento do processo de injeção plástica por moldagem

Amostragem	2751	Unidades
Oportunidades de Erro	1	Oportunidades
Unidades com Erro	196	Unidades
Total de oportunidades	2751	Erros
Rendimento	92,875	%
Rejeição	7,125	%
DPU	0,07125	
DPO	0,07125	
DPMO	71246,81934	
Nível Sigma	2,96657	Curto Prazo
	1,46657	Longo Prazo

Figura 19 – Cálculo do DPMO

4.2.4 Análise do Sistema de Medição

A análise do sistema de medição, também conhecido como MSA, cujas siglas são resultantes do inglês Measurement System Analysis, permite que o processo seja entendido. Quando ele não é confiável, perde-se a capacidade de tomar boas decisões sobre como melhorar o processo.

O sistema de medição deve ser qualificado antes de se dar início ao processo de melhoramento. Na etapa Medir, a equipe deve ser capaz de demonstrar que os dados são precisos e confiáveis.

Na Tabela 2 estão demonstrados os dados em horas de paradas não programadas, os quais foram coletados do processo de produção.

Tabela 2 – Número de horas paradas nos meses de 2014

Janeiro	203:34:00
Fevereiro	265:51:00
Março	245:48:00
Abril	235:04:00
Maio	223:33:00
Junho	151:46:00
Julho	198:35:00
Agosto	231:43:00
Setembro	254:13:00
Outubro	357:00:00
Novembro	298:01:00
Dezembro	196:58:00
Total	2862:06:00

Os dados foram coletados no período de janeiro a dezembro de 2014.

Após o mapeamento e o levantamento dos dados do processo, foi estabelecido indicador a ser medido. Essa medição tem com objetivo de possibilitar a avaliação do resultado do projeto LSS. Portanto, estabelecer essa medida significa estabelecer o baseline do projeto LSS.

4.2.5 Cartas de controle – estabelecimento do baseline

Na etapa Medir, o objetivo é estabelecer uma referência contra a qual podemos medir os melhoramentos alcançados pelo projeto LSS.

O baseline do projeto LSS em questão foi o índice de paradas não programadas demonstrado na Figura 20.

O valor de horas paradas médio neste período foi de 262:30:30, representado pela sigla \bar{X} , e não houve nenhuma hora parada que tenha extrapolado os limites do processo. As siglas UCL e LCL demonstram os limites superiores e inferiores do gráfico, respectivamente os valores de 393:27:51 h e 131:33:09 h.

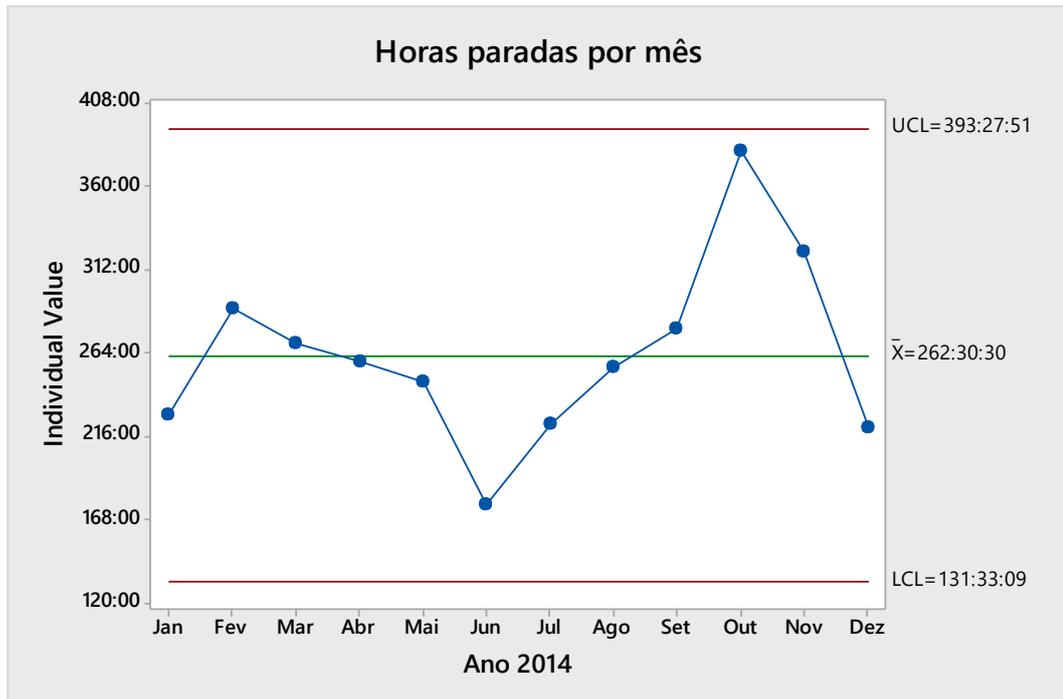


Figura 20 – Carta de controle das horas de paradas não programadas mensal

A carta de controle para análise das horas paradas foi utilizada da mesma forma que um gráfico de linha, onde os dados são visualizados na linha do tempo. Neste caso em específico, não foram explorados os limites de controle e a amplitude do processo. Conforme citado anteriormente, apenas verificou-se o comportamento das horas paradas no período.

4.2.6 Passos chaves na etapa Medir

Os passos chaves na etapa Medir foram:

- Criar e validar o mapa de processo;
- Identificar as saídas (Y's), as entradas e as variáveis de processo consideradas relevantes ao projeto LSS;
- Calcular o nível sigma e DPMO
- Usar análise do sistema de medição;

- Coletar os dados para estabelecer o baseline;
- Revisar o Mapa de Fluxo de valor com os dados;
- Avaliar a capacidade de performance do processo;
- Finalizar com reunião de aprovação e revisão da etapa Medir.

4.3 ETAPA ANALYZE (ANALISAR)

O objetivo da etapa Analisar é fazer com que todas as informações tenham sentido e, ao mesmo tempo, localizar as relações de causas e efeitos na produção dos defeitos objetivados, como por exemplo, atrasos de processo.

A primeira ação realizada na etapa Analisar foi verificar a complexidade do problema de paradas não programadas na produção de embalagens plásticas, já que o objetivo da empresa era a redução dessas paradas não programadas.

4.3.1 Identificação das causas raízes

O objetivo na etapa Analisar é interpretar os dados para estabelecer a relação entre causa e efeito. A Matriz de Causa e Efeito, demonstrada pela Figura 21, tem como ponto de partida a definição e o peso das variáveis de saída de importância para o cliente. Nesse caso, a variável de saída foi o “índice de paradas não programadas com peso 9, indicando ser extremamente importante do ponto de vista do cliente. Foram listadas as possíveis causas, às quais já haviam sido mapeadas na etapa medir, e o peso de cada uma para o índice de paradas não programadas.

9 - Alto impacto
3 - Médio impacto
1 - Baixo impacto

		Matriz de Causa e Efeito					
Impacto		9					
		1	2	3	4	5	
Possíveis Causas		Índice de paradas não programadas					Total
1	Quebra mecânica	9					81
2	Quebra de periféricos	3					27
3	Quebra elétrica	3					27
4	Falta de treinamento operacional	1					9
5	Falta de matéria-prima	3					27
6	Matéria-prima incorreta	1					9
7	Categorias das paradas incorretas	3					27
8	Método de medição incorreto	3					27
9	Instrumento de medição impreciso	1					9
10	Alto sujidade na máquina	3					27
11	Ferramentaria	9					81
12	Regulagem	9					81
13	Set-up	3					27
Total		51					459

Figura 21 – Matriz de priorização das potenciais causas

Na última coluna, foram multiplicadas as notas dadas às entradas do processo pelo peso da variável de saída de importância para o cliente - “índice de paradas não programadas”; estes subtotais foram somados, obtendo-se o valor apresentado na coluna identificada como Total.

A coluna Total estabelece que os maiores valores são as entradas mais críticas do processo.

Tabulando os dados, conforme Figura 22 temos o gráfico de Pareto com as principais causas das paradas não programadas; as entradas mais críticas ao processo ou as causas raízes foram: ferramentaria com 17,6%, quebra mecânica com 17,6% e regulagem com 17,6%, todas tratadas pela empresa pesquisada.

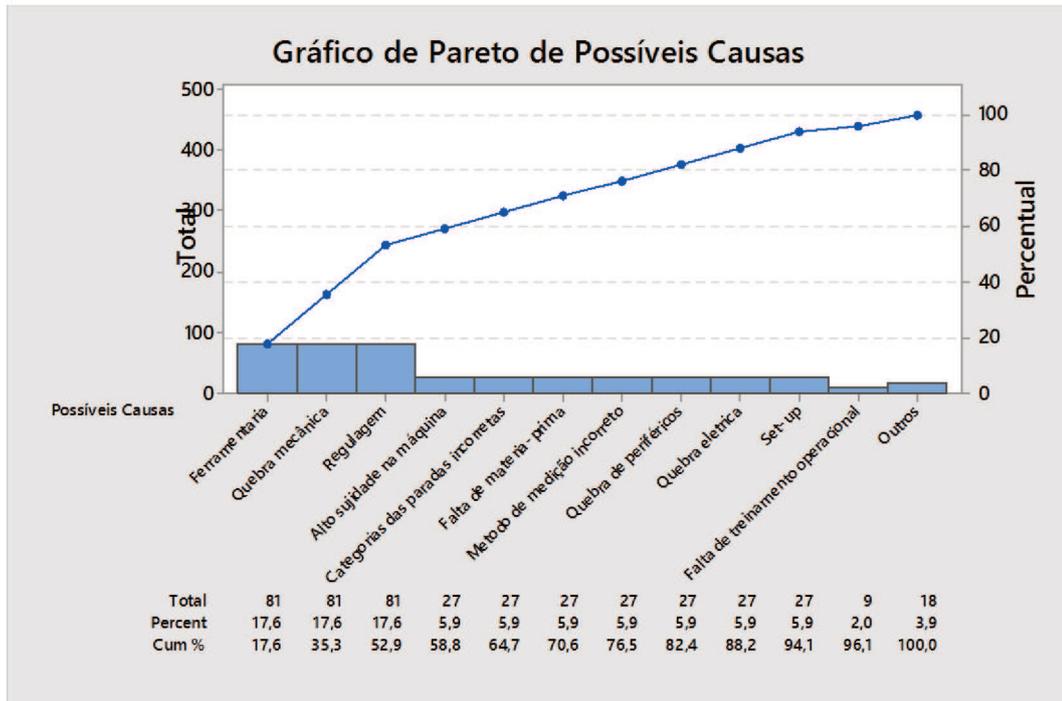


Figura 22 – Gráfico de Pareto das possíveis causas

A Figura 23 apresenta o gráfico de Pareto para causa ferramentaria, definida após matriz de causa e efeito; o qual durante a análise do processo verificou-se que as paradas não programadas foram justificadas pela limpeza no molde (10h), pela manutenção corretiva no molde (5h) e pelo ajuste no molde (0,94h).

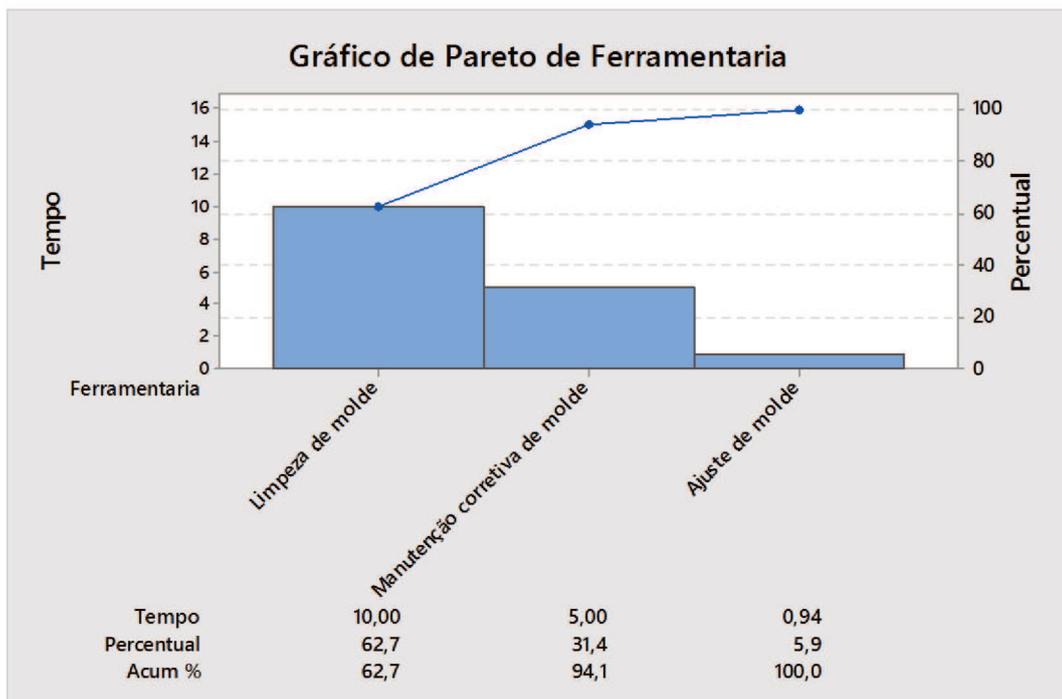


Figura 23 – Gráfico de Pareto para causa Ferramentaria

A Figura 24 demonstra o gráfico de Pareto da causa manutenção mecânica, que durante a análise do processo estava sendo apontados as paradas não-programadas devido a periféricos (40h), manutenção na injetora (30h) e outros somados (2,63h).

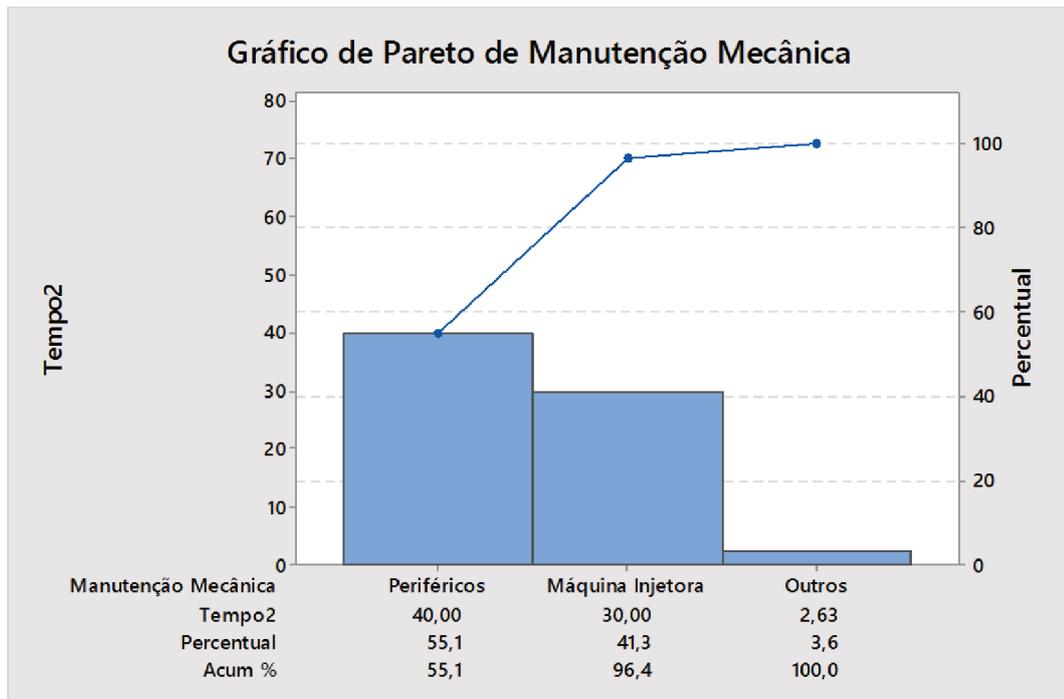


Figura 24 - Gráfico de Pareto para causa manutenção mecânica

A Figura 25 demonstra que durante a análise do processo foram apontadas como causas para as paradas não programadas: a regulagem de temperatura de injeção (12h), o tempo de resfriamento (10h) e outros motivos somados (6,44h).

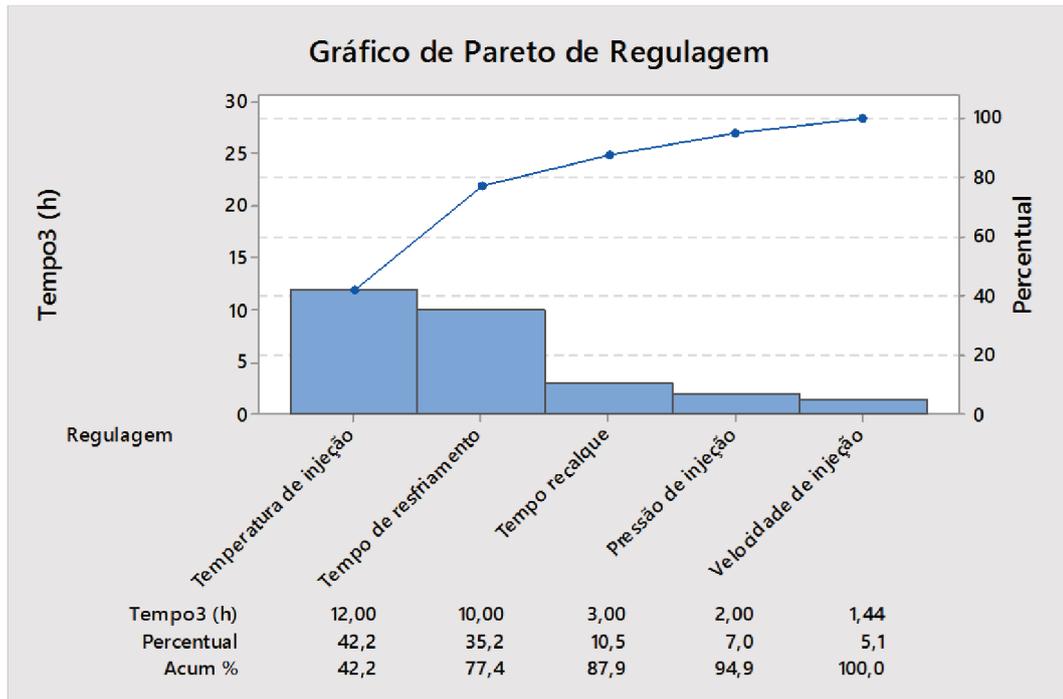


Figura 25 – Gráfico de Pareto para causa regulagem

4.3.2 Passos chaves da etapa Analisar

Os passos chaves na etapa Analisar foram:

- Analisar os dados coletados na etapa Medir;
- Gerar teorias para explicar causas potenciais – usar as ferramentas brainstorming, Matriz de Causa e Efeito, entre outras;
- Estreitar a pesquisa para identificar as causas raízes e relações significantes de causa e efeito;
- Coletar dados adicionais para verificar as causas raízes;
- Finalizar com reunião de aprovação e revisão da etapa Analisar.

4.4 ETAPA *IMPROVE* (MELHORAR)

Na etapa *Improve* foram geradas ideias sobre soluções potenciais para eliminação das causas fundamentais dos problemas levantados na etapa *Analyze*.

Entre as alternativas destacaram-se:

- Implementar nos cronogramas de manutenção preventiva do molde (limpeza), o número de horas de trabalho, a fim de determinar a sua frequência, evitando-se, ao máximo, a quebra;
- Implementar o estoque de peças de reposição, a fim de agilizar a manutenção corretiva de moldes;
- Implementar nos cronogramas de manutenção preventiva das máquinas e periféricos, o número de horas de trabalho da máquina, a fim de determinar a frequência de sua manutenção preventiva, visando evitar a quebra;
- Implementar estoque de peças de reposição para agilizar a manutenção corretiva de máquinas e periféricos;
- Restringir o acesso aos parâmetros de regulação da máquina ao Líder do turno;
- Revisar a Ficha Técnica do Processo para determinar os limites de processo para tempo, temperatura, velocidade e pressão da peça mais crítica.

4.4.1 Implantação das soluções para ferramentaria

No projeto LSS em estudo, foi decidido implementar a solução através da alteração do modelo do formulário de manutenção, o qual estabelece a frequência e o intervalo (em número de horas) para que um molde de injeção plástica entre em manutenção preventiva (limpeza).

Por meio do treinamento foi possível reunir toda a equipe envolvida no processo da planta, possibilitando a criação da sinergia e comprometimento de todos os envolvidos na execução do Plano de ação, conforme explicita a Tabela 3:

Tabela 3 – Plano de ação para ferramentaria

Ação tomada	Responsável	Prazo
1. Implementar nos cronogramas de manutenção preventiva do molde para limpeza, o número de horas de trabalho do molde para determinar a sua frequência para evitar quebra.	Manutenção	30/04/15
2. Implementar estoque de peças de reposição para agilizar a manutenção corretiva de moldes	Manutenção	30/04/15

A Figura 26 mostra o cronograma de manutenção preventiva para os moldes de injeção plástica, levando em consideração o número de horas trabalhadas do molde de injeção plástica, o qual deverá ser encaminhado para as atividades de manutenção preventiva.

CRONOGRAMA PREVENTIVA MOLDES PLÁSTICOS														
SETOR: PLÁSTICO														
Ano 2015	MES	Horas previstas	JAN	FEV	MAR	ABR	MAI	JUN	JUL	AGO	SET	OUT	NOV	DEZ
Moldes														
Balde 3,6L	500h		P			230h	130h	500h	500h	500h	500h	500h	500h	500h
			R			R								
Alça do Balde 3,6L	500h			P			230h	500h	500h	500h	500h	500h	500h	500h
				R			R							
Tampa do Balde 3,6L	500h				P			500h	500h	500h	500h	500h	500h	500h
					R									
LEGENDA														
Aprovação / Liberação										Previsto		P		
Produção								Gerente de Produção		Realizado		R		
Manutenção								Gerente de Manutenção		Atrasado		A		

Figura 26 – Cronograma de preventiva para moldes com base em horas trabalhadas

4.4.2 Implantação da solução para quebra mecânica

A Tabela 4 mostra as soluções potenciais para eliminação das causas por quebra mecânica, objetivando a redução do número das paradas não programadas.

Tabela 4 – Plano de ação para quebra mecânica

Ação tomada	Responsável	Prazo
1. Implementar nos cronogramas de manutenção preventiva das máquinas e periféricos o número de horas de trabalho da máquina para determinar a sua frequência de manutenção preventiva para evitar quebra.	Manutenção	30/04/15
2. Implementar estoque de peças de reposição para agilizar a manutenção corretiva de máquinas e periféricos	Manutenção	30/04/15

A Figura 27 mostra o cronograma de manutenção preventiva de máquinas injetoras, no qual foram estabelecidas a frequência para as atividades de manutenção programada em horas de trabalho, conforme manuais das máquinas injetoras.

CRONOGRAMA DE MANUTENÇÃO PREVENTIVA 2015 - INJETORAS Krauss Maffei																	
SETOR: Plástico																	
Injetoras	Nível 1	Nível 2	Nível 3	Nível 4	Nível 5	Hora Acum. 2014	Janeiro	Fevereiro	Março	Abril	Maio	Junho	Julho	Agosto	Setembro		
PL03 Krauss 200-1000CX	500 horas	3000 horas	5000 horas	8000 horas	10000 horas	1463:53:00	62:52:00	63:26:00	79:23:00								
PL04 Krauss 130-750CX	500 horas	3000 horas	5000 horas	8000 horas	10000 horas	2613:14:00	175:43:00	113:51:00	198:06:00								
LEGENDA																	
Aprovação / Liberação							Previsto	Nível 1	Nível 2	Nível 3	Nível 4	Nível 5					
Produção: Claudio José de Paula							Realizado										
Manutenção: Eduardo							Atrasado										
							Máq. Parada										
OBSERVAÇÕES:																	

Figura 27 – Cronograma de manutenção preventiva para máquina injetora com base em horas trabalhadas

4.4.3 Implantação da solução para regulagem

A Tabela 5 apresenta as soluções potenciais para eliminação das causas para o excesso de regulagem dos parâmetros de injeção, com o objetivo de reduzir o número das paradas não programadas.

Tabela 5 – Plano de ação para regulagem

Ação tomada	Responsável	Prazo
1. Restringir o acesso aos parâmetros de regulagem da máquina ao Líder do turno	Produção	30/04/15
2. Revisar a Ficha técnica do Processo para determinar os limites de processo para tempo, temperatura, velocidade e pressão da peça mais crítica.	Qualidade	07/05/15

A Figura 28 indica a implementação dos limites dos parâmetros de processo para regulagem da máquina injetora.

Plásticos		MG 103 - Ficha Técnica de Processo				Máquina: PL18	
Descrição da Peça:		Balde 18 Litros					
Código da Peça:		B-18		Cliente:		Diversos	
Descrição da MP:		Copolímero Heterofásico		Código:		CP284R/EP440P	
Master - Cor / Fornecedor / % de Uso:		Diversas/Pro. color/Cromex/Plast Batch/2%		Código:		///	
Tempo Estufa (h):		Temp.(°C):		Peças/hora:		N° Cav.: 1	
Pesos: Peça (kg): 0,5425		Galho (kg): --		Total (kg): 0,5425			
N° Molde:		Dimensão (mm) Altura: 820		Largura: 800		Comprimento: 900	
N° Gavetas:		Ciclo Autom.: <input checked="" type="checkbox"/> SIM <input checked="" type="checkbox"/> NÃO		N° Operador:		1	
Especificações da Máquina		Modelo: KM 600		N° Programa:			
PARÂMETROS DO PROCESSO							
Item	Descrição	Unid.	Especificação				
TEMPERATURA	Bico	°C	220 a 240				
	Zona 6	°C	225 a 235				
	Zona 5	°C	225 a 235				
	Zona 4	°C	225 a 235				
	Zona 3	°C	225 a 235				
	Zona 2	°C	225 a 235				
	Zona 1	°C	210 a 225				
Câmara Quente:		<input checked="" type="checkbox"/> SIM <input type="checkbox"/> NÃO		Qtd. Zona s		1	
				Temp.(°C):		210 a 225	
DADOS DO MOLDE							
Refrigeração Fixa:		<input checked="" type="checkbox"/> SIM <input type="checkbox"/> NÃO		16 a 18 °C		Móvel: <input checked="" type="checkbox"/> SIM <input type="checkbox"/> NÃO	
				16 a 18 °C		Flutuante: <input type="checkbox"/> SIM <input checked="" type="checkbox"/> NÃO	
Extração:		Fixa <input checked="" type="checkbox"/> SIM <input type="checkbox"/> NÃO		Batente <input type="checkbox"/> SIM <input checked="" type="checkbox"/> NÃO		Hidráulica <input type="checkbox"/> SIM <input checked="" type="checkbox"/> NÃO	
						Data: 30/04/2015	
OBSERVAÇÕES							
Responsável		Processo:					
		Qualidade:					

Figura 28 – Ficha técnica para o processo de injeção

4.4.4 DPMO

A Figura 29 apresenta o nível na Escala Sigma de curto prazo, calculado pela expressão DPMO (Defeitos por Milhão de Oportunidades), em que a empresa obteve 3,357 e DPMO de 31890,660.

Amostragem	3512	Unidades
Oportunidades de Erro	1	Oportunidades
Unidades com Erro	112	Unidades
Total de oportunidades	3512	Erros
Rendimento	96,811	%
Rejeição	3,189	%
DPU	0,03189	
DPO	0,03189	
DPMO	31890,66059	
Nível Sigma	3,35371	Curto Prazo
	1,85371	Longo Prazo

Figura 29 – Cálculo do DPMO após implementação

4.4.5 Indicador de paradas não programadas

A Figura 30 apresenta o índice de paradas não programadas após seis meses da implementação do LSS, sendo que a média de horas paradas por manutenção mecânica foi reduzida para 42:02h, por regulagem foi reduzida para 14:13h e por ferramentaria para 11:10h.

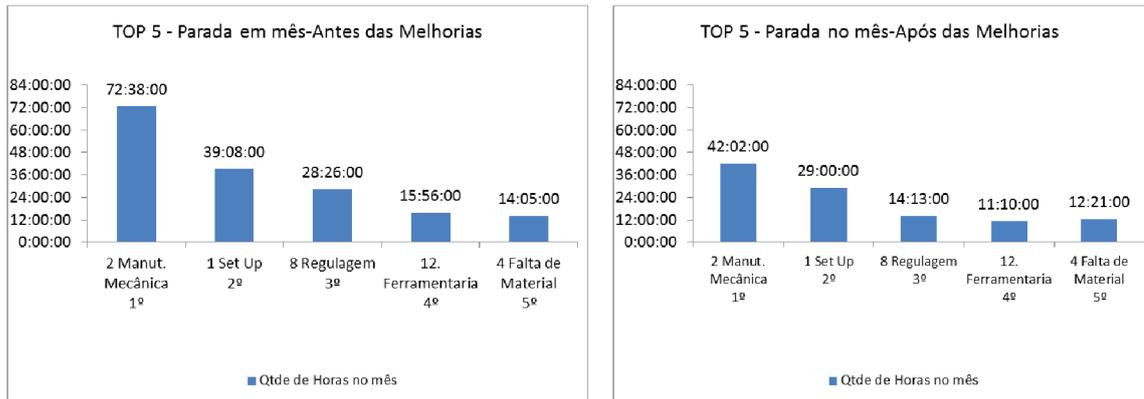


Figura 30 – Índice de paradas não programadas após implementação

4.4.6 Passos chaves da etapa Melhorar

Os passos chaves na etapa Melhorar foram:

- Desenvolver as possíveis soluções;
- Avaliar, seleccionar e otimizar a melhor solução;
- Desenvolver e implementar a solução;
- Confirmar os objetivos do projeto LSS – comparar os resultados com o baseline;
- Desenvolver e executar o plano para a implementação total do projeto;
- Preparar para a reunião de aprovação da etapa Melhorar.

4.5 ETAPA CONTROL (CONTROLAR)

A etapa Controlar assegura um impacto, a longo prazo, na forma das pessoas trabalharem, por meio dos benefícios obtidos com o desenvolvimento de um processo monitorado, visando a manutenção das mudanças realizadas.

Sob a ótica do cliente e do negócio, esta é a principal etapa do processo. Mais que realizar melhorias, a expectativa é que elas sejam robustas e permanentes. Por essa razão, o DMAIC tem em sua última etapa, o Controlar, visando ao atendimento dessa necessidade.

4.5.1 Monitoramento do processo

O monitoramento do processo foi efetuado através da implementação de indicadores de paradas de máquinas. A meta do monitoramento do indicador é manter os ganhos a longo prazo.

Segue um exemplo de monitoramento de processo efetuado por meio de indicadores, o qual foi implementado para medir os tempos de paradas não programadas de injetoras.

Por meio dos indicadores, acompanha-se o tempo de paradas não programadas, a performance da operação e as oportunidades de melhoria no processo.

4.5.2 Revisão dos procedimentos

Consolidadas todas as atividades, a reunião de aprovação da etapa Controlar, pode ser realizada, considerando-se, assim, o projeto LSS concluído.

4.5.3 Plano de controle

A Tabela 6 mostra o Plano de controle do processo de produção, explicitando suas etapas, suas características, o que é crítico para qualidade (CTQ), especificação, técnica de medição, amostra, frequência e registro.

Tabela 6 – Plano de controle

Etapa Processo	Característica	CT Q	Especificação	Técnica de medição	Amostra	Frequência	Quem	Registro
Injeção	Índice de paradas não-programadas	X1/ X2	Cronograma de manutenção preventiva de moldes, máquinas e periféricos atualizados	Verificação de atualização do cronograma	1 vez	Mensal	Gerente de manutenção	Ficha de manutenção
		X1/ X2	Controlar estoque de peças de reposição para moldes, máquinas e periféricos	Verificação estoque mínimo e Máximo	1 vez	Mensal	Gerente de manutenção	Ficha de estoque
		X3	Controlar acesso aos ajustes da injetora	Cartão de controle de acesso ao programa revisado	1 vez	Semestral	Gerente de produção	Cartão de controle de acesso
		X3	Controlar revisão das Fichas técnicas de processo	Ficha técnica de processo atualizado	1 vez	Mensal	Gerente de produção	Controle de revisão de Ficha Técnica de Processo

4.5.4 Passos chaves da etapa Controlar

Os passos chaves na etapa Controlar forma:

- Desenvolver métodos para sustentar os resultados e revisar os procedimentos do processo;
- Monitorar o processo implementado;
- Desenvolver o Plano de controle para o processo;
- Finalizar o projeto, por meio da reunião de aprovação da etapa Controlar.

Ao final do período pesquisado (julho a dezembro de 2015), o índice de paradas não programadas passou de 7,125% para 3,189%. E ainda, com a adoção do *Lean*

Seis Sigma pela empresa levou à redução no DPMO (Defeitos por Milhão de Oportunidades), o qual passou de 71.246,81 para 31.890,66; bem como levou também à melhoria no índice da Escala Sigma, passando de 2,966 para 3,353.

5 CONCLUSÕES

Por meio desta pesquisa conclui-se que a implementação do *Lean Seis Sigma* possibilita, de fato, a redução das paradas não programadas na produção de embalagens plásticas. Ao final do período pesquisado (julho a dezembro de 2015), o índice de paradas não programadas passou de 7,125% para 3,189%.

Conclui-se também que a adoção do *Lean Seis Sigma* pela empresa levou a:

- redução no DPMO (Defeitos por Milhão de Oportunidades), o qual passou de 71.246,81 para 31.890,66; e

- melhoria significativa no processo de produção, que, de acordo com a Escala Sigma, passou de 2,966 para 3,353.

REFERÊNCIAS

- AMADO, R.F.; ROZENFELD, H. Análise da Aplicabilidade do Método DMAIC do Modelo Seis Sigma. In.: SIMPEP, 13, 2006, Bauru, SP. Anais... Bauru: Feb/UNESP , 2006. 9 p.
- ANTONY, J.; FOUTRIS, F.; BANUELAS, R.; THOMAS, A. Using Seis Sigma. *Manufacturing Engineer*, v.83, n.1, p. 10-12, Mar. 2004.
- ANTONY, J.; BANUELAS, R. Key ingredients for the effective implementation of Seis Sigma program. *Measuring Business Excellence*, v.6, n.4, p. 20-27, Abr. 2002.
- ANTONY, J.; BANUELAS, R. A strategy for survival. *Manufacturing Engineer*, v.80, n.3, p. 119-121, Mar.2001.
- ARNHEITER, E.D.; MALEYEFF, J. The Integration of *Lean* Management and Seis Sigma. *TQM Magazine*, v.17, n.1, p. 5-18, Jan. 2005. BERTELS, T. A *Lean*-Seis Sigma Duo for the Office – A case Study. Disponível em <<http://europe.iSeissigma.com/library/content/c040714b.asp>>. Acesso em: 5 dezembro de 2015.
- BLASS, A. Processamento de Polímeros. 2 edição, Florianópolis: UFSC, 1988
- BHUIYAN, N.; BAGHEL, A. An Overview of Continuous Improvement: from the past to the present. *Management Decision*, v.43, n.5, p. 761 – 771, May. 2005.
- BOSSERT, J. Lean and Seis Sigma – synergy made in heaven. *Quality Progress*; v.36, n. 7, p.31-32, Jul. 2003.
- CAMPOS, V.F. TQC Controle da Qualidade Total no estilo japonês. 8ª Edição. Belo Horizonte: INDG, 1999. 222 p.
- CHEN, M.C; YANG, T.; LI, H.C. Evaluating the supply chain performance of IT based inter-enterprise collaboration. *Information & Management*; v. 44, p. 524-534, Feb.2007.
- CHENG, J.L. DMAIC Integration Necessary for Success. *ASQ Seis Sigma Fórum Magazine*, v.4, n.5, p. 22 – 28, Aug. 2006.
- CHEN, Z.; TURNG, L.S. A review of current developments in process and quality control for injection molding. Wiley. 2005
- COSTA, A.F.B.; EPPRECHT, E.K.; CARPINETTI, L.C.R. Controle Estatístico de Qualidade. São Paulo: Atlas, 2004. 334p.
- COSTA NETO, P.L.O. Qualidade e Competência nas Decisões. São Paulo: Bucher, 2007. 467 p.
- CROSBY, P. B. Quality is Free – The Art of Making Quality Certain. EUA: McGraw-Hill , 1980. 291p.
- FERNANDES, P.M.P.; RAMOS, A.W. Considerações sobre a integração do Lean Thinking com o Seis Sigma. In.: ENEGEP, 26., 2006, Fortaleza. Anais... Fortaleza, Ceará. Fortaleza: UNIFor, 2006. 7 p.
- FERNANDES, S. T. Integração dos programas de melhoria *Lean Manufacturing* e six sigma aplicados a logística de transporte de produtos de uma indústria metalúrgica. Guaratinguetá. 2008.
- FUH, J. Y. H.; ZHANG, Y. F.; NEE, A. Y. C.; FU, M. W. Computer aided injection mold design and manufacturing. New York: Marcel Dekker, 2004.
- GARRIDO, Ana Paula. Seis Sigma: Uma metodologia em constante evolução. *Banas Qualidade*, v.156, n.5, p.52-58, May 2005.
- GEORGE, M. L. *Lean Seis Sigma: Combining Seis Sigma Quality with Lean Production Speed*. EUA: McGraw-Hill , 2002. 322p.

- GEORGE, M.L. et al. *The Lean Seis Sigma Pocket Toolbook*. EUA: McGraw-Hill Companies, 2005. 282p.
- HA, S.M. Continuous Processes Can Be *Lean*. *Manufacturing Engineering*. v.138, n.6, p.103-109, Jun. 2007.
- HARADA, J.; UEKI, M. M. Injeção para termoplásticos – produtividade com qualidade. São Paulo: Artliber, 1ª Edição. 2012
- HARRY, M; SCHROEDER, R. *Six Sigma: The Breakthrough Management Strategy Revolutionizing The World's Top Corporations*. New York: Currency, 2000. 320 p.
- HOUSHMAND, M.; JAMSHIDNEZHAD, B. An Extended Model of Design Process of *Lean* Production Systems by Means of Process Variables. *Robotics and Computer-Integrated Manufacturing*, v.22, p.1-16, 2005.
- KLEFSJÖ, B.; WIKLUND, H.; EDGERMAN, R.L. Seis Sigma seen as a methodology for total quality management. *Measuring Business Excellence*, v.5, n.1, p.31-35, Jan. 2001.
- LEAN ENTERPRISE INSTITUTE. *Léxico Lean – Glossário ilustrado para praticantes do Pensamento Lean*. 2. ed. São Paulo: Lean Institute Brasil, 2003, 110p.
- LIU, R.J.; BROOKFIELD, J. Japanese Subcontracting in Mainland China: A Study of Toyota and Shangai Koito. *Supply Chain Management: An International Journal*, v.11, n.2, p.99-103, Feb. 2006.
- LUCAS, J.M. The Essential Seis Sigma. *Quality Progress*, v.35, n.1, p.27-31, Jan.2002.
- MANRINCH, S. Estudo de Mercado em Duas Áreas Específicas de Aplicação de Papel Sintético. 2002. . Disponível em: <http://www.scielo.br/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0104-14282002000100008>. Acesso em: 5 jan. 2015.
- MICHAELI, W. et al. *Training in injection molding: a text and workbook*. 2nd. ed. Munich: Hanser Verlag, 2001.
- LEAN ENTERPRISE INSTITUTE. *Lean Lexicon: A Graphical Glossary for Lean Thinkers*. 4ª. ed. Cambridge: [s.n.], 2008.
- OHNO, T. *Toyota Production System: Beyond Large-Scale Production*. Portland: Productivity Press, 1988. 186p.
- PANNELL, A. Happy together: Solid *Lean* Principles are at the Heart of every successful Seis Sigma Program. *Industrial Engineer*, v.38, n. 3, p.46 – 49, Mar. 2006.
- SHARMA, U. Implementing *Lean* Principles with the Seis Sigma Advantage: How a Battery Company Realized Significant Improvements. *Journal of Organizational Excellence*, v.22, n.3, p. 43 – 51, Mar. 2003.
- SMITH, B. *Lean* and Seis Sigma – A One-Two Punch. *Quality Progress*, v.36, n.3, p. 37 – 41, Mar. 2003.
- STRAATMANN, J. Estudos de Práticas Adotadas por Empresas que Utilizam a Produção Enxuta em Paralelo ao Seis Sigma no Processo de Melhoria. Dissertação (Mestrado em Engenharia de Produção) – Escola de Engenharia de São Carlos, Universidade de São Paulo, São Carlos, 2006.
- TAN, K.H.; YUEN, M.M.F. A fuzzy multiobjective approach for minimization of injection molding defects, *Polymer Engineering and Science*, Volume 40, Issue 4, pp. 956-971 (2004).
- VASCONCELLOS, L.H.R; JUNIOR, O.C.;CHAP, C.R. A aplicação da metodologia Seis Sigma em serviços: um Estudo de Caso de uma instituição financeira. In.: IX SIMPOI – Simpósio de Administração da Produção, Logística e Operações Internacionais, 9., 2006, São Paulo. Anais... São Paulo: FVG/EAESP, 2006.

ZHENG, R.; FAN, X.-J.; TANNER, R.. Injection Molding: integration of theory and modeling methods. Berlin: Springer-Verlag, 2011.

WERKEMA, C. Criando a Cultura *Lean Seis Sigma*. Rio de Janeiro: Elsevier, v. II, 2012a.

WERKEMA, C. *Lean Seis Sigma*: introdução às ferramentas do *Lean Manufacturing*. 2. ed. Rio de Janeiro: Elsevier, 2012b.

WERKEMA, C. Métodos PDCA e DMAIC e suas ferramentas analíticas. Rio de Janeiro: Elsevier, 2012c.

WOMACK, J. P.; JONES, D. T. Mentalidade Enxuta nas empresas: elimine o desperdício e crie riqueza. 4ª. ed. Rio de Janeiro: Campus, 2004b. 408 p.

WOMACK, J. P.; JONES, D. T.; ROOS, D. A Máquina que Mudou o Mundo. 5ª. ed. Rio de Janeiro: Campus, 2004b. 342 p.