

**UNIVERSIDADE DE TAUBATÉ**  
**TIAGO HENRIQUE SANTOS**

**APLICAÇÃO DO LEAN SEIS SIGMA NA REDUÇÃO DO  
ÍNDICE DE REFUGO E RETRABALHO EM UMA EMPRESA  
DE ISOLAMENTO ACÚSTICO E TÉRMICO PARA A  
INDÚSTRIA AUTOMOTIVA.**

**Taubaté – SP**

**2016**

**TIAGO HENRIQUE SANTOS**

**APLICAÇÃO DO LEAN SEIS SIGMA NA REDUÇÃO DO  
ÍNDICE DE REFUGO E RETRABALHO EM UMA EMPRESA  
DE ISOLAMENTO ACÚSTICO E TÉRMICO PARA A  
INDÚSTRIA AUTOMOTIVA.**

Monografia apresentada para obtenção do Certificado de Especialização pelo Curso de Pós Graduação em 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**

**TIAGO HENRIQUE SANTOS**

**APLICAÇÃO DO LEAN SEIS SIGMA NA REDUÇÃO DO ÍNDICE DE REFUGO E  
RETRABALHO EM UMA EMPRESA DE ISOLAMENTO ACÚSTICO E TÉRMICO  
PARA A INDÚSTRIA AUTOMOTIVA.**

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

Área de Concentração: qualidade e produtividade.

Data: 27/08/2016

Resultado: \_\_\_\_\_

**BANCA EXAMINADORA**

Prof. Dr. Álvaro Azevedo Cardoso

Assinatura \_\_\_\_\_

Prof.<sup>a</sup> Espec. Juliana de Lima Furtado

Assinatura \_\_\_\_\_

Dedico este trabalho a minha família principalmente a minha mãe Maria do Carmo dos Santos, 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 refugo e retrabalho em uma empresa de isolamento acústico e térmico para a indústria automotiva. Para a execução desta pesquisa adotou-se a metodologia de pesquisa-ação, a qual foi realizada em uma empresa de isolamento acústico e térmico para a indústria automotiva. Por meio do DMAIC e de ferramentas de análise e estatística tais como, matriz de causa e efeito, gráfico de pareto e mapa do processo, foram levantadas as principais variáveis de entrada, importantes para determinar a redução do índice de refugo e retrabalho, bem como as ações necessárias à melhoria dessas variáveis, entre as quais mereceu destaque a adoção do Lean Seis Sigma, ocorrida em 2016. Por meio desta pesquisa concluiu-se que a implementação do Lean Seis Sigma possibilita, de fato, a redução do índice de refugo e retrabalho. Ao final do período pesquisado (janeiro a junho de 2016), o índice de refugo e retrabalho passou de 6,16% para 2,91%. 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 61666,66 para 32777,77; bem como levou também à melhoria no índice da Escala Sigma, passando de 3,04 para 3,34.

Palavras-chaves: Produtividade. Seis Sigma. DMAIC. Ferramentas da Qualidade. Isolamento Acústico e Térmico. Injeção de Poliuretano.

## **ABSTRACT**

This study has as objective to present the application of the concepts of Lean Six Sigma, in order to reduce scrap and rework in a acoustic and thermal insulation company for the automotive industry. For the execution of this research adopted the action research methodology, which was conducted in a acoustic and thermal insulation company for the automotive industry. Through DMAIC and analysis and statistical tools such as matrix cause and effect, pareto chart and process map, we were raised major input variables are important for determining the reduced scrap and rework rate, and the actions needed to improve these variables, among which was highlighted the adoption of Lean Six Sigma, which occurred in 2016. Through this research, it was concluded that the implementation of Lean Six Sigma allows, in fact, reduced scrap rates and rework. At the end of the studied period (January-June 2016), the scrap rate and rework went from 6.16% to 2.91%. It was concluded also that the adoption of Lean Six Sigma by the company led to a reduction in the DPMO (Defects Per Million Opportunities), which went from 61666.66 to 32777.77; and also led to the improvement in Range Sigma index, from 3.04 to 3.34.

**Keywords:** Productivity. Six Sigma. DMAIC. Quality tools. Thermal and Acoustic Insulation. Polyurethane injection.

## LISTA DE FIGURAS

Figura 1 – Exemplos de desperdícios .....	23
Figura 2 – Carta de controle .....	31
Figura 3 – Similaridade entre o Seis Sigma e o Lean Manufacturing .....	35
Figura 4 – Resultados da contribuição do Lean e Seis Sigma usados conjuntamente .....	36
Figura 5 – Resumo do Lean Seis Sigma .....	39
Figura 6 – Exemplo de 5W2H .....	43
Figura 7 – Exemplo matriz de priorização .....	43
Figura 8 – Representação gráfica do diagrama de causa e efeito .....	45
Figura 9 – Exemplo de Diagrama de Pareto .....	46
Figura 10 – Exemplo de SIPOC .....	47
Figura 11 – Exemplo de um Histograma .....	49
Figura 12 – Simbologia de fluxogramas utilizados para processos industriais .....	52
Figura 13 – Microfotografia de espumas de PU de (a) célula aberta e (b) células fechadas .....	53
Figura 14 – Consumo de PU por segmento no Brasil .....	56
Figura 15– Cabeçote de mistura para baixa pressão .....	57
Figura 16 – Cabeçote de mistura para alta pressão .....	58
Figura 17 – Esquema de injeção de um cabeçote hidráulico de alta pressão .....	59
Figura 18 – Esquema simplificado do processo de injeção .....	60
Figura 19 – Project charter .....	64
Figura 20 – Diagrama SIPOC .....	67
Figura 21 – Mapeamento do processo de moldagem e injeção de poliuretano .....	70
Figura 22 – Diagrama de causa e efeito para a redução de custo com a operação e com o índice de refugo e retrabalho .....	70
Figura 23 – Porcentagem de refugo nos três primeiros meses de 2016 .....	71
Figura 24 - Porcentagem de retrabalho nos três primeiros meses de 2016 .....	72
Figura 25 – Matriz de priorização das potenciais causas .....	74
Figura 26 – Gráfico de Pareto das possíveis causas .....	75
Figura 27 – Cálculo do DPMO .....	76
Figura 28 – Antes da Melhoria na Homogeneização .....	78



Figura 29 – Depois da Melhoria na Homogeneização .....	79
Figura 30 – Antes da melhoria no processo de injeção e resfriamento .....	80
Figura 31 – Depois da melhoria no processo de injeção e resfriamento .....	80
Figura 32 – Antes da implantação de um sistema de transporte automatizado ....	81
Figura 33 – Depois da implantação do sistema de transporte automatizado .....	82
Figura 34 – Antes da automatização .....	82
Figura 35 – Depois da automatização .....	83
Figura 36 – Índice de Refugo após implementação das melhorias .....	83
Figura 37 – Índice de Retrabalho após implementação das melhorias .....	84
Figura 38 – Cálculo do DPMO após implementação das melhorias .....	85
Figura 39 - Processo passa não passa utilizando o porta molde como referencia ..	87
Figura 40 - Relatório de Inspeção e Recebimento .....	88
Figura 41 - Cronograma de Manutenção .....	88

## LISTA DE TABELAS

Tabela 1 – Tabela de conversão para a Escala Sigma .....	42
Tabela 2 – Plano de ação para EPDM rasgado na moldagem .....	78
Tabela 3 – Plano de ação para Crash Pad empenado .....	78
Tabela 4 – Plano de ação para o Transporte do EPDM .....	81

## LISTA DE EQUAÇÕES

Equação 1 – Cálculo do DPMO .....	41
-----------------------------------	----

## 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 .....	18
2	REVISÃO DE LITERATURA .....	19
2.1	PRODUTIVIDADE .....	19
2.2	LEAN SEIS SIGMA .....	21
2.3	APLICAÇÃO DO DMAIC .....	37
2.4	FERRAMENTAS DA QUALIDADE .....	44
2.4.1	Diagrama de Causa e Efeito .....	44
2.4.2	Diagrama de Pareto .....	45
2.4.3	SIPOC .....	47
2.4.4	Histograma .....	48
2.4.5	Fluxograma .....	49
2.5	ISOLAMENTO ACUSTICO E TERMICO .....	52
2.6	INJEÇÃO DE POLIURETANO .....	55
3	METODOLOGIA .....	61
4	RESULTADO E DISCUSSÃO .....	64
4.1	ETAPA DEFINE (DEFINIR) .....	64
4.1.1	Project Charter .....	64
4.1.2	Voz do Cliente .....	66
4.1.3	SIPOC .....	67
4.1.4	Passos Chave na Etapa Definir .....	68
4.2	ETAPA MEASURE (MEDIR) .....	69
4.2.1	Mapeamento do Processo .....	69
4.2.2	Diagrama de Causa e Efeito .....	70
4.2.3	Análise do Sistema de Medição .....	71
4.2.4	Estabelecimento do Base Line .....	72

4.2.5	Passos chaves na etapa Medir .....	73
4.3	ETAPA ANALYZE (ANALISAR) .....	73
4.3.1	Identificação das Causas Raízes .....	74
4.3.2	DPMO .....	76
4.3.3	Passos chaves da etapa Analisar .....	77
4.4	ETAPA IMPROVE (MELHORAR) .....	77
4.4.1	Implantação da Solução para EPDM Rasgado .....	78
4.4.2	Implantação da Solução para Crash Pad Empenado .....	79
4.4.3	Implantação da Solução para Quantidade de Operadores .....	81
4.4.4	Indicador de Refugo e Retrabalho .....	83
4.4.5	DPMO .....	84
4.4.6	Passos Chave da Etapa Melhorar .....	85
4.5	ETAPA CONTROL (CONTROLAR) .....	86
4.5.1	Crash Pad desencaixado na injeção de poliuretano .....	86
4.5.2	EPDM rasgando na moldagem .....	87
4.5.3	Quantidade de operadores .....	88
4.5.4	Passos chave da Etapa Controlar .....	89
5	CONCLUSÕES .....	90
	REFERÊNCIAS .....	91

## 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) Stratmann (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 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, implementando de forma integrada o 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 o refugo e retrabalho.

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 refugo e retrabalho da empresa pesquisada.

## **1.1 DESCRIÇÃO DA EMPRESA**

A empresa, objeto da aplicação das ferramentas do Lean Seis Sigma, possui plantas fabris nos continentes Americano, Europeu e Asiático. Como a grande maioria das empresas, sofre hoje, grande pressão do mercado para redução de custos. A empresa possui certificação ISO9001, ISOTS16949, ISO14001.

Características da empresa e produto:

- Volume de produção mensal de 5.400 peças;
- Clientes são da área automotiva;
- Base de fornecedores nacionais;

- Tipos de produtos: isolamento acústico e térmico para indústria automotiva;
- Célula de produção composta por 1 forno infravermelho, 2 portas molde, 1 injetora de poliuretano e 1 water jet;
- Funcionários: 80 entre operacional e administrativo;

A empresa vem se especializando na indústria de isolamentos acústicos e térmicos, pelo qual se objetiva atenuar ruídos, vibrações, ondas sonoras etc., na indústria automotiva.

Há cerca de um ano, 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 do custo de operação e no índice de refugo e retrabalho.

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.

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 Taubaté, interior do Estado de São Paulo, a qual caracteriza-se como de grande porte, atuando, principalmente, na produção de isolamentos térmicos e acústicos de veículos automotivos em geral.

No ano de 2016, os índices de refugo e retrabalho foram identificados 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 refugo e retrabalho na empresa em questão



foi de 6,16%, contra 4,5% observado nos últimos três meses de 2015, indicando, portanto, uma tendência para o agravamento do problema.

Os refugos e retrabalhos 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 do custo de processo e no índice de refugo e retrabalho, mediante aplicação do Lean Seis Sigma, associado ao DMAIC, em razão do cenário apresentado pela empresa em 2016, 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 2016, refere-se à confirmação, ou não, das contribuições que a aplicação do Lean Seis Sigma e DMAIC oferecem para a redução do custo de processo e no índice de refugo e retrabalho.

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 pelo custo de operação e do índice de refugo e retrabalho, 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, o custo de operação e no índice de refugo e retrabalho.

#### **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 pesquisada;
- Identificar as causas raiz do custo de operação e do índice de refugo e retrabalho no processo;
- Verificar o impacto da aplicação do DMAIC no custo de operação e do índice de refugo e retrabalho; 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, custo com operação, índice de refugo e retrabalho, 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 custo de operação e índice de refugo e retrabalho.

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 de poliuretano. 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.**

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. 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:



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).

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 Electric, 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:

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).

A Carta de Controle, mostrada na Figura 2, 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).

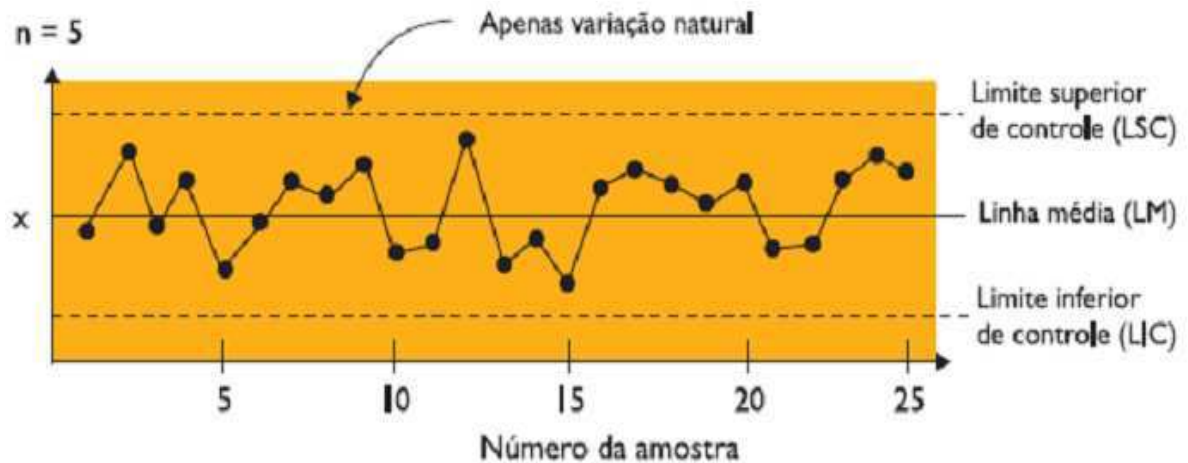


Figura 2 – Carta de controle

Fonte: (WERKEMA, 2012a)

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

Coefficiente de Potencial do Processo ( $C_p$ ) – 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  $C_p$  menor do que 1,0, ele é considerado incapaz de satisfazer as exigências. Quanto maior o  $C_p$  maior a capacidade do processo de atender as exigências das especificações (COSTA; EPPRECHT; CARPINETTI; 2004).

Coefficiente de Capacidade do Processo ( $C_{pk}$ ) – 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  $C_{pk}$  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 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 Hanara (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.

Similaridade entre o Seis Sigma e o Lean Manufacturing, são apresentados na Figura 3:

	<b>Seis Sigma</b>	<b>Lean Manufacturing</b>	<b>Observações</b>
<b>Origem</b>	Motorola (década de 80)	Toyota (década de 70)	Ambos incorporam princípios do TQM ( <i>Total Quality Management</i> )
<b>Liderança</b>	Abordagem de cima para baixo (" <i>top down</i> ")	Abordagem de cima para baixo (" <i>top down</i> ")	Ambos enfatizam comprometimento e suporte da liderança (YANG, 2004)
<b>Princípios, métodos e ferramentas</b>	Capabilidade e estabilidade dos processos, DMAIC, CTQs ( <i>Critical to Quality</i> ) (HAN; LEE, 2002); voz do cliente, eliminação de defeitos (YANG, 2004)	Busca de valor, quantidade e qualidade para os clientes quando ele necessita; 5 princípios (WOMACK, JONES, 1991)	Ambos têm traços do TQM, que pode ser visto como um pilar do <i>Lean Seis Sigma</i> (SHEEHY et al., 2002)
<b>Características de estrutura</b>	Gerenciamento de projetos com plano de melhoria	Gerenciamento de projetos com implementação de melhorias pelo MFV	Ambos guiados pela liderança com base em planejamento e execução (ANDERSON et al., 2006)
<b>Participantes</b>	<i>Green belts, black belts, masters black belts e champions</i>	Líder de <i>Kaizen</i> , Líder do Mapeamento do Fluxo de Valor (MFV), <i>Sensei</i>	-

Figura 3 – Similaridade entre o Seis Sigma e o Lean Manufacturing

Fonte: Salah et al (2010)

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: Poderia incorporar a filosofia vigente que procura maximizar o valor agregado presente em todas as operações; poderia avaliar constantemente os processos de forma a garantir que eles resultem em uma otimização global ao invés de uma otimização local; 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: Poderia alocar métodos direcionados por dados em todas as tomadas de decisão, de forma que as mudanças possuam bases científicas; poderia utilizar métodos que promovam a minimização da variação das características de qualidade; poderia projetar e implementar um regimento de educação e treinamento corporativo altamente estruturado.

A Figura 4 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.

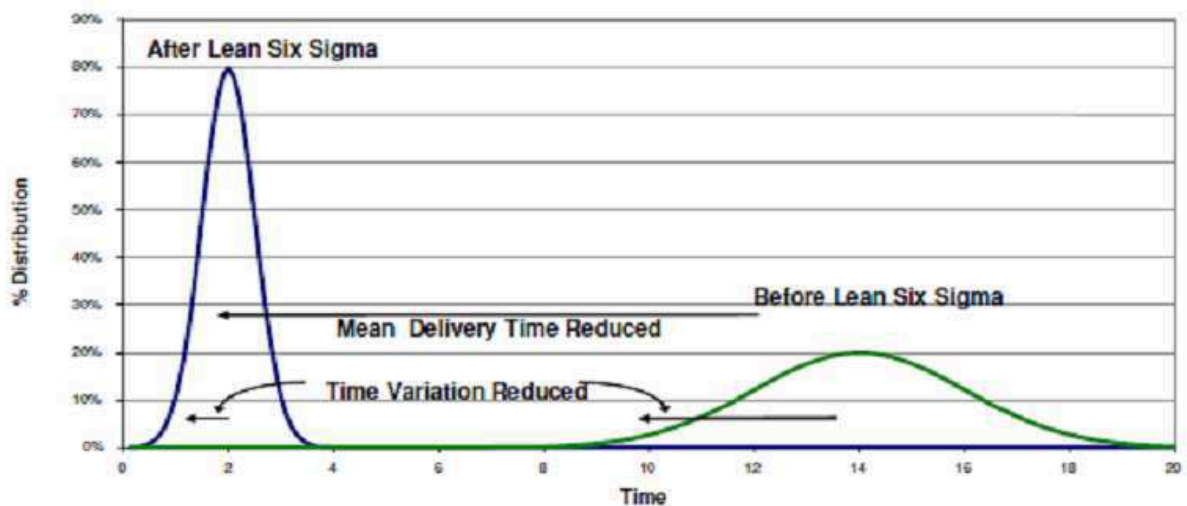


Figura 4 – Resultados da contribuição do Lean e Seis Sigma usados conjuntamente

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, independentemente do tipo de processo a ser melhorado.

A Figura 5 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	Lean Seis Sigma			
	Lean		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 5 – 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.

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 relacionadas 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.

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 Equação abaixo:

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

Equação 1 – Cálculo do DPMO

Fonte: (Zadok & Lewin, 2006)

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: 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)

O 5W2H apresentado na Figura 6 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 Lijian	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 6 – 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 7.

		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 <i>software</i> 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 7 – Exemplo matriz de priorização

Fonte: (WERKEMA, 2012a)

## **2.4 FERRAMENTAS DA QUALIDADE**

### **2.4.1 Diagrama de Causa e Efeito**

O diagrama de causa-efeito, também chamado diagrama de Ishikawa ou de espinha de peixe, é uma ferramenta simples muito utilizada em qualidade. É um processo que permite analisar e identificar as principais causas de variação do processo ou da ocorrência de um problema.

Segundo RAMOS (2000: 98), o diagrama de causa e efeito é uma figura composta de linhas e símbolos, que representam uma relação significativa entre um efeito e suas possíveis causas. Este diagrama descreve situações complexas, que seriam muito difíceis de serem descritas e interpretadas somente por palavras. “Existem, provavelmente, várias categorias de causas principais. Frequentemente, estas recaem sobre umas das seguintes categorias: Mão de obra, Máquinas, Métodos, Materiais, Meio Ambiente e Meio de Medição conhecidas como os 6Ms.

Para KUME (1993: 30), “ O diagrama de causa efeito mostra a relação entre uma característica da qualidade e os fatores. O diagrama é usado atualmente não apenas para lidar com as características da qualidade do produto, mas também em outros campos”.

Veja-se a representação efetuada por meio da Figura 8:

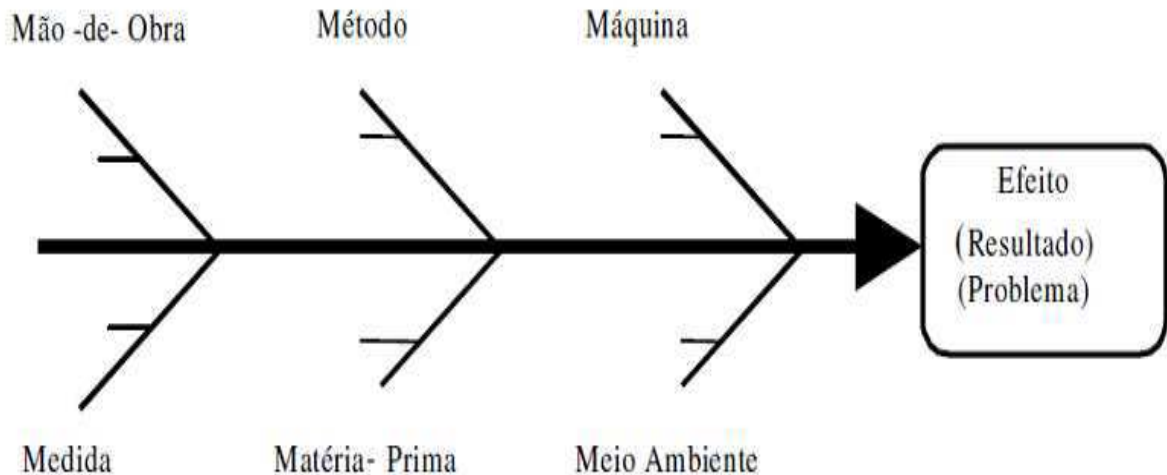


Figura 8 - Representação gráfica do diagrama de causa e efeito

Fonte: Campos (1999)

#### 2.4.2 Diagrama de Pareto

A ideia do Diagrama de Pareto como objetivo é eliminar todas as causas que influenciam diretamente no aumento de perdas de produção e as poucas causas que determinam muitas perdas, dessa forma, diminui-se substancialmente o desperdício. As demais causas são relevadas, no entanto, se a causa de alguns poucos defeitos tem a solução simples, deve ser executada e eliminada imediatamente.

De acordo com KUME (1993: 22), os problemas de qualidade aparecem sob a forma de perdas (itens defeituosos e seus custos). É extremamente importante esclarecer a forma de distribuição das perdas. A maioria deles deve-se a alguns poucos tipos de defeitos, que podem ser atribuídos a uma pequena quantidade de causas. Assim, se as causas destes poucos defeitos vitais forem identificadas, poderemos eliminar quase todas as perdas concentrando-nos sobre estas causas

principais, deixando de lado, numa abordagem preliminar, os outros defeitos que são muitos e triviais. Podemos resolver este tipo de problema de uma forma eficiente, através da utilização do diagrama de Pareto.

Segundo RAMOS (2000: 100), “O diagrama de Pareto é usado quando é preciso dar atenção aos problemas de uma maneira sistemática e quando se tem um grande número de problemas e recursos limitados para resolvê-los”.

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.

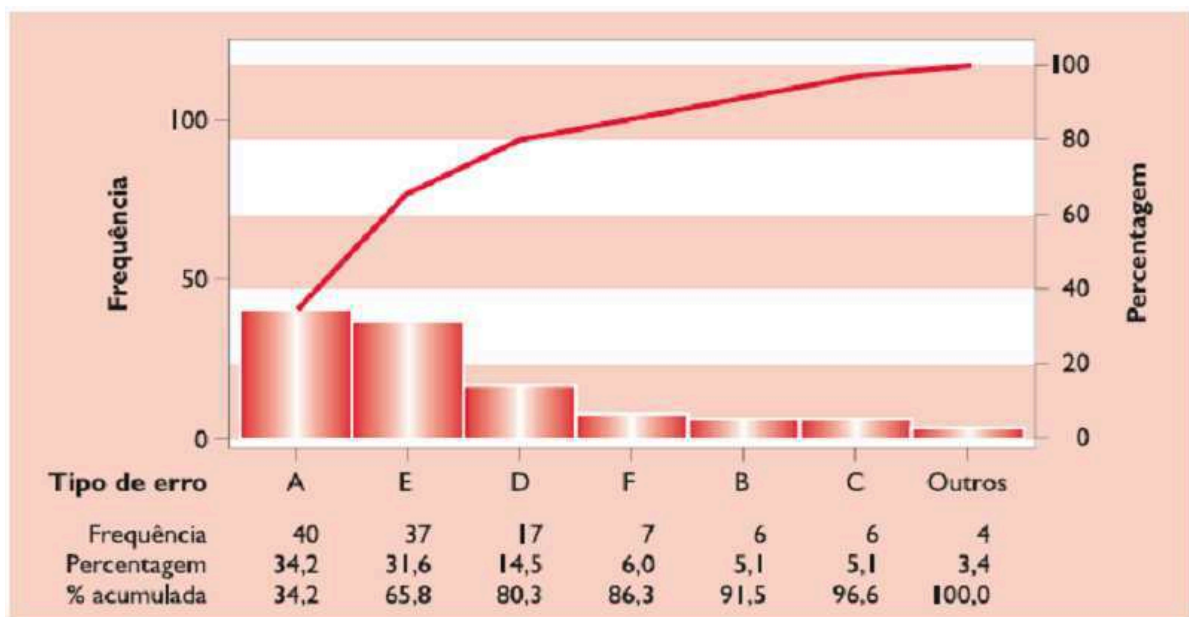


Figura 9 – Exemplo de Diagrama de Pareto

Fonte: (WERKEMA, 2012a)



### 2.4.3 SIPOC

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).

Esse diagrama é denominado SIPOC, figura 10. 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 10 – Exemplo de SIPOC

Fonte: (WERKEMA, 2012a)



#### 2.4.4 Histograma

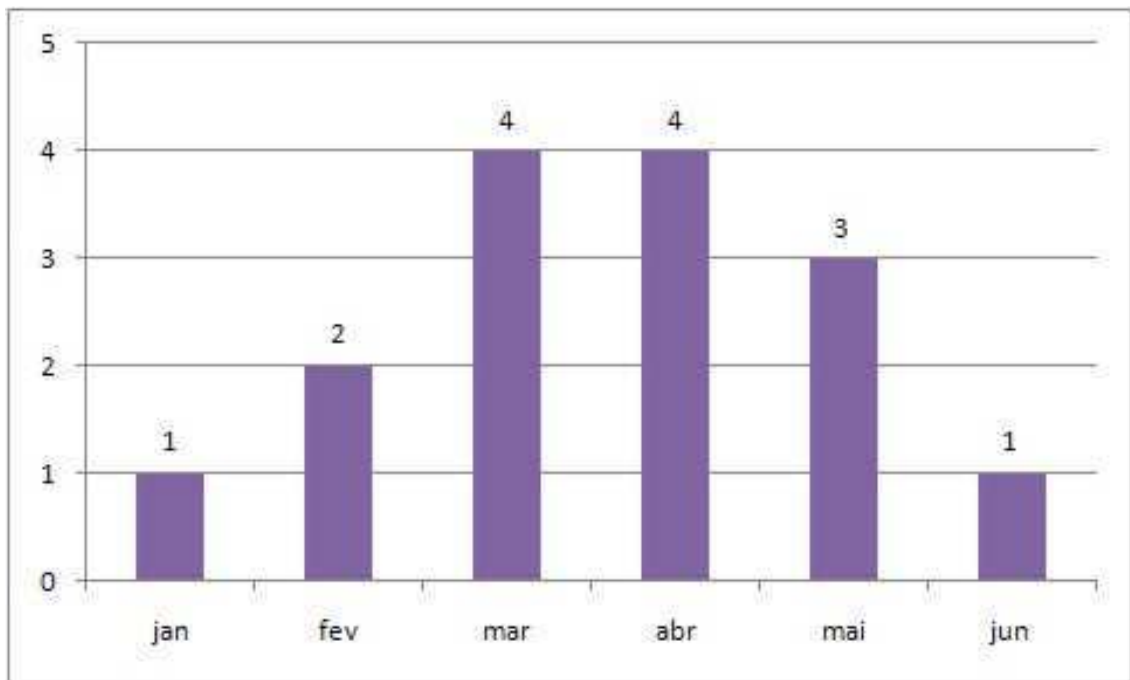
Todas as características de um produto ou serviço apresentam naturalmente uma variabilidade. Porém se o processo estiver sob controle estatístico, essa variabilidade se dará de acordo com um padrão que é conhecido como distribuição. "distribuição é um modelo estatístico para o padrão de ocorrência dos valores de uma determinada população." (WERKEMA, 2006).

Para que se conheça o padrão, ou como a distribuição de uma determinada população se comporta, Werkema (2006) afirma se que deve-se coletar uma amostra desta população de interesse e medir os valores assumidos pela variável considerada. Para uma melhor eficiência, maior deve ser o tamanho dessa amostra, por outro lado, quanto maior for a amostra, maior será a dificuldade de percepção da característica dessa distribuição, com o intuito de facilitar essa visualização, deve se utilizar o histograma, que é uma ferramenta que permite resumir as informações que estão contidas em um grande conjunto de dados.

" O histograma é um gráfico de barras no qual o eixo é horizontal, subdividido em vários pequenos intervalos, apresenta os valores assumidos por uma variável de interesse." (WERKEMA, 2006)

Para cada um dos pequenos intervalos, uma barra vertical é construída, proporcional e frequência com que aquele intervalo ocorre. O histograma dispõe as informações de maneira que é possível ter a percepção da localização do valor central e da dispersão dos dados em torno desse valor central, e também permite visualizar a forma da distribuição de um conjunto de dados.

Figura 11 Exemplo de um Histograma



Fonte adaptada: (WERKEMA, 2006)

### 2.4.5 Fluxograma

O fluxograma é uma das primeiras ferramentas quando se pretende estudar um processo. É o diagrama que tende a representar de uma forma simples, fácil e ordenada as várias fases do processo de fabricação ou de qualquer procedimento, funcionamento de equipamentos e sistemas. Os diagramas são constituídos por etapas sequenciadas de decisão e ação, onde cada um deles possui uma simbologia própria que ajuda a compreender o sistema de sua natureza: início ação, decisão, etc.

De acordo com RAMOS (2000: 102) “Grande parte da variação existente em um processo pode ser eliminada somente quando se conhece o processo de fabricação. Isto significa que a sequência de produção, ou etapas, influenciam na variabilidade final das características do produto”.

A utilização de fluxogramas permite identificar possíveis causas e origens dos problemas que ocorrem nas linhas de processo de fabricação, verificando os passos desnecessários no processo, efetuando simplificações.

Segundo Lins (1993), o fluxograma destina-se à descrição de processos. Um processo é uma determinada combinação de equipamentos, pessoas, métodos, ferramentas e matéria-prima, que geram um produto ou serviço com determinadas características.

Fluxogramas são formas de representar, por meio de símbolos gráficos, a sequência dos passos de um trabalho para facilitar sua análise. Um fluxograma é um recurso visual utilizado pelos gerentes de produção para analisar sistemas produtivos, buscando identificar oportunidades de melhorar a eficiência dos processos. (PEINADO; GRAEML, 2007).

Para Oliveira (2009), fluxograma é uma técnica de representação gráfica que se utiliza de símbolos previamente convencionados, permitindo a descrição clara e precisa do fluxo ou sequência de um processo, bem como sua análise e redesenho.

Os aspectos principais de um fluxograma, segundo Oliveira (2002) são os seguintes: (I) padronizar a representação dos métodos e os procedimentos administrativos; (II) Maior rapidez na descrição dos métodos administrativos; (III) facilitar a leitura e o entendimento; (IV) facilitar a localização e a identificação dos aspectos mais importantes; (V) Maior flexibilidade; (VI) Melhor grau de análise.



Segundo Grimas (2008), o fluxograma apresenta uma série de vantagens, que podem ser resumidas em:

- Apresentação real do funcionamento de todos os componentes de um método produtivo. Esse aspecto proporciona e facilita a análise da eficiência do sistema;
- Possibilidade da apresentação de uma filosofia de administração, atuando, principalmente, como fator psicológico;
- Propiciar o levantamento e a análise de qualquer método produtivo desde o mais simples ao mais complexo, desde o mais específico ao de maior abrangência.

A análise do fluxograma se dá através de símbolos padronizados na maioria das vezes, que servem para visualizar o fluxo de trabalho nas organizações (ROSA, 2006).

Conforme Oliveira (2002), “O símbolo utilizado nos fluxogramas tem por objetivo evidenciar origem, processo e destino, através da informação escrita e/ou verbal, de componentes de um sistema administrativo”. Na figura 12 são apresentados os símbolos utilizados na realização da pesquisa.

Figura 12 – Simbologia de fluxogramas utilizados para processos industriais

Símbolo	Processo	Descrição
	Início/Final	Identifica pontos de início ou de conclusão de um processo.
	Operação	Ocorre quando se modifica intencionalmente um objeto em qualquer de suas características físicas ou químicas, ou também quando se monta ou desmontam componentes e partes.
	Transporte	Ocorre quando um objeto ou matéria prima é transferido de um lugar para o outro, de uma seção para outra, de um prédio para outro.
	Espera	Ocorre quando um objeto ou matéria prima é colocado intencionalmente numa posição estática. O material permanece aguardando processamento ou encaminhamento
	Inspeção	Ocorre quando um objeto ou matéria-prima é examinado para sua identificação, quantidade ou condição de qualidade.
	Armazenagem	Ocorre quando um objeto ou matéria-prima é mantido em área protegida específica na forma de estoque.

Fonte: (Peinado e Graeml, 2007)

O resultado final dos fluxos de informação é normalmente, um mapa que permite ao analista o perfeito entendimento a respeito dos caminhos seguidos pelos dados e informações, suas origens e destinos e a qualidade de seu conteúdo, incluindo o que for necessária adequação destes dados ou informações ao ambiente de destino (RAMOS, 2006).

## 2.5 ISOLAMENTO ACUSTICO E TERMICO

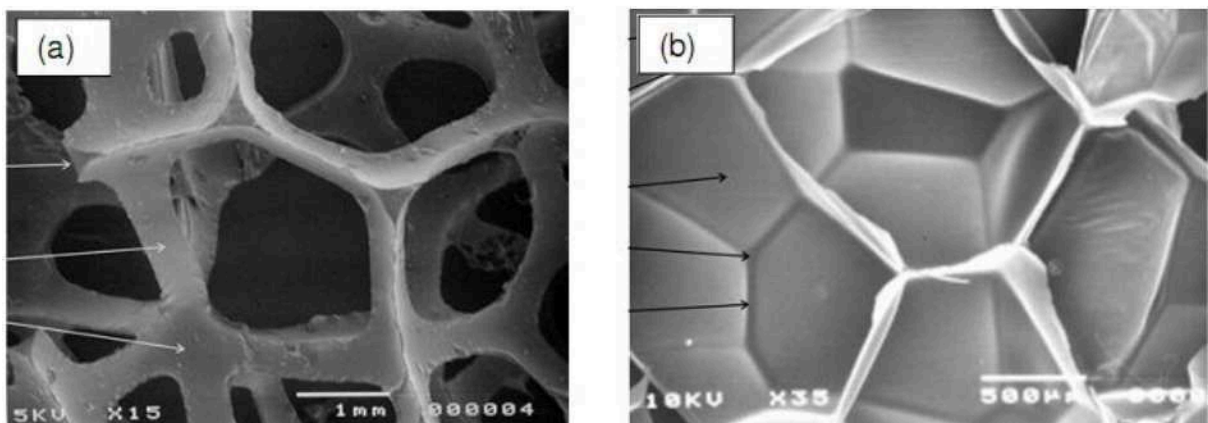
A ideia é atenuar a entrada ou saída de som ou da redução de impactos. Além destas funções, existem materiais que o isolamento também proporciona melhora na sensação térmica. Normalmente um bom projeto acústico prevê o isolamento, defletores e absorsores acústicos utilizados com critérios bem definidos, objetivando

a melhor eficácia no resultado final. Para isto, deve-se levar em consideração o desempenho acústico dos materiais a serem aplicados, sua fixação, posição relativa à fonte de ruído.

Kipper (2008) afirma que as espumas rígidas possuem uma estrutura rígida altamente reticulada e com células fechadas, responsável pelas suas propriedades mecânicas. E, além disso, a condutividade térmica do gás (ar) retido nestas células fechadas e o fator preponderante nas propriedades isolantes da espuma, visto que o ar é reconhecido como um excelente isolante térmico.

Sendo assim, a tendência é que as espumas rígidas sejam bons isolantes térmicos e os poliuretanos flexíveis sejam bons absorventes sonoros fazendo com o que as ondas sonoras sejam absorvidas, ao percorrer as células abertas, como da figura 13.

Figura 13 - Microfotografia de espumas de PU de (a) célula aberta e (b) células fechadas



Fonte (Veronese, 2009)

A sensação de conforto, tão importante a saúde e ao bem-estar dos indivíduos, é alcançado quando os usuários de um ambiente ficam satisfeitos com as condições de temperatura e umidade, associada ao movimento das, massa de ar e radiação térmica, que os rodeia, além das condições de luminosidade e acústica dos

espaços. A necessidade de conforto ambiental representa uma constante para a sociedade em todos os seus aspectos. Assim, o conforto térmico e o conforto acústico definem o nível e as condições de conforto do ambiente.

Freitas (2005) comenta que o conforto está relacionado a questões psicológicas de identificação e satisfação com o local, bem como as condições físicas de temperatura e acústica.

Ilda (1995) ressaltou que as condições ambientais desfavoráveis, como excesso de calor ou de frio, ruídos e vibrações causam desconforto, aumentam o risco de acidente e podem causar danos consideráveis à saúde.

Segundo ASHRAE (1992), conforto térmico é "um estado de espírito que reflete satisfação com o ambiente térmico que envolve a pessoa"

Para Lambert (2007), o conforto térmico é definido como o estado mental que expressa a satisfação do homem com o ambiente térmico que o circunda.

Halliday (1996) afirma que o som se propaga uniformemente em todas as direções, diminuindo a sua amplitude à medida que se afasta da fonte sonora em condições de campo livre. Ao encontrar um obstáculo, parte do som é refletida, outra parte do som é absorvida pelo obstáculo e outra parte do som será transmitida pelo obstáculo. AS quantidades de som refletidas, absorvidas e transmitidas dependem do comprimento de onda e da amplitude do som e das propriedades do material que compõem o obstáculo.

## 2.6 INJEÇÃO DE POLIURETANO

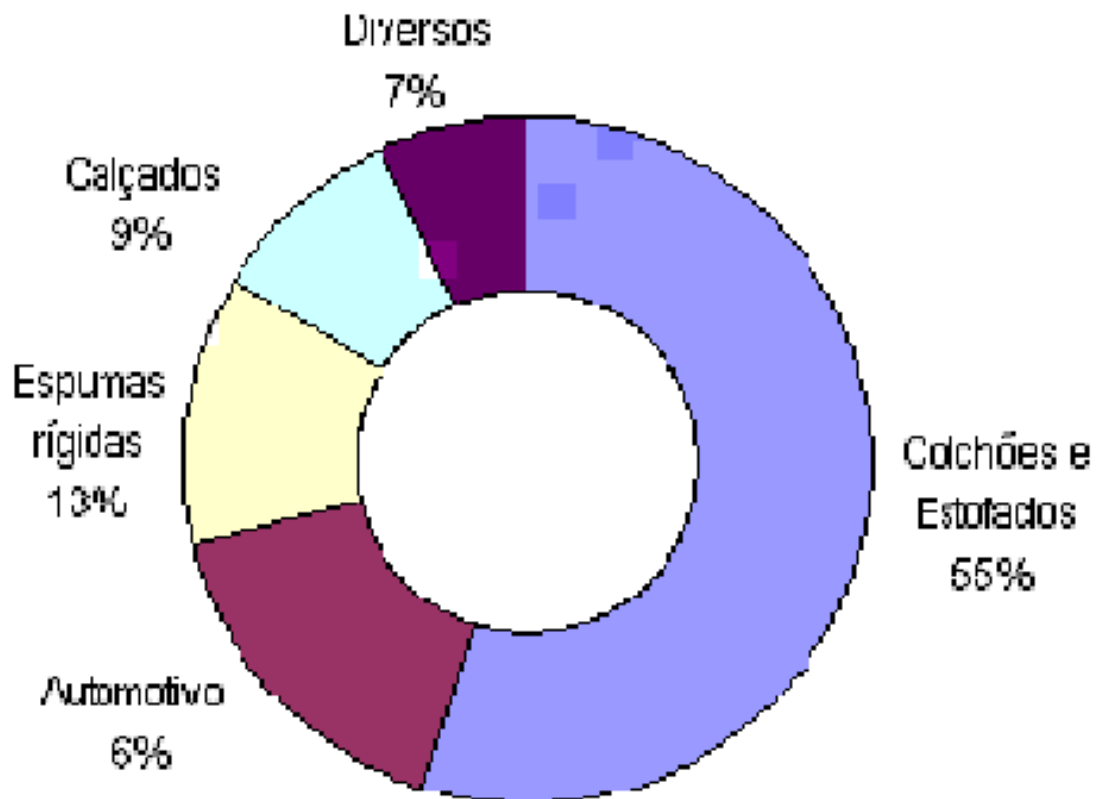
Várias definições são dadas para as espumas plásticas, como materiais constituídos por uma fase sólida de uma matriz polimérica e por uma fase gasosa derivada de um agente expensor, chamando-os também de plásticos expandidos ou plásticos celulares.

Segundo Michaeli et al. (1995), as espumas podem ser definidas como plásticos nos quais estão inseridas bolhas de gás ou como materiais compostos polímero-enchimento, sendo o enchimento as células de gás.

Os polímeros poliuretânicos foram desenvolvidos por Otto Bayer em 1937. Portanto, o desenvolvimento comercial dos poliuretanos iniciou no final da década de 30 na Alemanha com a fabricação de espumas rígidas, adesivos e tintas, enquanto que o desenvolvimento comercial de espumas flexíveis de poliuretano (PU) tem registro da década de 50. Já os poliuretanos na forma expandida para uso em isolamento térmico foram desenvolvidos na década de 60. Atualmente as principais aplicações dos poliuretanos encontram-se na indústria automobilística (espumas semi-rígidas), na construção civil (espumas rígidas), em colchões, estofados e assentos (espuma flexível) e na indústria de calçados (poliuretano micro celular).



Figura 14 – Consumo de PU por segmento no Brasil



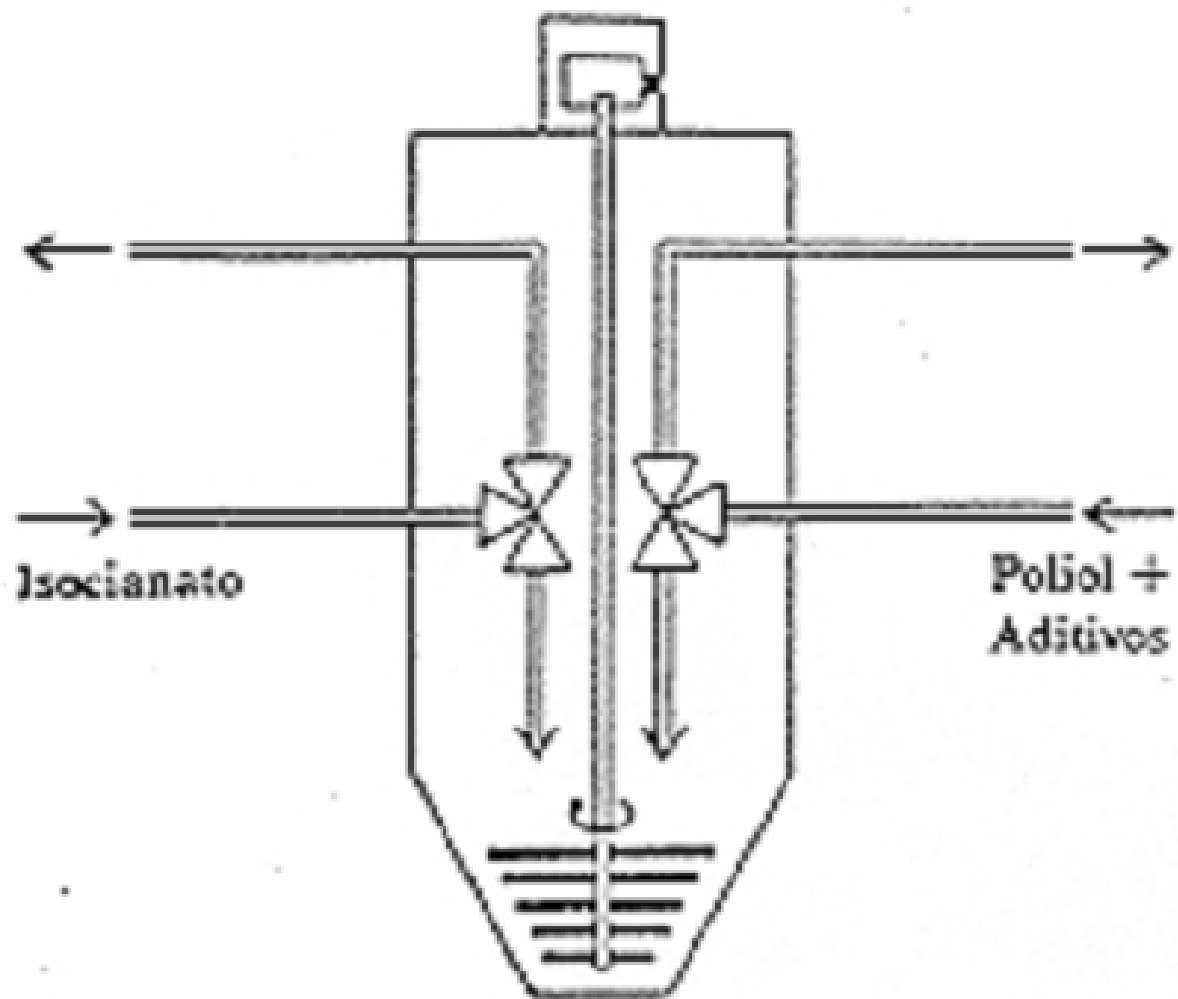
Fonte: (Vilar, 2001).

O equipamento adequado para a indústria de espuma de poliuretano precisa executar as seguintes operações básicas: controle de temperatura dos componentes; dosagem precisa dos componentes e transporte ao cabeçote misturador; mistura dos componentes em um curto período de tempo; e descarga dos componentes misturados.

A temperatura é controlada através de trocadores de calor, que são conectados à água gelada ou quente. A temperatura entre os componentes precisa ser mantida constante dentro de mais ou menos 1°C para impedir diferenças de reatividade e na viscosidade. As temperaturas de trabalho estão normalmente entre 20 e 27°C. A dosagem apropriada dos componentes é controlada através de bombas calibradas, que são do tipo deslocamento positivo (preferidas para os casos de polióis viscosos para espumas rígidas) ou do tipo centrífuga.

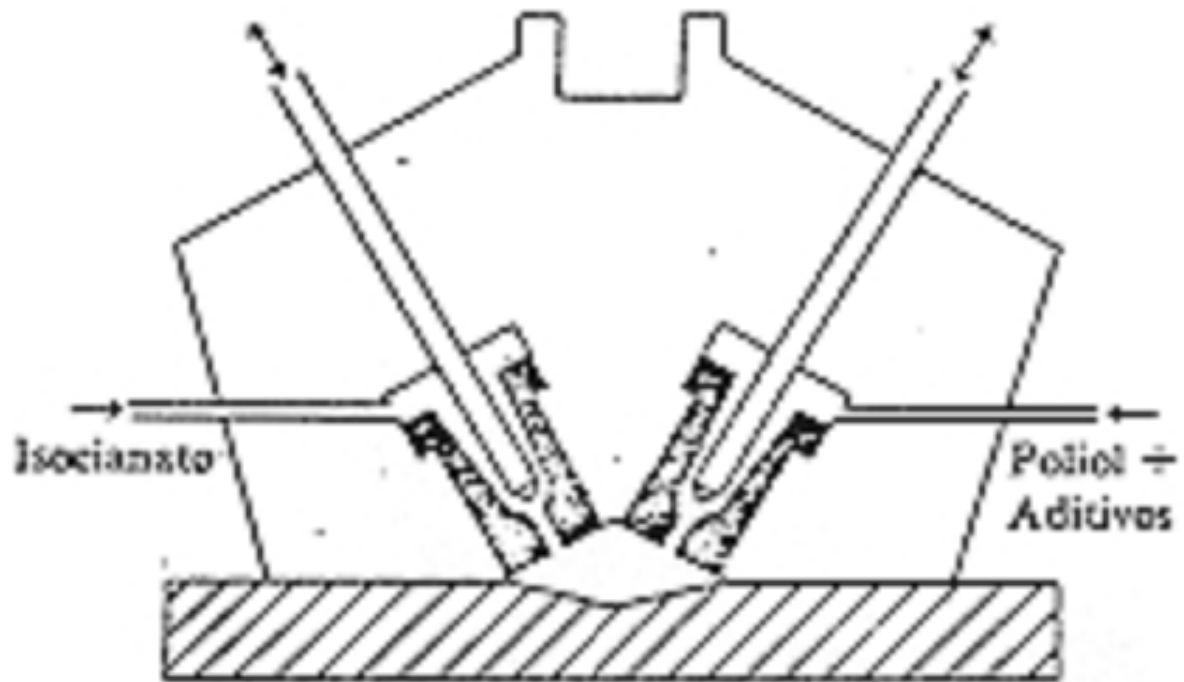
A mistura dos componentes pode ser realizada de dois modos: Baixa pressão; alta pressão. As Figuras 15 e 16 mostram esquemas de cabeçotes de mistura de baixa e de alta pressão respectivamente.

Figura 15 - Cabeçote de mistura para baixa pressão



Fonte: (Dow, 1997).

Figura 16 - Cabeçote de mistura para alta pressão



Fonte: (Dow, 1997).

O esquema ilustrado na Figura 17 mostra o momento da mistura dos materiais líquidos na câmara de mistura do cabeçote. A partir dos transdutores posicionados no cabeçote, tem-se a leitura das três importantes variáveis do processo de injeção de PUR: tempo de injeção ou vazão dos materiais líquidos; pressão de injeção; e temperatura do material.

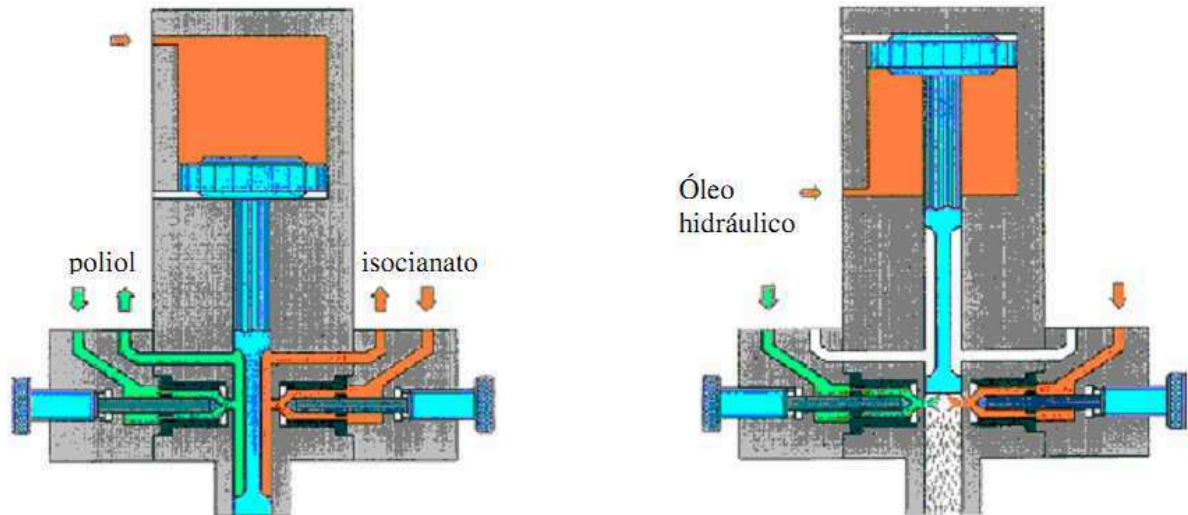


Figura 17 – Esquema de injeção de um cabeçote hidráulico de alta pressão (Luckmann, 1999).

A Figura 18 ilustra o esquema funcional do processo de injeção de uma porta de refrigerador: colocação das peças de estrutura no porta-molde (chapa metálica, cabeceiras de ABS e painel de PSAI); avanço do cabeçote; material líquido entra em alta pressão; injeção; recuo do cabeçote; fechamento do porta-molde; tempo de cura; abertura da porta molde; retirada da peça espumada.

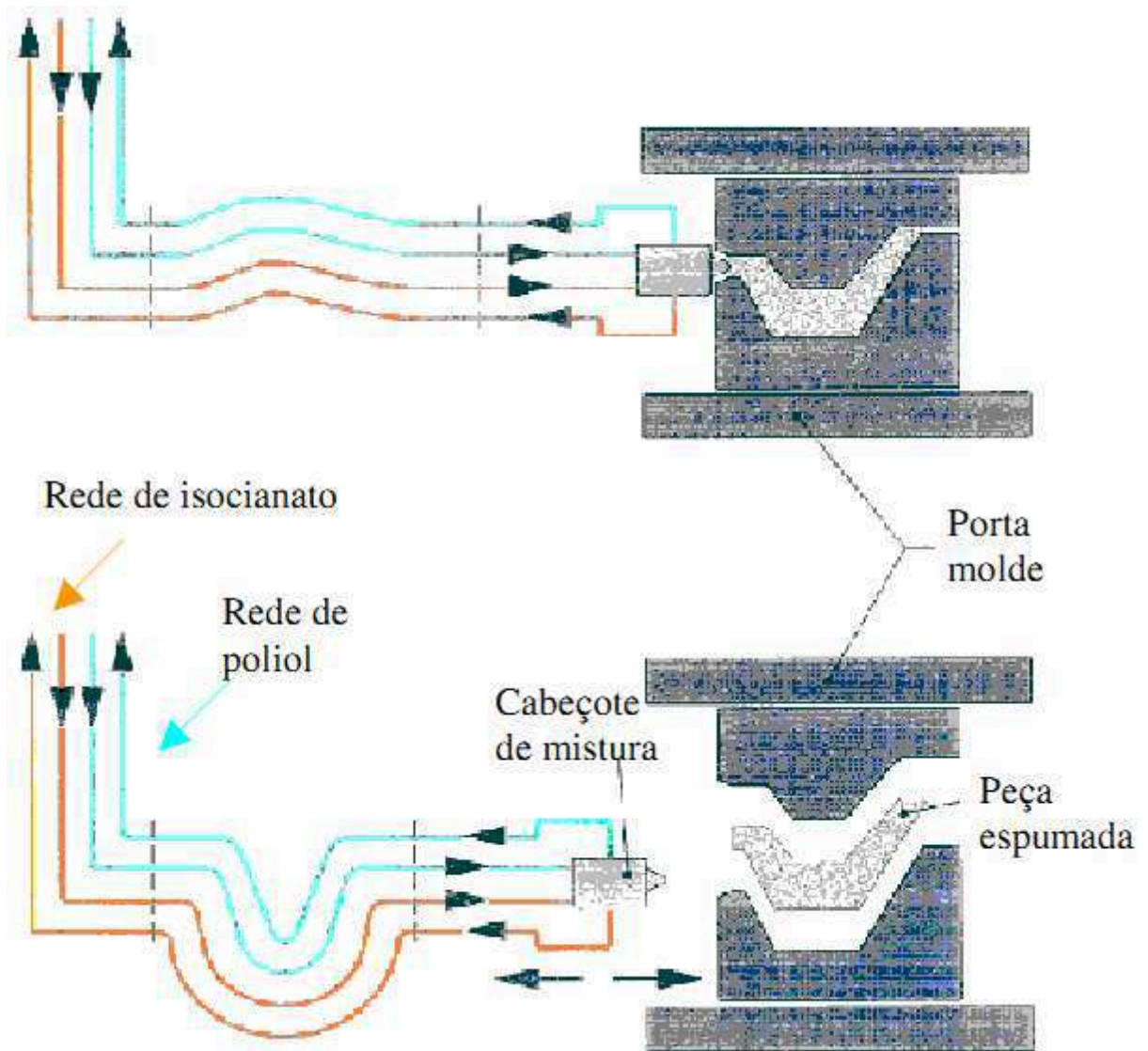


Figura 18 – Esquema simplificado do processo de injeção (Luckmann, 1999).

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).

### 3 METODOLOGIA

Nos processos de moldagem do EPDM e injeção de poliuretano, o índice de refugos e retrabalhos são apontadas pela produção como um dos maiores problemas na rotina de trabalho, invalidando o planejamento para as operações diárias. Existe também a necessidade de reduzir os custos com a operação.

O índice médio de refugos e retrabalhos nos três primeiros meses do ano de 2016 está em 6%. O problema vem apresentando uma tendência para o agravamento e o número de reclamações dos clientes e de devoluções de produtos vem aumentando drasticamente.

Com a aplicação dessa metodologia a empresa deixará de ter prejuízos decorrentes dos refugos, retrabalhos, 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).

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 refugos e retrabalhos, referente ao período de janeiro a março de 2016.
2. Formação do time de trabalho: o time de trabalho foi formado por 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. Construção do diagrama de causa e efeito, colocando as principais causas para ocorrências, ou seja, as entradas do processo.

8. calcular o DPMO, por onde foi calculado o nível sigma e os defeitos por milhão de oportunidades.

9. 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.

10. 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.

11. Revisar os passos chaves da fase medir.

12. 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.

13. elaborar os gráficos de Pareto para as causas prioritárias.

14. Revisar os passos chaves da fase analisar.

15. A primeira ação na etapa melhorar foi definir quais poderiam ser as possíveis soluções ao problema.

16. implementar as potenciais soluções encontradas para as causas prioritárias e controlar seu impacto para redução dos refugos e retrabalhos.

17. Calcular o índice DPMO, nível Sigma e índice de refugos e retrabalhos após as implementações.

18. Revisar os passos chaves da fase melhorar.

19. elaborar o monitoramento do processo através da implementação de indicadores e plano de controle para manter os ganhos a longo prazo.

20. Revisar procedimentos internos para adequação da alteração do processo perante a ISO9001.

21. 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 19, 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.

#### **Project Charter**

Título: Reduzir o índice de refugo e retrabalho

Patrocinador: Gerente da planta

Green Belt: Tiago Henrique Santos

Equipe: um integrante da produção, um da manutenção, um analista da qualidade e um técnico de processo

**1 - VOC:**

Reduzir os custos com a operação e as perdas de produção por refugo e retrabalho na produção

**2 - Oportunidade/Definição do Problema:**

O que está acontecendo?

Nos processos de moldagem do EPDM e injeção de poliuretano, o índice de refugos e retrabalhos são apontadas pela produção como um dos maiores problemas na rotina de trabalho, invalidando o planejamento para as operações diárias.

Em 2016, o índice médio de refugos e retrabalhos foi de 6%, contra 4,5% em 2015. O problema vem apresentando uma tendência para o agravamento e o número de reclamações dos clientes e de devoluções de produtos vem aumentando drasticamente.

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

A empresa deixará de ter prejuízos decorrentes dos refugos, retrabalhos, 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).

**4 - Definição do Defeito / CTQ (mensurável):**

Custos de operação e o índice de refugos e retrabalhos.

**5 - Definição do Escopo do Projeto:**

Processos de moldagem do EPDM e de injeção de poliuretano.

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

Reduzir em 50% o índice de refugo e retrabalho até 30/06/2016.

## 7 - Fatores viabilizadores:

Tempo adicional da mão de obra produtiva para apontamento de refugo e retrabalho num formulário específico ao projeto.

Objetivo (s) de Desempenho	Atuais	Estimados
Refugo e Retrabalho	6 %	3%

Data estimada de início do Projeto: 04/04/2016

Data estimada para Encerramento: 30/06/2016

Figura 19 – 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 refugos e retrabalhos, os 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 dos custos com a operação e dos índices de refugos e retrabalhos 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 20.

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.

<b>S</b>	<b>I</b>	<b>P</b>	<b>O</b>	<b>C</b>
<b>Suppliers</b> <b>Fornecedores</b>	<b>Inputs</b> <b>Insumos</b>	<b>Process</b> <b>Processo</b>	<b>Outputs</b> <b>Produtos</b>	<b>Customers</b> <b>Clientes</b>
Fornecedores Diversos	Matéria Prima	Receber Matéria Prima	Relatórios de Inspeção e Recebimento	Almoxarifado
Logística	EPDM	Moldar o EPDM	EPDM moldado	Operador
Operador	Posicionar o EPDM moldado na injetora	Encaixar o crash pad Injetar o poliuretano	Produto inacabado	Operador
Operador	Posicionar o produto inacabado na mesa de corte	Cortar no Water Jet	Produto acabado	Operador
Operador	Produto acabado	Refilar e inspecionar no dispositivo de Controle Dimensional	Produto	Operador
Operador	Produto	Emballar e etiquetar	Produto embalado	Logística

Figura 20 - Diagrama SIPOC

#### 4.1.4 Passos Chave 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 índice de refugo e retrabalho 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 21, 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.

Mapeamento de processo, explicitado na Figura 21,

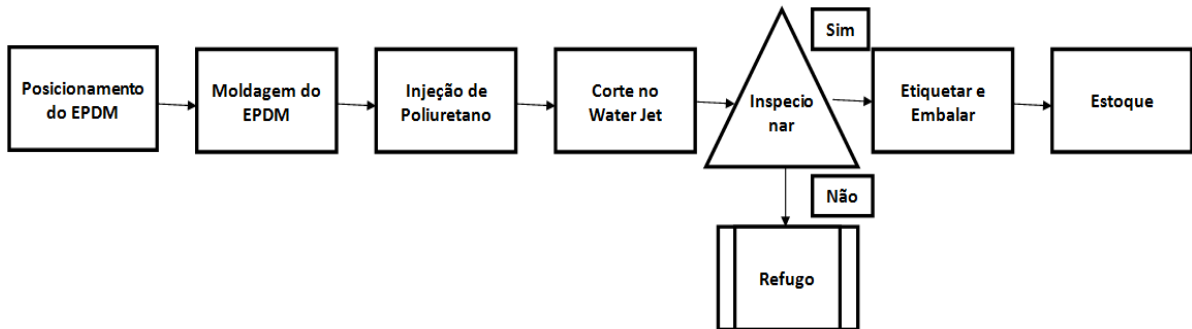


Figura 21 - Mapeamento do processo de moldagem e injeção de poliuretano

#### 4.2.2 Diagrama de Causa e Efeito

Para a redução de custo com a operação e com o índice de refugo e retrabalho foi elaborado o diagrama de causa e efeito, o qual apresenta as principais causas para sua ocorrência, ou seja, as entradas do processo, conforme de mostra a Figura 22.

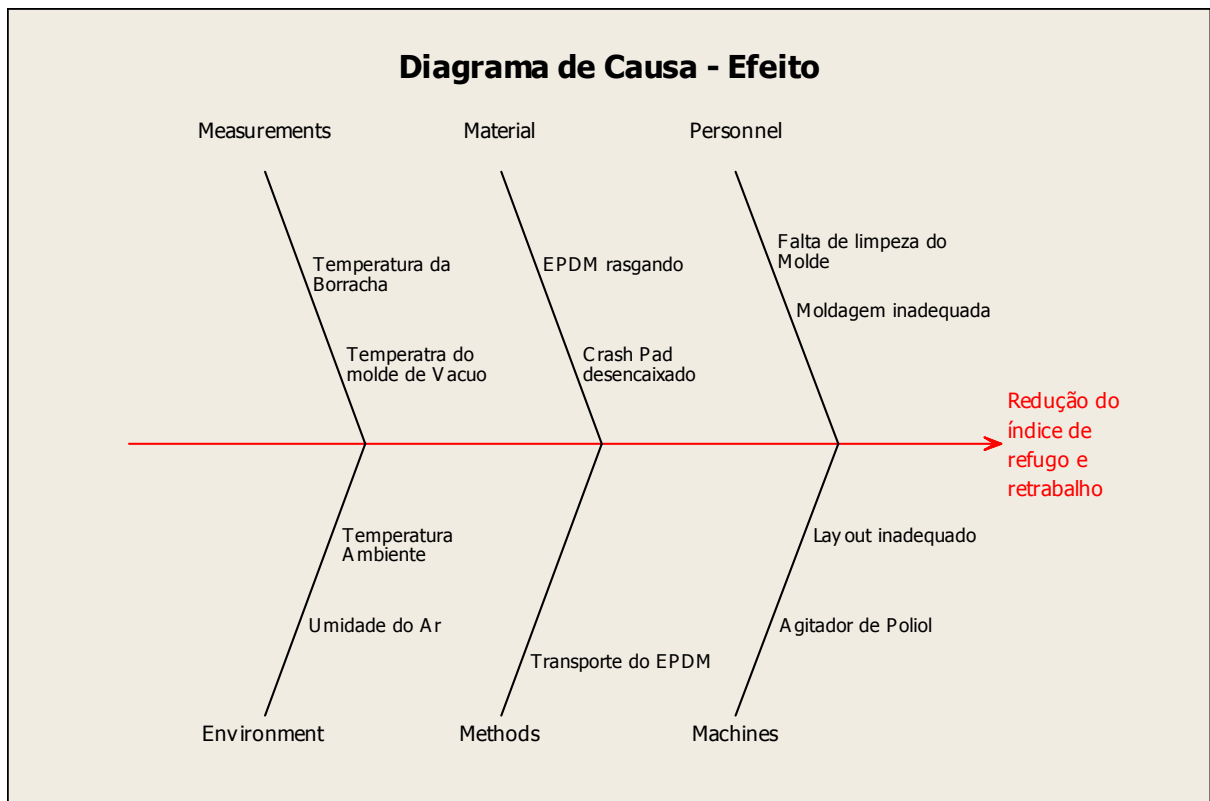


Figura 22 – Diagrama de causa e efeito para a redução de custo com a operação e com o índice de refugo e retrabalho

#### 4.2.3 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.

Nas Figuras 23 e 24 estão demonstrados os dados em porcentagem de refugos e retrabalhos, os quais foram coletados do processo de produção.

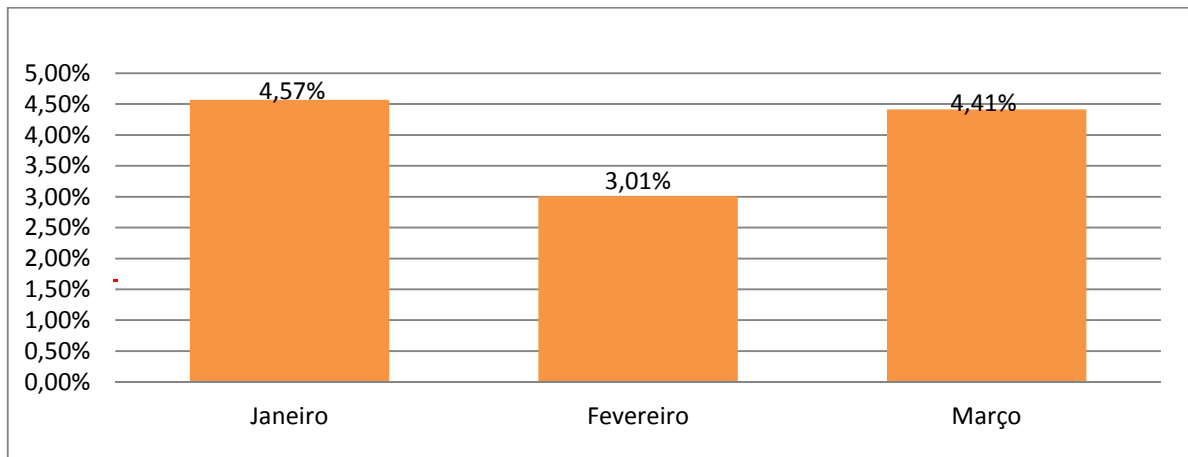


Figura 23 – Porcentagem de refugo nos três primeiros meses de 2016.



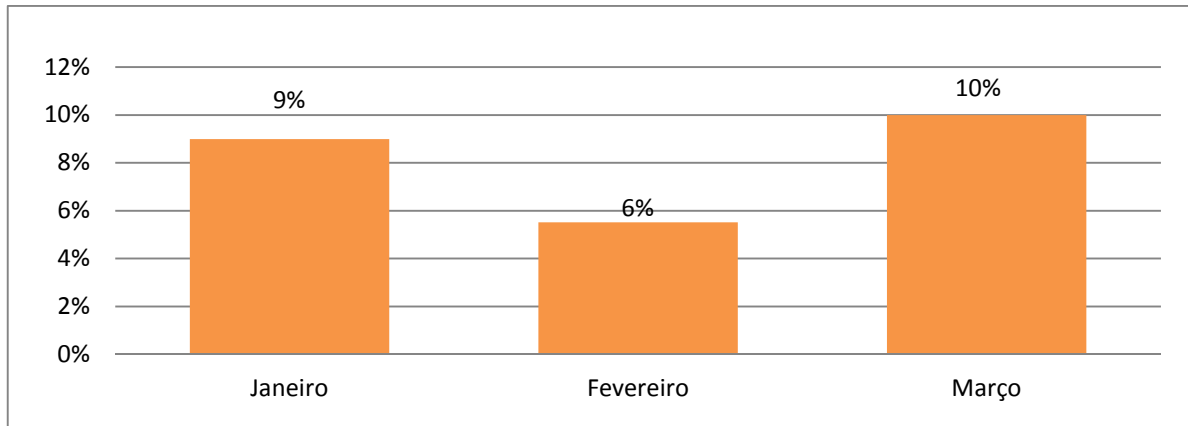


Figura 24 – Porcentagem de retrabalho nos três primeiros meses de 2016.

Os dados foram coletados no período de janeiro a março de 2016.

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 a base line do projeto LSS.

#### 4.2.4 Estabelecimento do Base Line

Na etapa Medir, o objetivo é estabelecer uma referência contra a qual podemos medir os melhoramentos alcançados pelo projeto LSS. A base line do projeto LSS em questão foi o índice de refugos e retrabalhos demonstrado nas figuras 23 e 24.

O gráfico usado para análise do índice de refugo e retrabalho foi utilizado, onde os dados são visualizados em colunas. Neste caso em específico, não foram explorados os limites de controle e a amplitude do processo. Conforme citado anteriormente, apenas verificou-se o comportamento do índice de refugo e retrabalho no período.

#### **4.2.5 Passos Chave 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 refugos e retrabalhos na produção, já que o objetivo da empresa era a redução de refugos retrabalhos.

### 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 25, 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 refugos e retrabalhos 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 refugos e retrabalhos.

Impacto		Matriz de Causa e Efeito					Total
		9	9	3	4	5	
Possíveis Causas		Refugo	Retrabalho				
1	EPDM rasgando na moldagem	9	9				162
2	Crash Pad desencaixado na injeção de poliuretano	9	9				162
3	Transporte do EPDM	1	9				90
4	Falta de Limpeza do Molde	3	3				54
5	Umidade do ar	3	3				54
6	Temperatura Ambiente	3	3				54
7	Temperatura do Molde de Vacuo	3	3				54
8	Temperatura da borracha	3	3				54
9	Layout inadequado	3	3				54
10	Moldagem inadequada	3	3				54
11	Agitador de Poliou	3	3				54
Total		43	51				846

Figura 25 – 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 refugos e retrabalhos”; 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 26 temos o gráfico de Pareto com as principais causas dos refugos e retrabalhos; as entradas mais críticas ao processo ou as causas raízes foram: Crash pad desencaixado na injeção de poliuretano com 19,1%, EPDM rasgando na moldagem 19,1% e Transporte do EPDM com 10,6% todas tratadas pela empresa pesquisada.

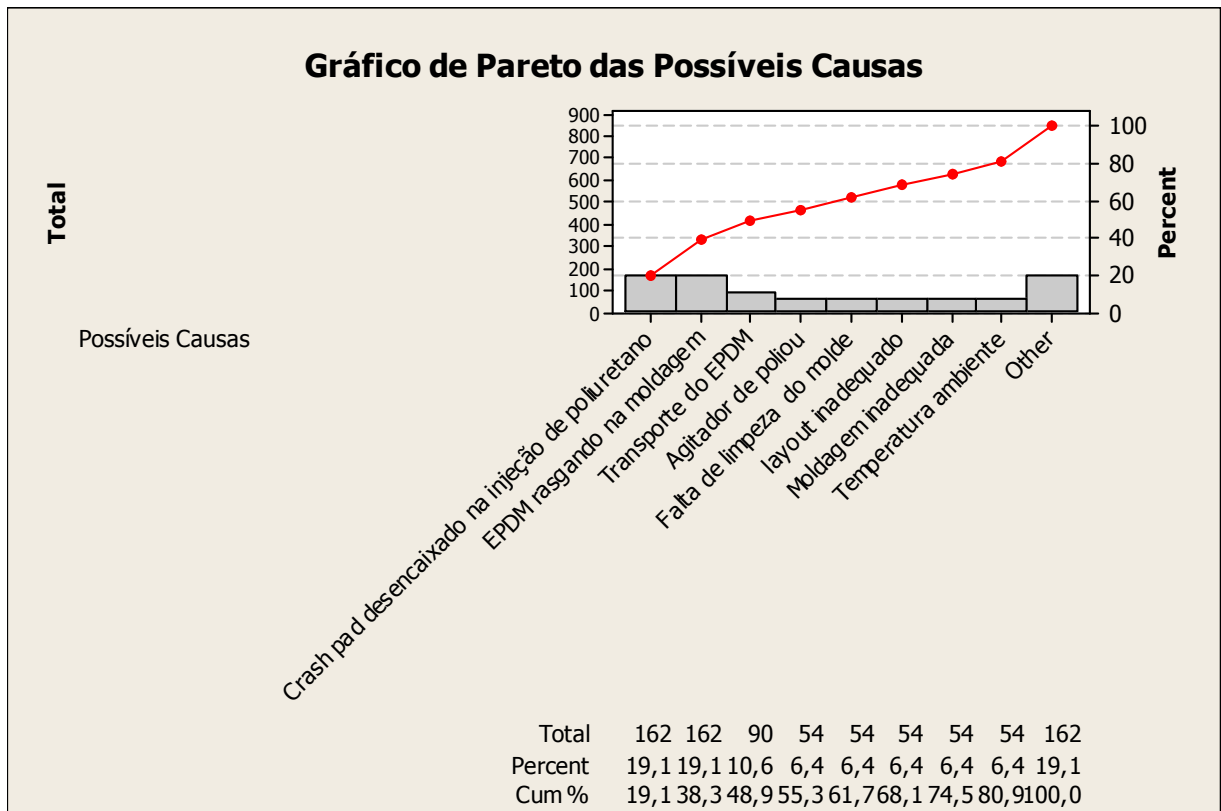


Figura 26 – Gráfico de Pareto das possíveis causas

### 4.3.2 DPMO

O nível sigma foi calculado pela expressão DPMO (defeitos por milhão de oportunidades), sendo que a Unidade com erro é a média da soma da porcentagem de Refugos e Retrabalhos dos três primeiros meses do ano, como demonstrado na Figura 27.

<b>Amostragem</b>	<b>5400</b>	<b>Unidades</b>
<b>Oportunidades de Erro</b>	<b>1</b>	<b>Oportunidades</b>
<b>Unidades com Erro</b>	<b>333</b>	<b>Unidades</b>
<b>Total de oportunidades</b>	<b>5400</b>	<b>Erros</b>
<b>Rendimento</b>	<b>93,833</b>	<b>%</b>
<b>Rejeição</b>	<b>6,167</b>	<b>%</b>
<b>DPU</b>	<b>0,06167</b>	
<b>DPO</b>	<b>0,06167</b>	
<b>DPMO</b>	<b>61666,66667</b>	
<b>Nível Sigma</b>	<b>3,04093</b>	<b>Curto Prazo</b>
	<b>1,54093</b>	<b>Longo Prazo</b>

Figura 27 – Cálculo do DPMO

### 4.3.3 Passos Chave 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:

- Solicitar ao Fornecedor uma visita técnica na célula de trabalho e apresentar o problema, para que o mesmo faça ajustes no seu processo de homogeneização do EPDM;
- Solicitar ao Fornecedor uma visita técnica na célula de trabalho e apresentar o problema, para que o mesmo faça ajustes no seu processo de injeção e resfriamento do crash pad;
- Automatizar a alimentação do forno infravermelho;

#### 4.4.1 Implantação das Soluções para EPDM Rasgado.

No projeto LSS em estudo, foi decidido solicitar ao Fornecedor uma visita na célula de trabalho para apresentar o problema, para que o mesmo faça ajustes no seu processo de homogeneização do EPDM

Tabela 2 – Plano de ação para EPDM rasgando na moldagem

Ação tomada	Responsável	Prazo
1. Solicitar ao Fornecedor uma visita técnica na célula de trabalho e apresentar o problema, para que o mesmo faça ajustes no seu processo de homogeneização do EPDM	Qualidade	08/04/2016

As Figuras 28 e 29 mostram o antes e o depois dos ajustes no processo do fornecedor, nas quais é possível visualizar a melhoria na homogeneização da matéria prima.



Figura 28 – Antes da Melhoria na Homogeneização



Figura 29 – Depois da Melhoria na Homogeneização

#### 4.4.2 Implantação da Solução Para Crash Pad Empenado

No projeto LSS em estudo, foi decidido solicitar ao Fornecedor uma visita na célula de trabalho e apresentar o problema, para que o mesmo faça ajustes no seu processo de injeção e resfriamento do Crash Pad.

Tabela 3 – Plano de ação para Crash Pad empenado

Ação tomada	Responsável	Prazo
1. Solicitar ao Fornecedor uma visita técnica na célula de trabalho e apresentar o problema, para que o mesmo faça ajustes no seu processo de injeção e resfriamento do Crash Pad	Qualidade	08/04/2016



As Figuras 30 e 31 mostram o antes e depois das melhorias no processo de injeção e resfriamento no fornecedor.



Figura 30 - Antes da melhoria no processo de injeção e resfriamento



Figura 31 - Depois da melhoria no processo de injeção e resfriamento

#### 4.4.3 Implantação da Solução para Transporte do EPDM

No projeto LSS em estudo, foi decidido solicitar a manutenção que implantasse um sistema automatizado de transporte para o EPDM até a esteira do forno infravermelho, para que não houvesse mais o problema de posicionamento do EPDM .

Tabela 4 – Plano de ação para o Transporte do EPDM.

Ação tomada	Responsável	Prazo
1. Implantar um sistema de transporte automatizado, para que o EPDM não seja posicionado de forma incorreta na esteira do forno infravermelho.	Qualidade	08/04/2016

As Figuras 32 e 33 mostra o antes e depois da implantação de um sistema automatizado de transporte para o EPDM.



Figura 32 – Antes da implantação de um sistema de transporte automatizado





Figura 33 – Depois da implantação do sistema de transporte automatizado

As Figuras 34 e 35 Mostram o layout da célula de trabalho antes e depois da automatização na operação, que resultou na redução de um operador.

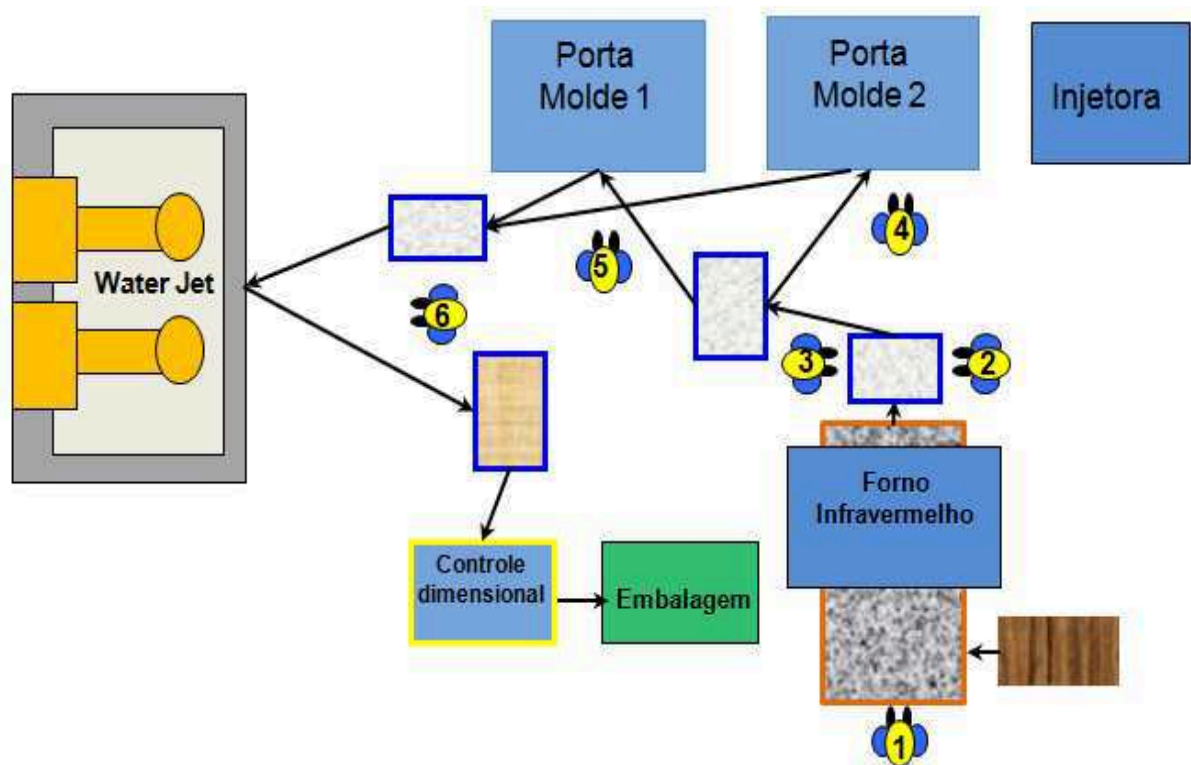


Figura 34 – Antes da automatização

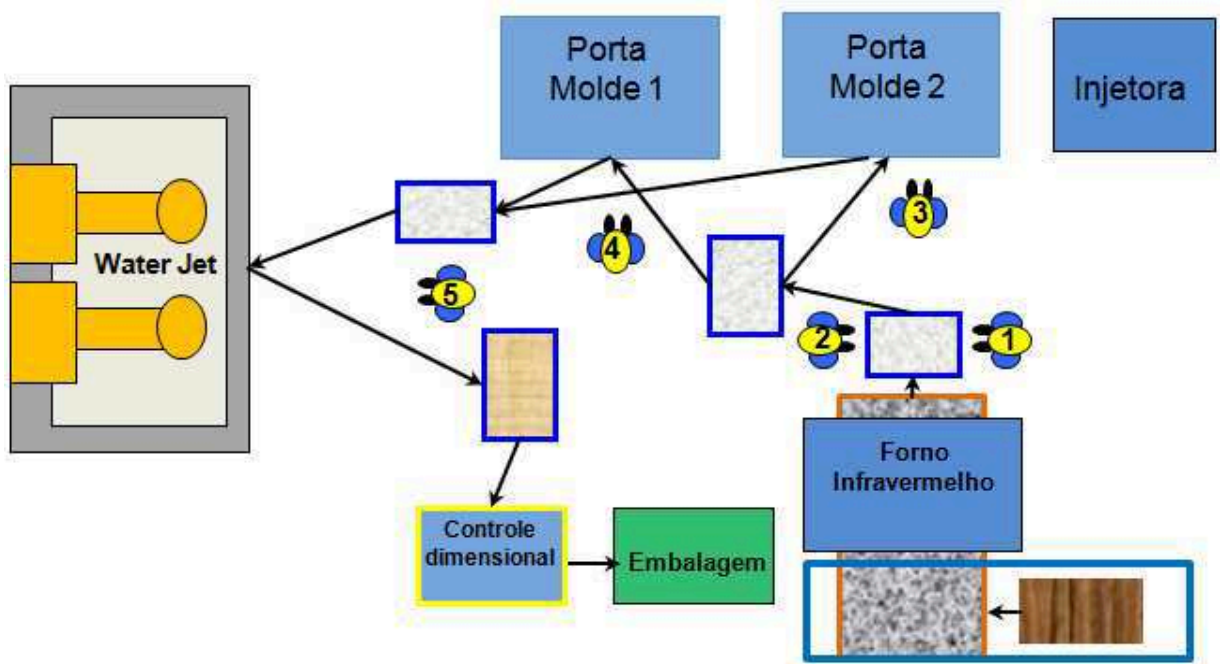


Figura 35 – Depois da automatização

#### 4.4.4 Indicador de Refugos e Retrabalhos

As figuras 36 e 37 apresentam o índice de Refugo e Retrabalho após três meses da implementação do LSS, sendo que a média de Refugo e Retrabalho foi reduzida para 2.91%.

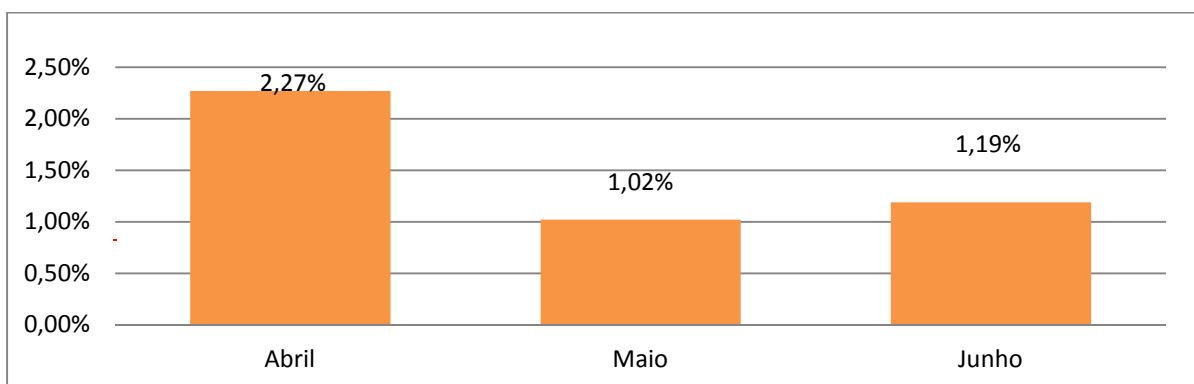


Figura 36 – Índice de Refugo após implementação das melhorias

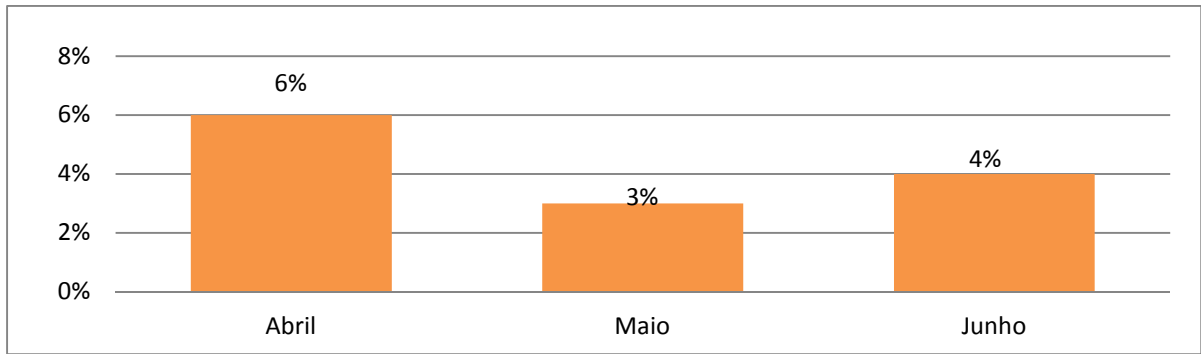


Figura 37 – Índice de Retrabalho após implementação das melhorias

#### 4.4.5 DPMO

A Figura 38 apresenta o nível na Escala Sigma de curto prazo, calculado pela expressão DPMO (Defeitos por Milhão de Oportunidades), em que a empresa obteve 3,34145 e DPMO de 32777,77778.

<b>Amostragem</b>	<b>5400</b>	<b>Unidades</b>
<b>Oportunidades de Erro</b>	<b>1</b>	<b>Oportunidades</b>
<b>Unidades com Erro</b>	<b>177</b>	<b>Unidades</b>
<b>Total de oportunidades</b>	<b>5400</b>	<b>Erros</b>
<b>Rendimento</b>	<b>96,722</b>	<b>%</b>
<b>Rejeição</b>	<b>3,278</b>	<b>%</b>
<b>DPU</b>	<b>0,03278</b>	
<b>DPO</b>	<b>0,03278</b>	
<b>DPMO</b>	<b>32777,77778</b>	
<b>Nível Sigma</b>	<b>3,34145</b>	<b>Curto Prazo</b>
	<b>1,84145</b>	<b>Longo Prazo</b>

Figura 38 – Cálculo do DPMO após implementação das melhorias.

#### 4.4.6 Passos Chave da Etapa Melhorar

Os passos chaves na etapa Melhorar foram:

- Desenvolver as possíveis soluções;
- Avaliar, selecionar e otimizar a melhor solução;
- Desenvolver e implementar a solução;
- Confirmar os objetivos do projeto LSS – comparar os resultados com a base line;

- 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 Crash Pad desencaixado na injeção de poliuretano**

Revisada a instrução de trabalho e o treinamento dos operadores com o novo procedimento, fazer o passa não passa em 100% dos Crash Pad , utilizando o próprio porta molde como referência.

**Responsável.** Processo / Qualidade - **Data:** abril/2016 - Implementado

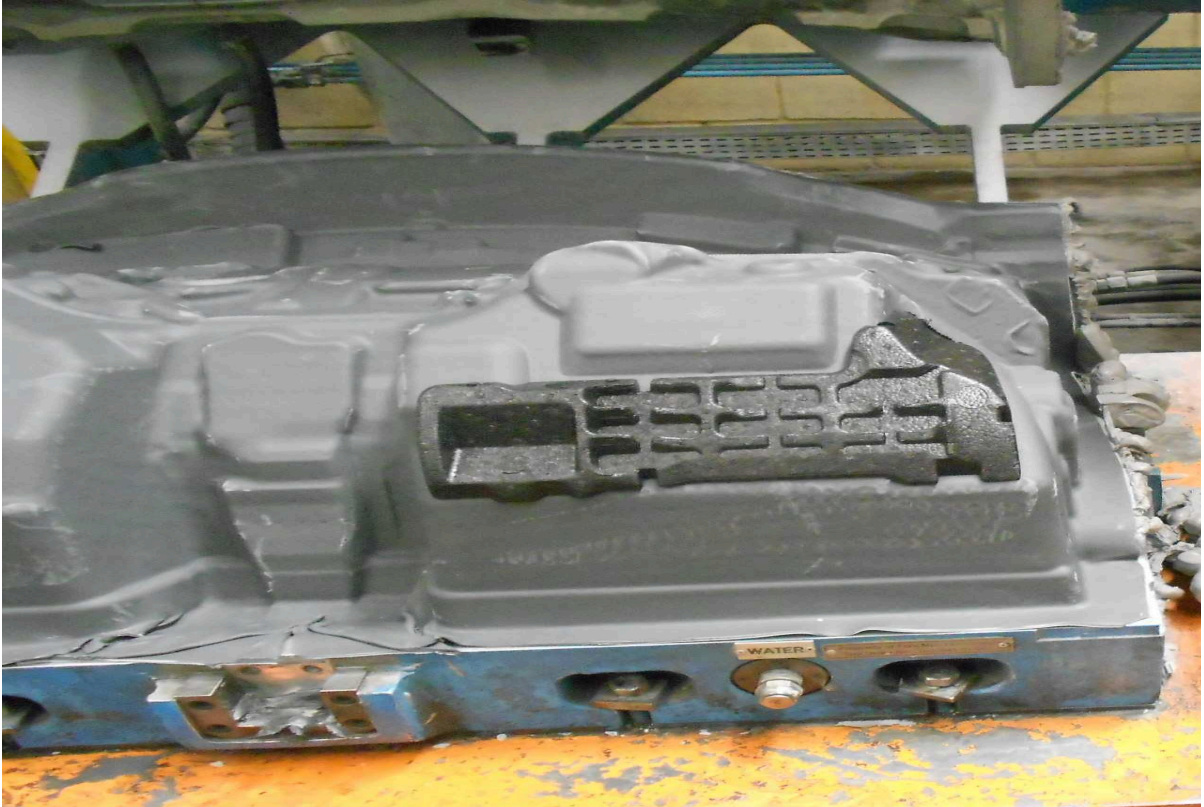


Figura 39 - Processo passa não passa utilizando o porta molde como referencia.

#### 4.5.2 EPDM rasgando na moldagem

Revisado e atualizado o procedimento de análise para liberação do material. A análise dever ser feita por pallet, não mais por lote.

**Responsável.** Qualidade - **Data:** abril/2016 - Implementado



IDENTIFICAÇÃO DA AMOSTRA							
<b>Produto:</b> EPDM 6Kg/m <sup>2</sup>				<b>Fornecedor:</b> Plastryn			
<b>Código de Identificação:</b> 315000054				<b>Quantidade:</b> 1 PÇ			
<b>Lote / Nota Fiscal:</b> 11922 11924 / 11922 11924				<b>Data Fabricação:</b> 09.08.2016			
PASSO	CARACTERÍSTICA A CONTROLAR	MEIOS	ESPECIFICAÇÃO	QUANTIDADE INSPECIONADA	RESULTADO	OK	NOK
20	Comprimento	Trena	1800 -10/+20 mm	1 PÇ	1815	X	
20	Largura	Trena	1050 -10/+20 mm	1 PÇ	1060	X	
20	Espessura	Especimetro	3 ± 10% mm	1 PÇ	2.9	X	
20	Gramatura (Massa superficial)	Balança	6 kg/m <sup>2</sup> ± 10% (5.40 - 6.60 g/m <sup>2</sup> )	1 PÇ	5.4	X	
20	Flamabilidade	Câmara de chama horizontal e cronômetro	100 mm / min máximo	1 PÇ	35.35	X	

Figura 40 - Relatório de Inspeção e Recebimento

#### 4.5.3 Transporte do EPDM

Criar um cronograma de manutenção preventiva para o transportador do EPDM, para garantir o funcionamento contínuo do equipamento.

**Responsável. Manutenção - Data: Maio/2016 - Implementado**

Cronograma Manutenção Transportador EPDM												
Setor: Moldagem												
Ano 2016												
MÊS	Jan	Fev	Mar	Abr	Maio	Jun	Jul	Ago	Set	Out	Nov	Dez
Engraxamento conjunto pneumático								P			P	
Engraxamento da cremalheira						P			P			P
Limpeza das ventosas							P			P		
limpeza dos filtros de ar								P			P	
Limpeza do motor elétrico									P			P

Legenda			
Aprovação / liberação		Previsto	P
Produção	Gerente de Produção	Realizado	
Manutenção	Gerente de Manutenção	Atrasado	

Figura 41 - Cronograma de Manutenção

#### 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 (janeiro a junho de 2016), o índice de refugo e retrabalho passou de 6,16% para 2,91% e a quantidade de operadores passou de 6 para 5 no processo

. 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 61666.66667 para 32777,77778; bem como levou também à melhoria no índice da Escala Sigma de curto prazo, passando de 3,04093 para 3,34145.

## 5 CONCLUSÕES

Por meio desta pesquisa conclui-se que a implementação do Lean Seis Sigma possibilita, de fato, a redução do custo de operação e o índice de refugo e retrabalho.

Ao final do período pesquisado (janeiro a junho de 2016), o índice de refugo e retrabalho passou de 6,16% para 2,91%

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 61666.66667 para 32777,77778.

- Melhoria significativa no processo de produção, que, de acordo com a Escala Sigma de curto prazo, passou de 3,04093 para 3,34145.

-

## 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 Bussiness 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](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. 4<sup>a</sup>. 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.

KUME, H. Métodos estatísticos para melhoria da qualidade. 11. ed. São Paulo: Editora Gente, 1993. 245 p.

RAMOS, A.W. CEP para processos contínuos e em bateladas. São Paulo: Fundação Vanzolini, 2000.

LINS, B. F. E. Ferramentas básicas da qualidade. Brasília, 1993.

PEINADO, J.; GRAEML, A. R. Administração da produção: operações industriais e de serviços. Curitiba : UnicenP, 2007.

OLIVEIRA, D. P. R. Sistemas. Organização & Métodos: O&M - uma abordagem gerencial. 13.ed. São Paulo: Atlas, 2002.



GRIMAS, W. Fluxograma. 2008 Disponível em:  
<<http://engenhariasomarcos.files.wordpress.com/2008/03/fluxogramas1.pdf>>.

Acesso em: 29 jun 2012.

Luckmann, T. (1999). Das kosmologische Fiasko der Soziologie. In R. Hitzler, J. Reichertz, & N. Schröer (Eds.), Hermeneutische Wissenssoziologie. Standpunkte zur Theorie der Interpretation (pp. 309-318). Konstanz: UVK

KIPPER, L.M., CROSSETTI, G. L, BECKER, R. C. Estudo do aproveitamento do resíduo de espuma rígida de poliuretano no isolamento térmico de produtos de refrigeração - Na busca de manufatura sustentável. In: 28 Encontro Nacional de Engenharia da produção. Rio de Janeiro. Trabalhos técnicos... Rio de Janeiro: ABEPRO, 2008.

VERONESE, V. B. Relação estrutural propriedades de espumas rígidas de poliuretano á base de óleos vegetais. 2009. 121f. Tese (Doutorado em Ciências dos Materiais ) - Programa de Pós Graduação em Ciência dos matérias, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre.

FREITAS, Ruskin. O que é conforto. ENCAC/ELACAC. UFRJ. Alagoas. 2005.

ILDA, I. Ergonomia-projeto e produção. São Paulo: Edgard Blucher, 1995.

ASHRAE - American Society of Heating Refrigerating and Air Conditioned Engineers. Thermal environment conditions for human occupancy. Atlanta, USA, Standard 55-1992.

LAMBERT, Roberto. "Desempenho Térmico de Edificações", Notas de aulas, 5ª edição, UFSC, Santa Catarina, Brasil, 2007.

HALLIDAY D., RESNICK R., WALKER J. Fundamentos de Física. 4ª edição. São Paulo: LTC. 1996.

VILAR, Walter. Química e Tecnologia dos Poliuretanos. Disponível em: <  
<http://www.poliuretanos.com.br/>>. Acesso em: 25 maio. 2016

DOW CHEMICAL. Polyurethanes Blue Book, 1997.

Eyal Dassau, Israel Zadok, Daniels R.Lewis. (2006). Combining Six Sigma with Integrated Design and Control for Yield Enhancement in Bioprocessing. Ind.Eng.Chem.Res. , 45, pp. 8299-8309.