

**UNIVERSIDADE FEDERAL DO RIO GRANDE DO SUL  
ESCOLA DE ENGENHARIA  
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM ENGENHARIA DE PRODUÇÃO**

**APLICAÇÃO DA METODOLOGIA *LEAN SIX SIGMA* PARA MELHORIA DE UM  
PROCESSO PRODUTIVO**

AUGUSTO SCHAFFER

Porto Alegre

2016

AUGUSTO SCHAFFER

**APLICAÇÃO DA METODOLOGIA *LEAN SIX SIGMA* PARA MELHORIA DE  
UM PROCESSO PRODUTIVO**

Dissertação submetida ao Programa de Pós-Graduação em Engenharia de Produção da Universidade Federal do Rio Grande do Sul como requisito parcial à obtenção do título de Mestre em Engenharia de Produção, modalidade Profissional, na área de concentração em Sistemas de Produção.

Orientador: Dr. Cláudio José Müller.

Porto Alegre

2016

AUGUSTO SCHAFFER

**APLICAÇÃO DA METODOLOGIA *LEAN SIX SIGMA* PARA MELHORIA DE  
UM PROCESSO PRODUTIVO**

Esta dissertação foi julgada adequada para a obtenção do título de **Mestre em Engenharia** na modalidade Profissional e aprovada em sua forma final pela Banca Examinadora designada pelo Programa de Pós-Graduação em Engenharia de Produção da Universidade Federal do Rio Grande do Sul.

---

**Prof. Cláudio José Müller, Dr.**  
Orientador PPMPEP/UFRGS

---

**Prof. Ricardo Augusto Cassel, PhD.**  
Coordenador PPMPEP/UFRGS

**Banca Examinadora:**

**Professora Carla Schwengber ten Caten, Dr<sup>a</sup>.**  
(PPGEP/UFRGS)

**Professor Jorge André Ribas Moraes, Dr.**  
(UNISC)

**Professor Tarcisio Abreu Saurin, Dr.**  
(PPGEP/UFRGS)

## DEDICATÓRIA

Dedico este trabalho aos meus pais, Anelise e Silvano, ao meu irmão Fábio e a minha noiva, Bibiana Fuzer da Silva.

## **AGRADECIMENTOS**

Agradeço a minha família, amigos e principalmente a minha noiva, pela compreensão e paciência durante o período em que estive ausente, dedicando tempo a este projeto.

Aos meus colegas de trabalho e membros do time do projeto, pela contribuição para a realização desta pesquisa.

Ao PPGE/UFGRS por apoiar com informações relevantes e claras para conclusão do trabalho.

Ao meu orientador Dr. Cláudio José Müller, pelo apoio, incentivo frente aos desafios, retornos rápidos e por confiar no projeto.

A todos os professores, companheiros de pós-graduação e demais pessoas que, direta ou indiretamente, ajudaram para a conclusão desta dissertação.

## SUMÁRIO

LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS .....	7
LISTA DE FIGURAS .....	8
LISTA DE QUADROS .....	9
LISTA DE TABELAS.....	10
RESUMO .....	11
ABSTRACT .....	12
<b>1. Introdução .....</b>	<b>13</b>
<b>1.1. Considerações Iniciais.....</b>	<b>13</b>
<b>1.2. Tema e objetivos da pesquisa .....</b>	<b>14</b>
<b>1.3. Justificativa.....</b>	<b>14</b>
<b>1.4. Método.....</b>	<b>16</b>
<b>1.5. Delimitações do trabalho .....</b>	<b>18</b>
<b>1.6. Estrutura do Trabalho .....</b>	<b>19</b>
<b>2. Referencial Teórico.....</b>	<b>20</b>
<b>2.1. Six Sigma.....</b>	<b>20</b>
<b>2.1.1. Evolução do Six Sigma.....</b>	<b>20</b>
<b>2.1.2. Medida do Six Sigma.....</b>	<b>21</b>
<b>2.1.3. Estrutura do Six Sigma.....</b>	<b>22</b>
<b>2.1.4. Ferramentas do Six Sigma.....</b>	<b>24</b>
<b>2.2. Lean Manufacturing.....</b>	<b>30</b>
<b>2.2.1. Princípios Lean.....</b>	<b>32</b>
<b>2.2.2. Mapa de Fluxo de Valor .....</b>	<b>34</b>
<b>2.3. Lean Six Sigma.....</b>	<b>36</b>

2.3.1.	Histórico.....	36
2.3.2.	Fatores Críticos para o Sucesso.....	38
2.3.3.	Integração entre <i>Lean</i> e <i>Six Sigma</i> .....	39
2.3.4.	Implantação do <i>Lean Six Sigma</i> .....	41
2.4.	Considerações sobre a revisão teórica.....	44
3.	Procedimentos Metodológicos.....	46
3.1.	Objeto de pesquisa.....	46
3.3.	O Método DMAIC.....	49
3.3.1.	Definir.....	49
3.3.2.	Medir.....	50
3.3.3.	Analisar.....	51
3.3.4.	Melhorar.....	52
3.3.5.	Controlar.....	53
4.	Resultados e Discussão.....	55
4.1.	O processo.....	55
4.2.	DMAIC.....	59
4.2.1.	Definir.....	59
4.2.2.	Medir.....	62
4.2.3.	Analisar.....	71
4.2.4.	Melhorar.....	80
4.2.5.	Controlar.....	91
4.3.	Discussão dos resultados.....	93
5.	Considerações finais.....	97
5.1.	Conclusão.....	97
5.2.	Sugestões para trabalhos futuros.....	99
	Referências.....	100
	ANEXO 01.....	105

## **LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS**

BB – Black Belt

CQ – Controle de Qualidade

CTQ – Critical to Quality

DMAIC - Define, Measure, Analyze, Improve and Control

DOE – Design of Experiment

DPMO - Defects Per Million Opportunities

FMEA - Failure Mode Effects Analysis

FTA - Fault Tree Analysis

JIT - Just in Time

LSS – Lean Six Sigma

MFV – Mapa de Fluxo de Valor

MSA - Measurement System Analysis

MSE - Measurement system Evaluation

OEE – Overall equipment effectiveness

OFAT - one-factor-at-a-time

QFD - Quality Function Deployment

RACI – Responsibility, Authority, Control, Inform

SIPOC – Suppliers, Inputs, Process, Outputs and Customers

SMED - Single-Minute Exchange of Die

TPM - total productive maintenance

TPS - Toyota Production System

TRF – Troca Rápida de Ferramentas

VOC – Voice Of Customer



## LISTA DE FIGURAS

Figura 1 - Diagrama de Pareto.....	24
Figura 2 - Diagrama de Causa e Efeito .....	25
Figura 3 - Gráfico de Controle.....	28
Figura 4 - Exemplo Mapa de Fluxo de Valor.....	34
Figura 5 - Objetivos de Melhoria.....	36
Figura 6 – <i>Six Sigma</i> é parte do <i>Lean</i> .....	40
Figura 7 - <i>Lean</i> em paralelo ao <i>Six Sigma</i> .....	41
Figura 8 - Fluxo do processo de produção de sementes.....	47
Figura 9 – Extrato do Mapa de Fluxo de Valor .....	56
Figura 10 - Utilização linhas de ensaque.....	60
Figura 11 - SIPOC.....	61
Figura 12 - Análise Causa e Efeito.....	66
Figura 13 - Distribuição não-normal de Sacos/Turno.....	68
Figura 14 - Distribuição normal de OEE .....	69
Figura 15 - Análise da capacidade Sacos/Turno. ....	70
Figura 16 - Análise capacidade OEE .....	70
Figura 17 - Boxplot OEE detalhado.....	72
Figura 18 - Pareto Paradas Ensaque.....	73
Figura 19 - Pareto Pardas por Equipamento. ....	74
Figura 20 - Carta de Controle tempos troca de ferramentas.....	74
Figura 21 - Interação entre os fatores do experimento. ....	76
Figura 22 - Análise comparativa de tratamento.....	77
Figura 23 - Análise comparativa de peso .....	78
Figura 24 - Gráfico de intervalos.....	79
Figura 25 - Controle visual da produção por hora.....	81
Figura 26 - Carta Controle Ensaque sacos/hora.....	86
Figura 27 - Mapa Atual Processo Liberação Autorização de Ensaque. ....	88
Figura 28 – Novo Mapa Processo Liberação Autorização de Ensaque .....	89
Figura 29 - Avaliação Y1 Sacos/Turno .....	90
Figura 30 - Avaliação Y2 OEE. ....	91
Figura 31 - Carta de Controle do Y1 Sacos/Turno.....	92
Figura 32 - Carta de Controle do Y2 OEE.....	93

## LISTA DE QUADROS

Quadro 1 - Ferramentas <i>Six Sigma</i> .....	30
Quadro 2 - <i>Lean</i> é parte do <i>Six Sigma</i> . ....	40
Quadro 3 - Sugestão de Sistema de Controle.....	54
Quadro 4 - Avaliação de possíveis Y's. ....	62
Quadro 5 - Definição operacional dos Y's. ....	65
Quadro 6 - Plano de Coleta de Dados.....	67
Quadro 7 - Fatores vitais.....	79

## LISTA DE TABELAS

Tabela 1 – Níveis de Sigma e índices PPM.....	22
Tabela 2 - Artigos sobre o termo <i>Lean Six Sigma</i> . ....	37
Tabela 3 - Aplicações da metodologia <i>Lean Six Sigma</i> . ....	43
Tabela 4 - Resultados obtidos no projeto.....	94

SCHAFFER, Augusto. **Aplicação da metodologia *Lean Six Sigma* para melhoria de um processo produtivo**. 2016. Dissertação (Mestrado em Engenharia de Produção) – Universidade Federal do Rio Grande do Sul.

## RESUMO

O *Lean Six Sigma* é a metodologia originada a partir da integração das metodologias *Lean* e *Six Sigma*. O *Lean Six Sigma* procura eliminar as perdas e reduzir os defeitos, agregando os benefícios de cada uma das duas metodologias que a dão origem. O objetivo deste trabalho é aplicar a metodologia *Lean Six Sigma* para melhoria de um processo produtivo. Neste trabalho é apresentada uma revisão bibliográfica sobre as metodologias *Lean* e *Six Sigma*, buscando a compreensão das origens do *Lean Six Sigma*, e uma revisão sobre a metodologia *Lean Six Sigma*. Baseado na revisão bibliográfica é apresentada uma metodologia para aplicação do *Lean Six Sigma*, que tem por estrutura o DMAIC (*Define, Measure, Analyze, Improve and Control*). Na sequência esta metodologia é aplicada para melhoria de um processo produtivo. Os resultados da aplicação do *Lean Six Sigma* foram: aumento do nível de sigma e redução dos defeitos do processo, demonstrando que as metodologias *Lean* e *Seis Sigma* podem ser integradas, e como ocorre essa integração. Os fatores de sucesso da aplicação da metodologia *Lean Six Sigma* também foram evidenciados.

Palavras chave: *Lean*, *Six Sigma*, *Lean Six Sigma*, manufatura

SCHAFFER, Augusto. **Application of Lean Six Sigma to improve an industrial process**. 2016. Dissertation (Master in Industrial Engineering) – Federal University of Rio Grande do Sul.

## **ABSTRACT**

Lean Six Sigma is a methodology originated from the integration of Lean and Six Sigma. Lean Six Sigma seeks for eliminate waste and reduce defects, combining benefits from both methodologies. The objective of this dissertation is apply the Lean Six Sigma methodology to improve a production process. In this dissertation is presented a bibliography review about the Lean and Six Sigma methodology, looking for understanding of the Lean Six Sigma sources and a review about the Lean Six Sigma methodology. Based on the bibliography review is presented a methodology to apply Lean Six Sigma, that has the DMAIC as the structure (Define, Measure, Analyze, Improve and Control). This methodology is applied to improve a production process. The results of the Lean Six Sigma application were the increase of sigma level and reduction of process defects, showing that Lean and Six Sigma can be combined and how this combination happens. The success factors of the application of Lean Six Sigma methodology were evidenced.

**Key words:** Lean, Six Sigma, Lean Six Sigma, manufacture

## 1. Introdução

### 1.1. Considerações Iniciais

Como maximizar as margens da empresa e por consequência melhorar os resultados financeiros? Esta pergunta é constantemente feita dentro das empresas nas diferentes áreas de negócio. Muitas empresas logo pensam em aumentar as vendas, cortar custos, mudar a estratégia, reestruturação. Por outro lado, muitas empresas pensam em criar projetos que envolvam a melhoria de processos.

Desde que a Toyota mostrou ao mundo que é possível fazer produtos de qualidade, a baixo custo e com pouco estoque, as empresas vêm cada vez mais buscando introduzir metodologias visando o alcance da excelência. Dentre as inúmeras metodologias de melhoria de processos, as empresas vêm implementando ferramentas de qualidade, sistemas de produção, *Lean*, *Six Sigma*, ISO, etc.

A implementação de programas de melhorias ocorre em diferentes momentos dentro de diversas empresas, muitas vezes acarretando na implementação de um programa após o outro. Esse movimento acaba fazendo com que as metodologias não sejam integradas. Um exemplo disto é o *Lean* e o *Six Sigma*, que são metodologias distintas, porém que podem apresentar muita sinergia (VENANZI e LAPORTA, 2015). Quando as duas metodologias são integradas, origina-se uma terceira metodologia, conhecida como *Lean Six Sigma*.

Com o objetivo de aprofundar os conceitos do *Lean Six Sigma* e apresentar como essas metodologias se integram, este trabalho apresenta a metodologia *Lean Six Sigma* aplicada para melhoria de um processo produtivo.

As duas metodologias em questão foram escolhidas pelo fato do projeto de melhoria estar focado num processo produtivo, e devido ao fato das duas metodologias já estarem implementadas na empresa, que é o objeto de pesquisa.

## **1.2. Tema e objetivos da pesquisa**

O tema geral deste trabalho é a metodologia *Lean Six Sigma*. Essa metodologia integra os conceitos originais de duas outras metodologias distintas: o *Lean* e o *Six Sigma*.

O objetivo geral desta dissertação é a aplicação da metodologia *Lean Six Sigma* para o aumento da eficiência de um processo produtivo.

Os objetivos específicos são os seguintes:

- Analisar as metodologias e ferramentas aplicadas no *Lean Six Sigma*.
- Aplicar a metodologia *Lean Six Sigma* para melhoria de um processo produtivo.
- Demonstrar como as metodologias *Lean* e *Six Sigma* podem ser integradas em uma empresa que já possui as duas metodologias implementadas.

## **1.3. Justificativa**

A metodologia *Six Sigma* teve origem no ano de 1987. Foi criada pela empresa Motorola a partir da necessidade de aumentar sua competitividade frente aos concorrentes, que estavam produzindo materiais de maior qualidade. De fato a Motorola não criou nada novo, a empresa fez somente uma

adaptação de várias ferramentas já conhecidas, porém criando uma metodologia muito eficiente para eliminação de desperdícios (DANTAS, 2015).

Apesar de a metodologia ter quase 30 anos, ainda não é amplamente utilizada por empresas nacionais. Carneiro (2013) cita uma pesquisa feita no ano de 2007 nas 1.000 maiores empresas brasileiras, apresentando que apenas 23% aplicam essa metodologia.

Já o *Lean Manufacturing* foi criado pela empresa Toyota como alternativa para produção em massa, buscando a redução dos custos para aumentar a sua competitividade. O objetivo principal desta metodologia é a redução de todos os tipos de desperdícios.

Ambas as metodologias tem sido tema de estudo de muitos autores, porém as duas metodologias combinadas têm sido tema de estudos mais recentes. Em pesquisa sobre o termo *Lean Six Sigma* no site *Sciencedirect* foram encontrados 455 artigos. Já em pesquisa sobre o termo *Six Sigma* no mesmo site foram encontrados 463 artigos somente em 2016 e, sobre o termo nas mesmas condições para o *Lean*, foram encontrados 3.975 artigos. Salah *et al.* (2010) citam que pesquisas mostram que é possível haver integração entre as metodologias, mas não há um consenso da forma de integração das mesmas.

O presente trabalho pretende revisar as origens e aplicações da metodologia *Lean Six Sigma* e a partir disso, definir o método que mais e aplique para aumento da produtiva de um processo produtivo, demonstrando como a metodologia *Lean* pode ser incorporada no processo *Six Sigma*.

A empresa objeto de estudo já tem ambas as metodologias implementadas. O *Six Sigma* foi implementado em 2005 e o *Lean* em 2006. As metodologias estão consolidadas, porém são pouco usadas de forma sinérgica. O desafio é encontrar uma forma de integrar as ferramentas ao invés de ter uma disputa entre as metodologias (MARODIN; SAURIN, 2015).



A empresa estudada é uma multinacional com vários negócios. A unidade tema de estudo produz sementes. A unidade produz sementes em campos em cooperação com agricultores, e tem um processo próprio de beneficiamento, que inicia no recebimento de espigas úmidas com palha finalizando no processo de expedição, em sacos de 60.000 sementes. Recentemente, foram feitos vários projetos de ampliação devido às demandas do mercado. Alguns setores não receberam investimentos e, desta forma, o gargalo da empresa se moveu para a área de ensaque.

Devido a esse cenário, optou-se pela aplicação da metodologia *Six Sigma* para aumento da eficiência deste processo, visto que esta metodologia já é amplamente utilizada na empresa para problemas mais complexos e de maior relevância para o negócio.

A necessidade da integração com a metodologia *Lean* se mostra propícia considerando principalmente dois fatores. O primeiro é o fato do objetivo do projeto *Six Sigma* estar conectado com os objetivos *Lean*, que são a eliminação de desperdícios e que pode trazer ferramentas úteis para solução do projeto. O segundo motivo é pelo fato da metodologia *Lean* já ser conhecida pela empresa estudo de caso, assim mostrando a oportunidade de integrar as duas metodologias.

## **1.4. Método**

### **1.4.1. Classificação da pesquisa**

Baseado na classificação proposta por Silva e Menezes (2010), sob o ponto de vista da natureza do trabalho, a pesquisa é classificada como aplicada, sendo gerado conhecimento para aplicação prática e solução de um problema específico. Quanto à abordagem do problema, o trabalho apresenta

tanto aspectos quantitativos quanto qualitativos: o primeiro, pelo fato do trabalho utilizar dados quantitativos na aplicação da metodologia *Lean Six Sigma*; o último, pelo fato do trabalho incluir pesquisa bibliográfica sobre *Six Sigma*, *Lean* e *Lean Six Sigma* e considerar aspectos qualitativos para melhoria do processo produtivo, como, por exemplo, treinamento dos operadores.

Quanto à caracterização dos procedimentos, a primeira parte do trabalho se enquadra como pesquisa bibliográfica, seguido de uma pesquisa ação, pois o autor trabalha na empresa e fez parte do time de trabalho como líder do projeto. Isto requer intensa interação, característica de uma pesquisa ação (SILVA; MENEZES, 2010).

#### **1.4.2. Método de trabalho**

O método de trabalho está estruturado em quatro etapas. A primeira etapa consiste em uma revisão bibliográfica sobre as duas metodologias que dão origem ao *Lean Six Sigma*, o *Lean* e o *Six Sigma*. Através do entendimento das metodologias que dão origem ao *Lean Six Sigma*, é possível compreender de forma mais clara como aplicar essa terceira metodologia.

A partir da pesquisa das ferramentas utilizadas no *Lean Six Sigma* e da metodologia abordada por diferentes autores, monta-se um banco de dados no programa Microsoft Excel®. Os dados tabulados permitem análise tanto quantitativa quanto qualitativa, permitindo verificar como diferentes autores aplicam o *Lean Six Sigma*. Os diferentes trabalhos pesquisados também são tabulados de acordo com o estudo de Salah *et al.* (2010), que apresenta as formas de integração do *Lean* e *Six Sigma*.

Na segunda etapa do trabalho, a partir da compreensão de como as metodologias se integram, adapta-se um método para aplicação do *Lean Six Sigma*. São considerados os diferentes métodos e áreas nas quais a

metodologia pode ser aplicada. A metodologia é desenvolvida visando à melhoria de um processo produtivo.

A terceira etapa do trabalho consiste em aplicar a metodologia que foi desenvolvida na etapa anterior na empresa objeto de pesquisa. É apresentada a empresa e o processo no qual a metodologia é aplicada, assim como as etapas trabalhadas para melhoria do processo específico. Nesta etapa o trabalho tem como base a estrutura DMAIC (*Define, Measure, Analyze, Improve and Control*), pois a ferramenta principal é o *Six Sigma*. Apresenta-se ainda nesta etapa, como o *Lean* é incorporado nesta estrutura.

A quarta e última etapa é a discussão dos resultados. É apresentado de que forma o *Lean* e o *Six Sigma* são integrados e quais as ferramentas que podem ser aplicadas num projeto *Lean Six Sigma*. São abordados os fatores de sucesso e desafios para aplicação do *Lean Six Sigma*.

### **1.5. Delimitações do trabalho**

O trabalho está limitado à aplicação da metodologia *Lean Six Sigma*, onde será estudado como a metodologia *Lean* pode ser integrada a metodologia *Six Sigma* para solução de problemas. Outras ferramentas e metodologias podem ser combinadas com a metodologia *Lean*, porém o presente estudo será limitado ao estudo da metodologia *Six Sigma*.

O trabalho é focado num processo produtivo que possui vários equipamentos. Porém o trabalho não aborda o tema confiabilidade dos equipamentos e é focado na aplicação da metodologia *Lean Six Sigma*.

O estudo é aplicado em uma empresa de grande porte que já tem os programas *Six Sigma* e *Lean* implementados. O método é aplicado a um projeto específico, sendo que não é discutido o processo de seleção de

projetos da empresa. A aplicação da metodologia para outras empresas necessita adaptações.

## **1.6. Estrutura do Trabalho**

O presente trabalho está estruturado em quatro capítulos. O capítulo 1 apresenta as considerações iniciais do trabalho, tema do trabalho, objetivo geral e objetivos específicos, as justificativas para realização do trabalho, o método do trabalho, a estrutura e as delimitações do trabalho.

O capítulo 2 aborda uma revisão bibliográfica sobre a metodologia *Six Sigma*. Também são pesquisadas as origens da metodologia *Lean*, assim como a integração das duas metodologias, o *Lean Six Sigma*.

O capítulo 3 apresenta uma proposta para aplicação da metodologia *Lean Six Sigma*. Este capítulo é baseado nas informações revisadas no capítulo 2.

O capítulo 4 apresenta o desenvolvimento da metodologia, apresentando detalhes da empresa e do processo de estudo, assim como os passos aplicados da metodologia. Neste capítulo também são apresentados os resultados obtidos a partir da aplicação da metodologia *Lean Six Sigma*.

Por fim, no capítulo 5 são apresentadas as conclusões do trabalho desenvolvido, assim como recomendações para trabalhos futuros.

## 2. Referencial Teórico

A seguir é apresentado o referencial teórico. O mesmo está dividido em três itens principais. Os dois primeiros itens são o *Six Sigma* e o *Lean*, metodologias que deram origem ao *Lean Six Sigma*. O terceiro item é a revisão sobre o *Lean Six Sigma*, onde é apresentada a forma como as metodologias *Lean* e *Six Sigma* são integradas.

### 2.1. *Six Sigma*

#### 2.1.1. Evolução do *Six Sigma*

A busca por qualidade é um tema constante das empresas. A qualidade vem sendo buscada pelas empresas desde o final dos anos 40. Primeiramente voltada para segurança, devido ao contexto da época. De lá para cá, várias ferramentas e normas foram criadas em busca da qualidade total (REIS, 2003).

Por volta dos anos 1986/1987, em busca de competitividade e melhoria da qualidade dos seus produtos, a empresa Motorola fez uma compilação de várias ferramentas e criou o *Six Sigma* (RAISINGHANI *et al.*, 2005). Através desta metodologia, seria possível chegar perto da perfeição, ou praticamente zerar os defeitos de um produto ou processo. Mais do que uma metodologia, o *Six Sigma* ao longo do tempo se consolidou como uma abordagem ampla e cada vez mais conectada à estratégia da empresa. Em algumas empresas, essa metodologia é importante inclusive para o atingimento dos resultados do negócio, pois os seus ganhos estão atrelados aos objetivos estratégicos (CORONADO; ANTONY, 2002).

Desde a sua criação, é possível notar uma evolução do entendimento e uso do *Six Sigma* pelas organizações. Logo que foi iniciado o seu uso, no final dos anos 80 e início dos anos 90, a metodologia era tratada muito mais da forma estatística. Ou seja, o foco orientado para o atingimento de zero defeito e diminuição dos desvios (Sigma). Porém, com o passar do tempo, cada vez mais a metodologia foi sendo incorporada como algo estratégico. Além da parte estatística, os artigos passaram a tratar de como a metodologia é integrada nos objetivos de negócio. Em pesquisa a artigos publicados, Santos e Martins (2008) analisam uma tendência das publicações reforçarem cada vez mais a importância gerencial e estratégica.

### **2.1.2. Medida do *Six Sigma***

O *Six Sigma* tem com objetivo principal, diminuir a variação a níveis próximos à zero. O termo *Six Sigma* representa justamente essa busca e a própria medida. Sigma significa na estatística o desvio-padrão de uma população, é representado no alfabeto grego pelo símbolo  $\sigma$ . Para entender o conceito de variação, parte-se de uma distribuição normal, onde a média ( $\mu$ ) é representada no centro e o sigma representa a variação, podendo ser 3 desvios para mais ou 3 desvios para menos em torno da média (PANDE, 2000).

A Motorola, criadora do *Six Sigma*, considera uma variação da média de 1,5 desvios padrão ( $\mu+1,5\sigma$ ), pois a empresa entende que nem sempre a média estará centralizada. O sigma pode ser representado pelo índice partes por milhão (PPM), que se pode relacionar ao número de defeitos, representado na Tabela 01, onde se pode observar que quanto maior o sigma, maior a variação do processo e quanto menor o sigma, menor a variação do processo (PANDE, 2000).

Nível Sigma	PPM (Defeitos por Milhão)
1	690.000
2	308.537
3	66.807
4	6210
5	233
6	3,4

Tabela 1 – Níveis de Sigma e índices PPM. Fonte: adaptado de Pande (2000).

Além da métrica anteriormente citada, Wheeler (2002) cita outras formas de medir o sucesso de um projeto *Six Sigma*: características críticas para a qualidade (CTQ – *Critical to Quality*), defeitos por unidade (DPU), defeitos por oportunidade (DPO), defeitos por milhão de oportunidades (DPMO).

### 2.1.3. Estrutura do *Six Sigma*

O *Six Sigma* é baseado num método conhecido como DMAIC. Cada letra capital significa uma etapa de um projeto *Six Sigma*. Esse método deve ser seguido rigorosamente para que seja alcançado o resultado no projeto. Dentro de cada etapa, existem ações que devem ser feitas para que cada etapa seja completa (PANDE, 2000, WERKEMA, 2014, PENA, 2006, VENANZI, 2015).

A primeira letra da etapa consiste em Definir (*Define*) o problema. Antes de iniciar o projeto, deve-se ter claro o problema a ser resolvido. Fazem parte desta etapa, definir o problema, montar o time, escutar a voz do cliente (*Voice Of Customer*) e definir o escopo do projeto. Neste último, em outras palavras, determinar as delimitações do projeto, o que o projeto irá incluir e o que não irá incluir (WERKEMA, 2014).

A segunda etapa é a de Medir (*Measure*) o problema. Uma vez definido o problema na primeira etapa do método, esta etapa objetiva medir o estado atual e traçar a meta de melhoria do projeto. Caso não se tenha dados históricos, nesta etapa também é criado o plano de coleta de dados e as folhas de registro para coleta. Ainda nesta etapa, caso seja necessária a coleta de dados, pode ser necessário a utilização da Avaliação do Sistema de Medição/Inspeção, com o objetivo de garantir a qualidade da informação.

A terceira etapa consiste em Analisar (*Analyze*). Essa é uma etapa fundamental do projeto, pois são identificadas as causas prioritárias que afetam o problema. Caso esta etapa não seja bem conduzida, a mesma pode conduzir a uma solução que não vai resolver o problema definido na primeira etapa, nem atingir o objetivo determinado na etapa anterior. Pande (2000) descreve que essa fase requer disciplina, mente aberta e uma mistura de pensamento lógico e criativo. Ou seja, uma análise é feita com base em dados, mas deve contar também com a intuição do time.

A quarta etapa é Melhorar (*Improve*). Uma vez identificado à causa raiz do problema, deve-se definir o plano de melhoria para sanar esta causa. Nesta etapa trabalha-se com pilotos para as ideias ou solução proposta para os problemas prioritários.

A última etapa, porém de igual importância às demais, é a de Controle (*Control*). Nesta etapa é avaliado o alcance da meta em larga escala e elaborados os documentos finais do projeto, para garantir a sustentabilidade da melhoria implementada. São utilizadas carta de controle, para monitorar o desempenho do processo após a implementação das melhorias. O que reforça a conexão e inter-relação entre todas as etapas.

Em todas as etapas, é muito importante ter o envolvimento do time nas tomadas de decisão. Além disto, Leon *et al.* (2012) criticam o fato do treinamento ser direcionado somente para o líder do projeto *Six Sigma* e reforça que o entendimento dos conceitos deve ser direcionado a todos os



envolvidos. Através disto, é possível aprimorar a escolha das ferramentas utilizadas durante o processo e aumentar o engajamento do time de trabalho.

#### 2.1.4. Ferramentas do *Six Sigma*

A seguir, serão apresentadas algumas ferramentas utilizadas dentro da metodologia *Six Sigma*. Autores apresentam diferentes ferramentas em cada etapa do processo DMAIC e não há um consenso entre a melhor ferramenta para ser utilizada em cada etapa. De fato são várias ferramentas que podem ser utilizadas e cabe ao time de projeto definir quais serão utilizadas.

##### 2.1.4.1. Diagrama de Pareto

O Diagrama de Pareto é uma ferramenta utilizada para análise de causa raiz, auxiliando o time do projeto a identificar os fatores que mais contribuem para o problema. O Pareto mostra de forma visual essa informação. Ele só pode ser utilizado para dados discretos, ele não é utilizado para dados como peso ou temperatura, dados contínuos. Um gráfico de Pareto é apresentado na figura 1.

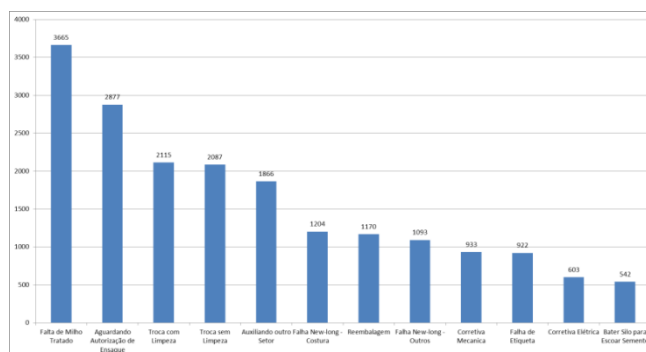


Figura 1 - Diagrama de Pareto. Fonte: elaborado pelo autor no Microsoft Excel (2016).

Desta ferramenta que surge a famosa “Regra 80/20”, que quer dizer que atacando apenas 20% das causas, é possível resolver 80% dos problemas (PANDE, 2000). Segundo Werkema (2014), essa ferramenta pode ser utilizada na fase de Medição e na de Controle.

#### 2.1.4.2. Diagrama de Causa e Efeito e Brainstorming

O Diagrama de Causa e Efeito, entendido pelo próprio nome, mostra uma relação entre o efeito e as suas possíveis causas. Também conhecido como “Espinha de Peixe”, tem esse nome porque o efeito é representado na “cabeça” do peixe e as causas são levantadas normalmente a partir de seis elementos, que são representados como seis espinhos do peixe. Conforme ilustrado na figura 2.

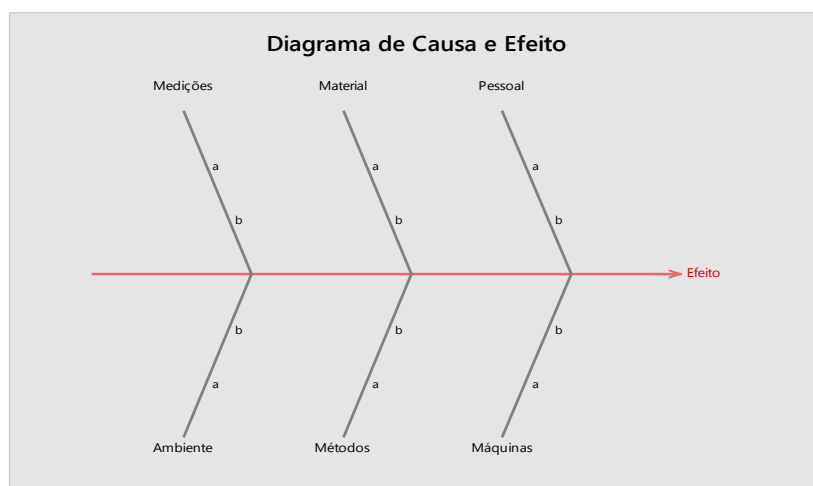


Figura 2 - Diagrama de Causa e Efeito. Fonte: elaborado pelo autor no Minitab® (2016).

Podem ser utilizados seis elementos para levantar as causas, normalmente são: medições, material, pessoas, ambiente, métodos e máquinas. Para levantamento das causas, pode-se utilizar *Brainstorming* pelo time de projeto. Aplicando essa ferramenta, pode-se obter mais resultado do

time, pois as regras fazem com que mais ideias sejam geradas. A seguir, apresentam-se as regras do *Brainstorming*, segundo Werkema (2014):

- Deve ser escolhido um líder para dirigir as atividades de grupo;
- Todos os participantes do grupo devem dar sua opinião sobre as possíveis causas do problema analisado;
- Nenhuma ideia pode ser criticada;
- As ideias devem ser registradas em um quadro ou diretamente no Diagrama de Causa e Efeito;
- A tendência de culpar pessoas deve ser evitada.

#### **2.1.4.3. Planejamento de Experimentos**

O Planejamento de Experimentos (DOE, *Design of Experiments*) é a ferramenta utilizada para testar e otimizar um sistema, que pode ser um produto, serviço ou processo. Segundo Pande (2000), essa ferramenta pode ser utilizada dentro da metodologia *Six Sigma* para (i) avaliar a voz do cliente, eliminando possíveis interferências, na fase de definir, (ii) avaliar a causa raiz do problema, isolando os fatores que a interferem, na fase de analisar, (iii) validar possíveis hipóteses, procurando a solução ótima, (iv) verificar potenciais problemas de um produto ou serviço.

O DOE foi introduzido por Fischer em 1935, inicialmente voltada para agricultura, mas que logo foi aplicada em outras áreas da Biologia e Engenharias. Segundo Ribeiro e Caten (2000) esta é uma metodologia que se apoia fortemente em conceitos estatísticos e baseia-se na estruturação de ensaios para que estes respondam questões levantadas pelo pesquisados. Através desta estrutura, as informações obtidas são muito mais seguras do que em ensaios sem uma estrutura definida.

Para utilizar essa ferramenta, Pande (2000) sugere 5 passos:

1. Identificar os valores a serem avaliados: a primeira etapa consiste em identificar o que será avaliado, o que se espera saber a partir do experimento. É importante ter em mente um número gerenciável de fatores, para manter um custo adequado do experimento e para que o mesmo não seja demasiado complexo.
2. Definir os níveis dos fatores avaliados: a partir dos fatores definidos, deve-se escolher os níveis dos fatores.
3. Criar as combinações do experimento: nesta etapa é definida a sequência da execução do teste. Deve-se evitar executar o experimento com um fator de cada vez (*one-factor-at-a-time, OFAT*). A recomendação para esta etapa é gerar uma sequência randômica, que pode ser obtida através de um *software*.
4. Conduzir o experimento: para a execução do experimento, se possível deve-se evitar a influência de fatores externos na condução do experimento, como diferentes turnos e operadores, caso esse não tenha sido um fator definido na primeira etapa.
5. Avaliar os resultados: a partir da condução do experimento, as informações obtidas são analisadas com ferramentas como ANOVA e Regressão Múltipla.

#### **2.1.4.4. Gráfico de Controle**

O Gráfico de Controle é uma ferramenta estatística, que representa se o processo está dentro dos padrões desejados. Ele ajuda a organização e o próprio dono do processo a verificar prontamente os desvios para que se possam tomar ações rápidas para controlar o processo (PANDE, 2000).

Esta ferramenta pode ser utilizada em diferentes fases do DMAIC, na fase de medir, analisar, melhorar e controlar. Na fase de medir e analisar, ela

auxilia na visualização da frequência com que o problema ocorre. Na fase de melhorar e controlar, a ferramenta pode auxiliar a monitorar se o problema esta dentro do limite esperado.

Como pode ser visto na figura 3, o gráfico mostra três informações: o limite superior, o limite inferior e a média. O limite superior e inferior pode ser definido para diferentes aspectos, dependendo das variáveis.

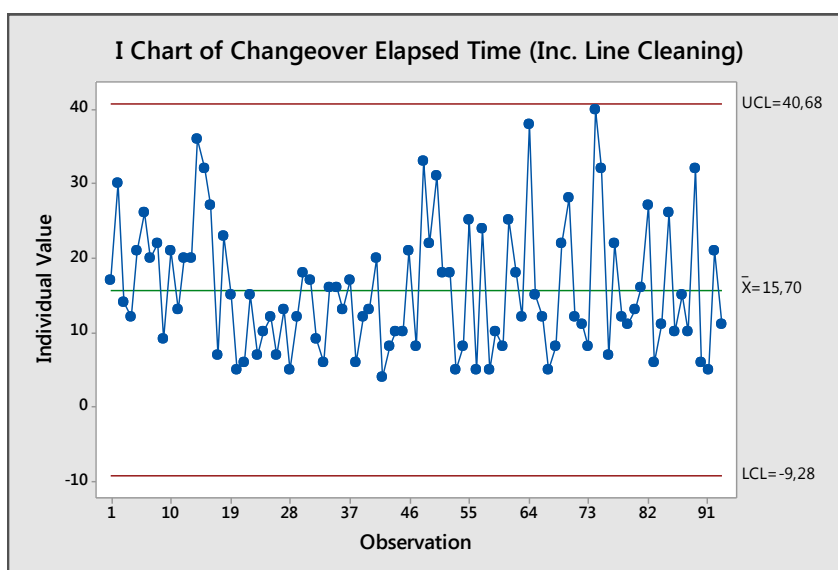


Figura 3 - Gráfico de Controle. Fonte: elaborado pelo autor no Minitab® (2016).

#### 2.1.4.5. Outras ferramentas

Outras ferramentas ainda podem ser utilizadas dentro da metodologia DMAIC. No quadro 1 são apresentadas as ferramentas propostas por Werkema (2014). As ferramentas estão relacionadas com as etapas da metodologia DMAIC.

Definir	Project Charter
	Carta de Controle
	Voz do Cliente
	SIPOC
Medir	Avaliação de Sistemas de Medição/Inspeção ( <i>Measurement system Evaluation - MSE</i> )
	Diagrama de Pareto
	Carta de Controle
	Histograma
	Índices de Capacidade
	Análise Multivariada
Analisar	Fluxograma
	Análise de Efeitos e Modos de Falha ( <i>Failure Mode and Effect Analysis - FMEA</i> )
	Análise de Árvore de Falhas ( <i>Fault Tree Analysis – FTA</i> )
	Avaliação de Sistemas de Medição/Inspeção ( <i>Measurement system Evaluation - MSE</i> )
	Histograma
	Diagrama de Dispersão
	Cartas “Multi-Vari”
	Brainstorming
	Diagrama de Causa e Efeito
	Diagrama de Afinidade
	Diagrama de Relações
	Matriz de Priorização
	Carta de Controle
	Análise de Variância
	Planejamento de Experimentos ( <i>Design of Experiments - DOE</i> )
Análise de Regressão	

Quadro 1 - Ferramentas Six Sigma. Fonte: adaptado de Werkema (2012).

Melhorar	Brainstorming
	Diagrama de Causa e Efeito
	Diagrama de Afinidade
	Diagrama de Relações
	Matriz de Priorização
	Análise de Efeitos e Modos de Falha ( <i>Failure Mode and Effect Analysis</i> - FMEA)
Controlar	Avaliação de Sistemas de Medição/Inspeção ( <i>Measurement system Evaluation</i> - MSE)
	Diagrama de Pareto
	Carta de Controle
	Histograma
	Índices de Capacidade

Quadro 1 - Ferramentas *Six Sigma*. Fonte: adaptado de Werkema (2012) (Continuação).

## 2.2. *Lean Manufacturing*

Enquanto que o *Six Sigma* surgiu na Motorola em meados dos anos 80, o *Lean* foi uma metodologia desenvolvida pela empresa Toyota e que passou a ser mais difundida a partir do livro de Womack, em 1991. Este livro foi lançado quando a Toyota ainda tinha a metade do tamanho da GM. Hoje a Toyota passou a GM e é uma das maiores e mais bem sucedidas empresas automotivas do mundo (WOMACK *et al.*, 1980, SCHONBERGER, 2007).

O *Lean* tem suas origens antes dos anos 80, com a introdução do conceito de produção *Just in Time* (JIT) ou *Toyota Production System* (TPS). O JIT mudou o conceito de produção em massa e introduziu o conceito de produção puxada, produção de acordo com a demanda do cliente e não empurrada para o mesmo. Mas foi a partir de 1990, com o crescimento da Toyota que essa metodologia começou a ser amplamente estudadas (SCHONBERGER, 2007).

O *Lean* foca na eliminação de desperdícios e na cadeia de valor do produto. Obtém-se essa visão, através do mapeamento do processo e identificação das atividades que agregam e principalmente as que não agregam valor. Existe ainda uma terceira classificação quanto às atividades, que são as que não agregam valor, mas são requeridas. Um exemplo de uma atividade que não agrega valor, mas é requerida, são os requisitos legais (SECOR *et al.*, 2009, WOMACK; JONES, 1997).

Dentre as atividades que não agregam valor, Womack e Jones (1997) apresentam que as mesmas podem ser classificadas de sete maneiras, desta forma auxiliando inclusive na identificação das mesmas:

1. Super produção
2. Defeitos
3. Inventário desnecessário
4. Retrabalho
5. Transporte
6. Espera
7. Movimentação.

Essas sete perdas são as mais conhecidas, porém, recentemente, muitos autores têm citado uma oitava perda, que é a perda do Potencial Humano. Essa oitava perda está relacionada ao intelectual humano, que está presente nos funcionários de linha de frente e que se não aproveitado, torna-se um desperdício (SECOR *et al.*, 2009).

Em estudo recente de Gnanavelbabub e Arunagiria (2014), através de pesquisa realizada em 91 empresas automobilísticas, os autores procuraram descobrir quais das sete perdas eram as mais significativas para esse setor. Foi concluído que transporte, espera e movimentação são as três principais perdas deste tipo de indústria. Uma vez identificados os principais tipos de perdas, trabalhos devem ser desenvolvidos para diminuir essas perdas.



### 2.2.1. Princípios *Lean*

Há uma base de cinco princípios, apresentados por Womack e Jones (1997), que representam bem as bases para o *Lean*. Esses princípios são amplamente aceitos e adotados, inclusive pelo *Lean Institute* Brasil e como base, para qualquer um que queira implementar essa metodologia.

1. **Valor:** esse primeiro princípio é definido pelo cliente e se refere ao que o mesmo define o que gera valor ao produto. Em outras palavras, é algo que o cliente está disposto a pagar. Cada empresa deve determinar o que agrega valor ao seu produto.
2. **Fluxo de valor:** neste princípio, devem-se identificar as etapas do processo e o fluxo por onde o produto passa. Na atividade de identificação do processo, deve-se procurar onde estão as atividades que agregam valor, definidas no primeiro princípio. Durante o mapeamento do fluxo de valor, devem ser identificadas as atividades que não agregam valor e as que não agregam valor, mas são requeridas. O mapeamento deve contemplar desde a criação do produto até o processo final de venda.
3. **Fluxo contínuo:** nesta terceira etapa, as atividades que restaram devem ser arranjadas de forma que haja um fluxo contínuo no processo, desde a criação até a entrega do produto. Este princípio requer que a empresa mude sua forma de pensar, pois os processos devem trabalhar de maneira harmoniosa, buscando diminuição dos tempos de entrega e criação de produtos.
4. **Produção puxada:** o conceito de produção puxada é que não se deve produzir nada antes que o cliente faça o pedido, sendo assim uma produção puxada e não empurrada. Uma vez que uma empresa chega a esse patamar, os níveis de estoque tendem a ser muito baixos, pois só é produzido o que o cliente pediu. Hopp e Spearman (2004) fazem uma crítica a este princípio citando que ele muitas vezes é levado ao extremo. O que eles apresentam é

que se deve ter um balanço de estoque na produção puxada e se não deve ser zero, algum estoque sempre será necessário. Não se trata do menor perda ou baixo estoque, mas sim do melhor estoque.

5. **Perfeição:** um processo sempre terá algum desperdício e a última etapa é a empresa estar constantemente buscando a eliminação de desperdícios. Esse princípio requer que toda a cadeia de valor seja envolvida, desde os fornecedores até distribuidores.

Há autores que apresentam ainda um sexto princípio, que é o respeito às pessoas (SECOR *et al.*, 2003). Este princípio está ligado à importância que as pessoas têm para o sucesso do *Lean*. É importante empoderar e envolver os funcionários de chão de fábrica, pois eles que possuem o conhecimento dos processos e podem agregar muito aos projetos.

São apenas cinco princípios, seis se considerarmos os novos conceitos, aparentemente fáceis de serem adotados. Porém, poucas empresas conseguem realmente implementar todos os princípios. As mesmas utilizam algumas ferramentas *Lean*, mas não necessariamente atingiram todo o sucesso do *Lean Manufacturing* (WERKEMA, 2012).

Frente a este desafio de implementação, Marodin e Saurin (2014) apresentam um estudo sobre os riscos que afetam a implementação do *Lean* em empresas do sul do Brasil. Entre os riscos estudados, a gestão do processo foi o risco mais citado dentro de uma pesquisa realizada com 39 empresas e 57 pessoas. Dentro deste item, a desmotivação dos funcionários após alguns anos da implementação, a falta de comunicação dentro da empresa e a dificuldade de serem mensurados os benefícios financeiros, são os principais fatores da gestão do processo. O que demonstra que a implementação da metodologia deve ser acompanhada de uma série de ações em paralelo.

## 2.2.2. Mapa de Fluxo de Valor

Como citado nos princípios *Lean*, o primeiro passo para implementação da Produção Enxuta é definir o que agrega valor ao produto. Para isso, uma ferramenta utilizada é o Mapa de Fluxo de Valor (*Value Stream Map*). Através do uso do MFV, é possível facilmente identificar onde estão as maiores oportunidades do processo (ROTHER, 2010). Por exemplo, pode ser observado na figura 04, que o processo de solda é o processo gargalo.

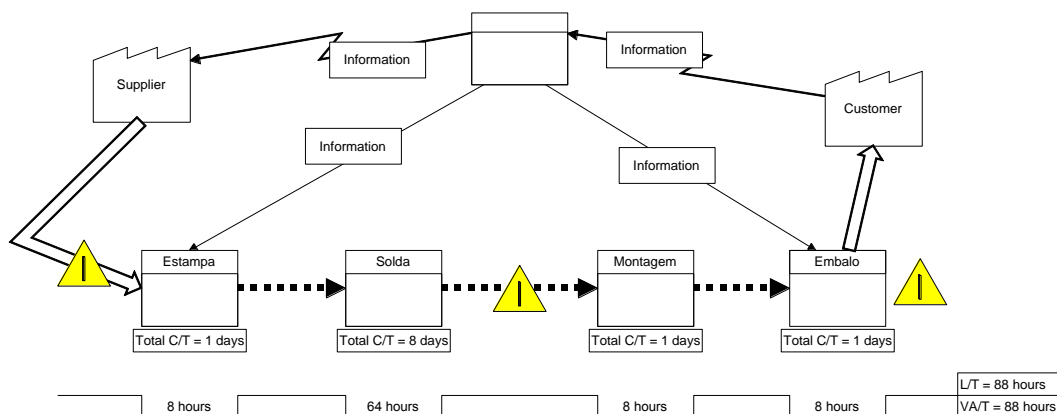


Figura 4 - Exemplo Mapa de Fluxo de Valor. Fonte: adaptado de Rother (2010).

Normalmente se utiliza um dia completo para elaboração de um MFV. A intenção não é ter um processo extremamente detalhado, mas dar uma visão geral dos principais processos. Rother (2010) e Salgado *et al.* (2009) destacam que a ferramenta de MFV, é importante para identificar oportunidades e os desperdícios dentro da cadeia de valor de um processo.

Dentro do processo de elaboração do MFV, existe a parte de análise do processo. Rother (2010) sugere a aplicação o conceito de *Takt Time* e *Cycle Time* para essa análise. O primeiro é calculado com base na demanda do cliente, conforme equação 1.

$$Takt\ time = \frac{\text{o tempo efetivo de operação por turno ou dia}}{\text{demanda média do cliente por turno ou dia}} \quad (1)$$

Para a determinação do tempo efetivo de operação por turno ou dia, deve-se considerar somente as horas disponíveis, descontados os tempos programados, como almoço, intervalos, reuniões. Já as paradas não programadas e trocas de ferramentas não devem ser descontados, pois esses são os desperdícios que devem ser eliminados ou reduzidos.

O *Cycle Time* pode variar para cada produto produzido. Ele é obtido através da soma do tempo de operação manual mais o tempo de processamento na máquina. A relação entre *Cycle Time* pelo *Takt Time* de cada etapa do processo é o que indicará o processo mais crítico. Quanto menor essa relação, mais crítico o processo, ou seja, mais perto do limite e correndo o risco de não atender a demanda do cliente.

Além das ferramentas citadas anteriormente, outras são utilizadas dentro da metodologia *Lean*. Uma recente revisão bibliográfica das ferramentas será apresentada a seguir (BHAMU; SANGWAN, 2013):

- Kaizen
- Kanban
- Trabalho Padronizado
- 5S
- Redução do Setup
- Heijunka
- Manutenção Produtiva Total (*Total Productive Maintenance* - TPM)
- Gestão Visual
- Poka-Yoke (*Mistake Proofing*)

## 2.3. Lean Six Sigma

### 2.3.1. Histórico

*Lean Six Sigma* é a metodologia que integra as metodologias *Lean* e *Six Sigma* para solução de um determinado problema. Essa metodologia procura eliminar as perdas e reduzir os defeitos, agregando os benefícios de cada uma das duas metodologias (PAMFILIE, 2012).

O *Lean* e o *Six Sigma* tem de certa forma uma integração natural, pois as duas metodologias se complementam. Por um lado, o *Lean* não conta com ferramentas estatísticas e um método estruturado para a solução de problemas, pontos forte do *Six Sigma*. Por outro lado, o *Six Sigma* não foca na melhoria de processo e na redução do *Lead Time* (WERKEMA, 2012). Sendo que as duas metodologias combinadas, tem um resultado potencializado. Snee (2010) apresenta os objetivos das metodologias e as necessidades da organização, conforme figura 5.

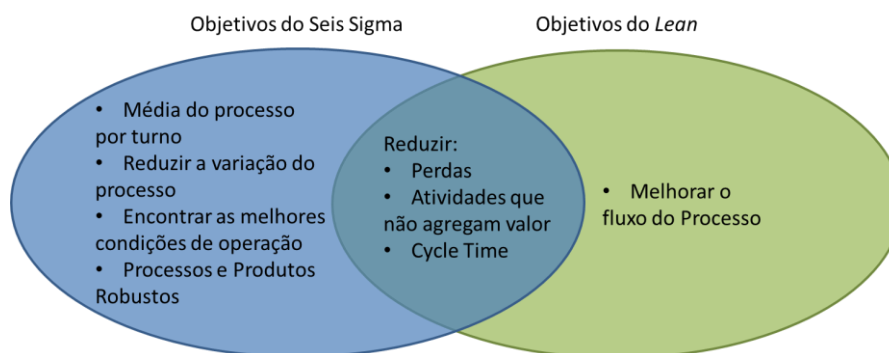


Figura 5 - Objetivos de Melhoria. Fonte: Adaptado de Snee (2010).

Diferente das metodologias *Lean* e *Six Sigma*, não há um senso comum quanto a origem do *Lean Six Sigma*. Byrne *et al.* (2007) consideram o início do *Lean Six Sigma* o ano de 2001, como sendo criado na empresa Catterpillar,

combinando as duas metodologias, mas mantendo o nome *Six Sigma*. Bakar (2015) considera o início do *Lean Six Sigma* como o ano de 2002.

Snee (2010) cita essa metodologia como sendo a última geração de abordagem para melhoria. De fato, em 2008 essa metodologia começou a ser mais estudada (BAKAR *et al.*, 2015). Em pesquisa sobre o termo *Lean Six Sigma* no site *Sciencedirect* foram encontrados 301 artigos. Analisando as datas de publicação desses artigos, pode-se perceber que o tema passou a ser estudado com maior frequência a partir de 2011, tendo um impulso a partir de 2014, conforme ilustrado na Tabela 2.

Ano	Número de artigos
2010	15
2011	39
2012	36
2013	38
2014	67
2015	62

Tabela 2 - Artigos sobre o termo *Lean Six Sigma*. Fonte: Sciencedirect (2015).

Indiferente à origem do *Lean Six Sigma* e o nome que é utilizado para descrever a combinação destas duas metodologias, é senso comum entre todos os autores, de que a combinação das duas metodologias é muito mais eficaz que ambas aplicadas separadamente, pois é mais abrangente. E diferente da combinação de outras metodologias, o *Lean* e o *Six Sigma* possuem várias ferramentas e diferentes aplicações, o que torna o tema *Lean Six Sigma* um amplo e importante ramo de pesquisa.

Venanzi e Laporta (2015) em uma aplicação prática destacam que a aplicação do *Lean Six Sigma* pode resultar em diminuição de perdas, custos de

produção e diminuição dos tempos operacionais. Reforçando que ambas as metodologias tem muitas sinergias e, alinhar as diferentes abordagens, traz benefícios.

### **2.3.2. Fatores Críticos para o Sucesso**

Há várias formas de se medir o sucesso do *Lean Six Sigma* (LSS). Sucesso de projeto e preço das ações são dois exemplos de como esse sucesso pode ser medido (KONING *et al.*, 2008). A Xerox mede o sucesso do *Lean Six Sigma* através da satisfação dos clientes, redução de custos, aumento das margens e velocidade do negócio (SOHAL, 2012). Indiferente à forma como será medido o sucesso, há alguns fatores críticos que devem ser considerados durante a execução de um projeto *Lean Six Sigma*.

A gestão do projeto é um dos principais fatores críticos para o sucesso de um projeto *Lean Six Sigma* (BAKAR *et al.*, 2015). A gestão do projeto engloba a condução do DMAIC, que é a base de um projeto LSS, por isso da criticidade da gestão do projeto. Näslund (2013) destaca que na gestão de projeto, além da importância do planejamento, é fundamental o monitoramento e mensuração do progresso do projeto. Esses dois pontos auxiliam para que o time veja que o projeto está evoluindo e conseqüentemente motiva o time para seguimento do mesmo.

A gestão do projeto está totalmente relacionada à liderança do projeto. Sohal (2012) enfatiza a importância das habilidades interpessoais e técnicas dos *Black Belts* (BB). Os BB são os responsáveis pela condução do projeto *Lean Six Sigma* e por isso, é crítico que durante a formação dos BB, essas habilidades sejam desenvolvidas. O sucesso do projeto irá depender muito das habilidades do BB.

Lertwattanapongchai e Swierczek (2014) abordam outro aspecto da gestão de projetos, que é a gestão da mudança. Na gestão do projeto, deve-se

considerar tanto a questão técnica como o aspecto comportamental. A gestão da mudança abrange resistência da mudança, importância da comunicação, treinamento e *coaching*.

Um projeto dificilmente será bem sucedido se não tiver o suporte da liderança do negócio (HABIDIN; YUSOF, 2013). A liderança é responsável por toda a estrutura do projeto, como o treinamento aos BB, anteriormente citado, alocação dos recursos humanos e financeiros e encorajando a organização para utilização das ferramentas. Bakar *et al.* (2015), em revisão bibliográfica com os autores sobre os principais fatores críticos para o sucesso em projetos *Lean Six Sigma*, apresentam o tema liderança como o segundo aspecto mais citado.

Há ainda outros princípios balizadores apresentados por Snee (2010), que são comumente utilizados dentro da implementação de iniciativas de melhorias: (i) ter um senso de urgência; (ii) reconhecer que a variação é algo crítico e que todos os processos têm variações; (iii) incorporar as questões “mostre-me os dados” e “mostre-me onde está o dinheiro”; (iv) usar o pensamento de processo, considerando que tudo funciona como um processo; (v) trabalhar para sustentar os ganhos; (vi) celebrar o sucesso.

### **2.3.3. Integração entre *Lean* e *Six Sigma***

Há algumas formas das metodologias *Lean* e *Six Sigma* serem integradas. Diferentes autores apresentam diferentes abordagens. Salah *et al.* (2010) apresentam as cinco formas mais lógicas pelas quais as metodologias podem ser integradas.

A primeira: o *Six Sigma* sendo parte do *Lean*, onde, a partir de um mapa de fluxo de valor, entre ganhos rápidos e eventos *kaizen*, o *Six Sigma* é utilizado como uma metodologia para melhorar o fluxo do produto na cadeia de valor, conforme ilustrado na figura 6.



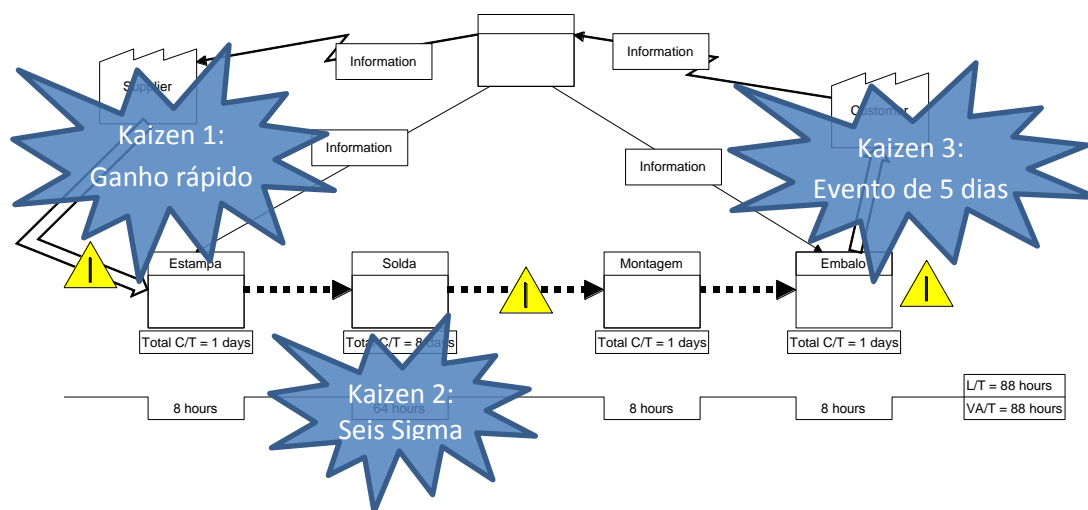


Figura 6 – *Six Sigma* é parte do *Lean*. Fonte: Adaptado de Salah et al. (2010).

A segunda: o *Lean* faz parte do *Six Sigma*. Neste caso, as ferramentas *Lean* entra como parte dentro do método DMAIC, como suporte para solução de problemas. Especificamente, o *Lean* pode trazer o conceito o MFV como forma de medir e analisar o problema a ser resolvido pela metodologia *Six Sigma*, conforme quadro 2.

Etapa <i>Six Sigma</i>	Ferramentas <i>Lean</i>	
Definir		
Medir	Criar o MFV atual	
Analisar	Criar o MFV futuro	Ferramentas <i>Lean</i>
Melhorar		Ferramentas <i>Lean</i>
Controlar		Ferramentas <i>Lean</i>

Quadro 2 - *Lean* é parte do *Six Sigma*. Fonte: adaptado de Salah et al. (2010).

A terceira: o *Lean* é desenvolvido em paralelo ao *Six Sigma*. Nesta terceira forma, os projetos fluem de diferentes fontes. A partir de uma lista de projetos, os mesmos são selecionados e priorizados. Para os projetos definidos como prioritários, é decidido qual a metodologia que será utilizada, podendo

ser tanto *Six Sigma* como *Lean*, dependendo do objetivo do projeto. Desta forma o *Lean* é desenvolvido em paralelo com o *Six Sigma*, conforme ilustrado na figura 7.

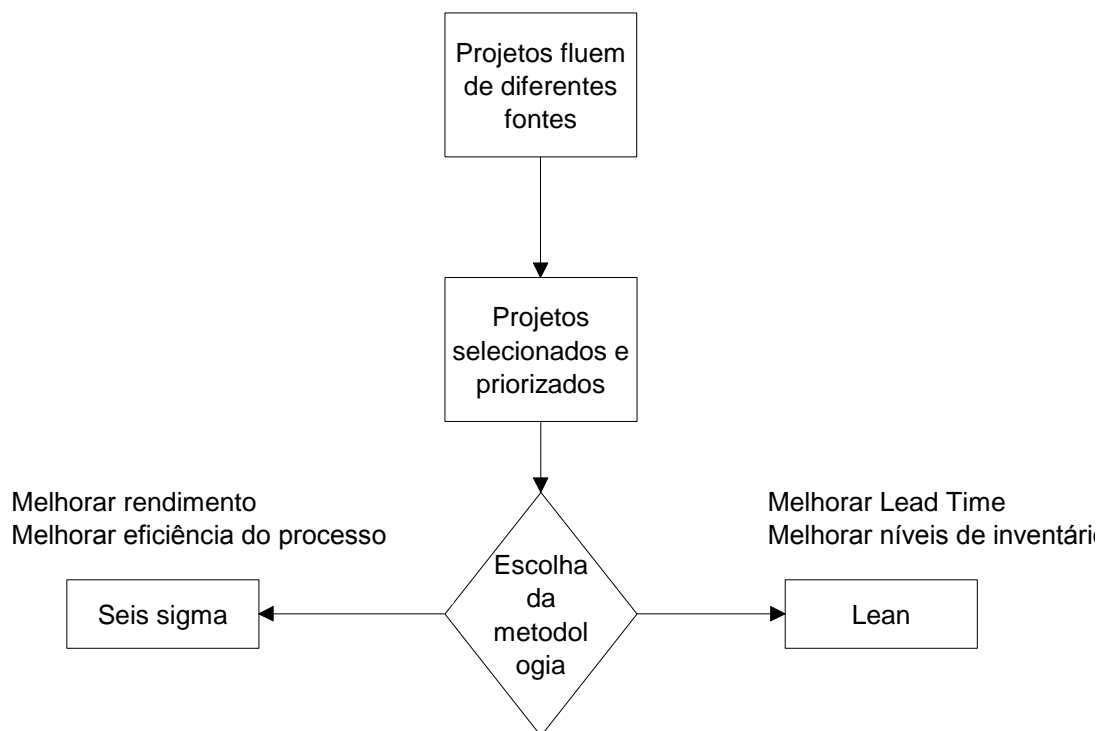


Figura 7 - *Lean* em paralelo ao *Six Sigma*. Fonte: Adaptado de Salah *et al.* (2010).

Além dos modelos apresentados, Salah *et al.* (2010) ainda citam mais duas abordagens na aplicação das metodologias. O *Lean* sendo aplicado totalmente em paralelo ao *Six Sigma*, porém focando no mesmo problema; e ambas as metodologias sendo aplicadas de forma simultânea. O último é o modelo proposto por Salah *et al.* (2010).

#### 2.3.4. Implantação do *Lean Six Sigma*

Conforme visto anteriormente, Salah *et al.* (2010) apresentam 5 diferentes formas para integração das metodologias *Lean* e *Six Sigma*. Porém, dentre essas formas, existem inúmeras combinações de ferramentas que

podem ser integradas a cada forma. Na Tabela 3, são apresentados alguns artigos publicados sobre a aplicação desta metodologia.

Tratando da integração das metodologias *Lean* e *Six Sigma*, devido a grande quantidade de ferramentas de cada metodologia, é possível fazer diversos tipos de combinações para aplicações do *Lean Six Sigma*. Porém é possível observar algumas familiaridades entre as aplicações.

Alguns pontos são claramente mais aplicados que outros. Um desses pontos é a estrutura DMAIC, fundamental para projetos *Six Sigma* e que traz estrutura para as iniciativas *Lean*. O fato da maioria dos autores utilizar o DMAIC como base para os projetos *Lean Six Sigma*, faz com que na maioria dos autores pesquisados, o *Lean* passa a ser parte do *Six Sigma*. Poucos autores colocam o *Six Sigma* como parte do *Lean*. Porém, alguns autores não utilizam o DMAIC como estrutura para o projeto *Lean Six Sigma*.

Um ponto em comum entre os autores é que o *Lean* sempre entra como parte do *Six Sigma*. Em outras palavras, a estrutura básica é a do *Six Sigma* e o *Lean* entra como conceitos e ferramentas de apoio. Dentre os autores estudados, apenas um autor aplica o *Lean* como base e o *Six Sigma* como ferramenta secundária (SCHELLER; MIGUEL, 2014).

Outro ponto amplamente aplicado pelos diferentes autores é a aplicação do MFV, que é aplicado tanto antes como durante o projeto *Lean Six Sigma*. Outros autores, que não utilizam o Mapa de Fluxo de Valor (MFV), aplicam o mapa do processo de forma bem detalhada (PANAT *et al.*, 2014).

A utilização do MFV e do mapa de processo, se deve principalmente pelo fato de que através destas ferramentas, procura-se pelas atividades que agregam e as que não agregam valor. Esta é uma das grandes contribuições que o *Lean* traz para a metodologia *Lean Six Sigma*.

Autores	Ano	Área	Metodologia	DMAIC	MFV	Pareto	Carta de Controle	FMEA	Causa Efeito	Mapa Processo	SIPOC	ANOVA	Cycle Time	VOC	CTQ	DOE	kaizen	Kanban	5S	Brainstorming	DPMO	Lead Time	MSA	TPM	Visual	SMED	OEE	QFD
Mani <i>et al.</i>	2008	Metalurgia de equipamentos	<i>Lean</i> é parte do <i>Six Sigma</i>	x			x						x									x						
Roth, Franchetti	2010	Manufatura	<i>Lean</i> é parte do <i>Six Sigma</i>	x		x				x								x										
Salah <i>et al.</i>	2010	Geral	<i>Lean</i> e <i>Six Sigma</i>	x	X			x			x			x	x	x	x	x	x		x		x	x	x			x
Snee	2010	Geral	<i>Lean</i> é parte do <i>Six Sigma</i>	x	X	x	x		x			x				x												
Gibbons <i>et al.</i>	2012	Geral	<i>Lean</i> é parte do <i>Six Sigma</i>	x	X	x					x	x								x								x
Werkema	2012	Geral	<i>Lean</i> é parte do <i>Six Sigma</i>	x	X	x	x	x	x	x	x			x	x	x	x	x	x	x	x		x	x	x	x		
Cournoyer <i>et al.</i>	2013	Químico e Metalurgia de equipamentos	<i>Lean</i> é parte do <i>Six Sigma</i>				x		x	x			x	x														
Franchetti, Barnala	2013	Indústria Recicladora	<i>Lean</i> é parte do <i>Six Sigma</i>	x	X	x	x					x	x															
Bos <i>et al.</i>	2014	Construção	<i>Lean</i> é parte do <i>Six Sigma</i>	x	X			x							x													
Corrêa <i>et al.</i>	2014	Setor de polímeros	<i>Lean</i> é parte do <i>Six Sigma</i>	x																								x
Panat <i>et al.</i>	2014	Pesquisa e Desenvolvimento	<i>Lean</i> é parte do <i>Six Sigma</i>	x		x	x	x	x	x	x			x														
Scheller, Miguel	2014	Manufatura	<i>Six Sigma</i> é parte do <i>Lean</i>	x	X																							
Venanzi, Laporta	2015	Geral	<i>Lean</i> é parte do <i>Six Sigma</i>	x		x	x		x	x	x										x							

Tabela 3 - Aplicações da metodologia *Lean Six Sigma*. Fonte: elaborado pelo autor (2016).

Outras ferramentas que são mais utilizadas pelos autores estudados são o Pareto e o FMEA. Estas ferramentas são utilizadas na fase de Medição e Análise da metodologia DMAIC. Para as demais ferramentas, não foi possível traçar uma relação entre os autores pesquisados, como tendência comum entre os mesmos.

#### **2.4. Considerações sobre a revisão teórica**

Na revisão bibliográfica anteriormente citada, foi realizada uma pesquisa sobre os temas *Six Sigma*, o *Lean* e o *Lean Six Sigma*. O *Six Sigma* e o *Lean* são metodologias mais antigas, anteriores aos anos 90 e o *Lean Six Sigma* é uma metodologia que vem sendo mais estudada ultimamente, mais intensamente a partir dos anos 2000.

A pesquisa reforçou a eficácia do *Six Sigma* na resolução de problemas, diminuindo a variabilidade dos processos através da aplicação estruturada (DMAIC) e análises estatísticas. A metodologia *Six Sigma* ainda conta com a combinação de um pacote muito poderoso de ferramentas que contribuem para que processos cheguem quase à perfeição de *Six Sigma*, zero defeitos.

Por outro lado, o *Lean* traz os conceitos de produção puxada, visando identificar e eliminar atividades que não agregam valor, também chamados de desperdícios dos processos. O *Lean* também conta com uma gama de ferramentas, que auxiliam na resolução e otimização de processos. O *Lean* também busca a perfeição, visando eliminar todos os desperdícios da cadeia de valor (WOMACK; JONES, 1998).

Por fim, a pesquisa constatou que há uma sinergia entre as duas metodologias e é um senso comum entre os autores pesquisados que a combinação de ambas as ferramentas culmina numa terceira e poderosa metodologia. O *Lean Six Sigma* converge os benefícios de ambas as metodologias e os resultados podem ser potencializados para diferentes fins.

Esta pesquisa é referência para o capítulo seguinte, dos procedimentos metodológicos e conseqüentemente para a aplicação prática. Através desta pesquisa, foi possível conhecer as origens e fundamentos das metodologias. O fato de a pesquisa abranger aplicações recentes, também permitiu ter uma visão completa e atual do tema Estes achados serão apresentados nos capítulos seguintes.

### **3. Procedimentos Metodológicos**

Com base na classificação da pesquisa apresentada no capítulo 1 apresenta-se aqui o objeto de estudo para depois detalhar o método aplicado ao caso.

#### **3.1. Objeto de pesquisa**

A empresa, objeto de estudo, é uma multinacional do ramo químico. A empresa tem vários negócios, entre eles um do ramo agrícola de produção de sementes. Neste ramo, a empresa tem unidades em vários países, entre eles o Brasil. Devido ao potencial agrícola do país, clima favorável, entre outros, as unidades do Brasil têm aumentado o seu grau de importância em nível global nos últimos anos.

A empresa possui no Brasil cerca de mil funcionários efetivos, mas há um grande número de funcionários temporários, devido a demandas sazonais durante o ano. Os funcionários efetivos estão distribuídos entre áreas de pesquisa, centros de distribuição, escritórios e unidades de produção.

As unidades de produção são responsáveis pela produção dos produtos finais que serão comercializados pela empresa. A empresa conta atualmente com cinco unidades de beneficiamento, três de milho e duas de soja.

O processo de produção inicia no campo, onde a semente é plantada, é feito o controle dos campos, o despendoamento e então a colheita. Devido a questões de qualidade de produto, a semente é colhida com umidade alta e em espiga. Isto faz com que seja necessário o processo de beneficiamento da

semente. Na etapa de colheita o processo de campo é interligado com o processo de unidade, pois as espigas são colhidas no campo e a unidade precisa ter capacidade para recebimento de espigas.

O processo de beneficiamento consiste no recebimento das espigas na unidade de beneficiamento, seleção das espigas, secagem das espigas e debulha. Após a debulha, as sementes são classificadas, tratadas com inseticidas e fungicidas e ensacadas em sacos de 60.000 sementes.

A empresa possui *Six Sigma* e *Lean* já implementados, o primeiro desde 2005 e o segundo desde 2006. O presente projeto está focado na aplicação de um projeto combinando as duas metodologias para a melhoria do processo de beneficiamento. O projeto está focado na área de ensaque, pois este é o gargalo da segunda etapa do processo de beneficiamento, que consiste na classificação, tratamento e ensaque, conforme figura 8.

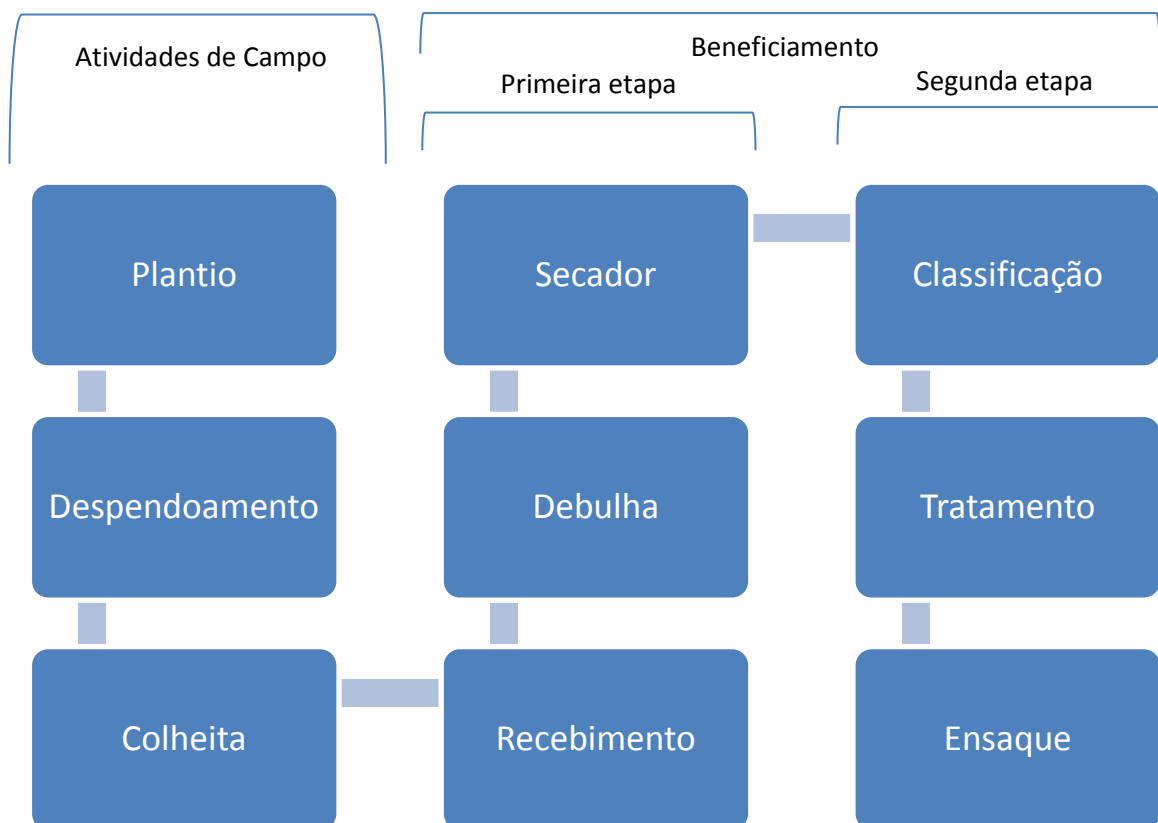


Figura 8 – Fluxo do processo de produção de sementes. Fonte: elaborado pelo autor (2016).



### 3.2. Método de trabalho

Salah *et al.* (2010) sugerem 5 formas de integração das metodologias *Lean* e *Six Sigma*, das quais o presente trabalho utilizará o *Lean* como parte do *Six Sigma*, que é a integração total das duas ferramentas. Desta forma será utilizada a metodologia DMAIC, do *Six Sigma*, com a integração das ferramentas *Lean* para solução do problema. A metodologia proposta é também suportada por Werkema (2012), Snee (2010), Franchetti, Barnala (2013), Panat *et al.* (2014), Bos *et al.* (2014), Venanzi, Laporta (2015).

Scheller e Miguel (2014) enfatizam que o DMAIC deve ser adotado como base para os projetos *Lean Six Sigma*. Eles reforçam que é importante considerar que cada projeto é único e poderá implementar o método de forma diferente e com maior enfoque em uma etapa ou em outra, assim como utilizar diferentes ferramentas. Não existe “forma padrão” para aplicação do *Lean Six Sigma* e o método DMAIC (WERKEMA, 2012). Salah *et al.* (2010) citam que o DMAIC pode assumir o formato DMalc por exemplo. O que significa que no projeto os problemas seriam identificados na fase de Medição e não seriam necessárias extensas análises na fase seguinte; assim como grande foco na fase de controle, caso o problema já esteja controlado.

Corrêa *et al.* (2014) citam que através da aplicação do método DMAIC para a realização de um projeto *Single Minute Exchange of Die* (SMED), o projeto foi conduzido e desenvolvido de forma mais estruturada. Isso devido também ao apoio dos belts, que trouxeram ferramentas e suas experiências de condução de projetos para o caso, garantindo a melhor execução do trabalho.

### 3.3. O Método DMAIC

A seguir serão apresentados detalhes de cada etapa do processo DMAIC, que será a estrutura para aplicação do *Lean Six Sigma*, contemplando a incorporação do *Lean* na estrutura DMAIC.

#### 3.3.1. Definir

Como primeiro passo para o início de um projeto *Lean Six Sigma*, a fase definir vai determinar uma meta inicial para o projeto e o escopo do projeto. Para isto, uma ferramenta utilizada é o *Project Charter* (WERKEMA, 2012). Esta ferramenta não é amplamente utilizada entre os autores, mas é uma importante forma de comunicação, pois é uma espécie de contrato e um alinhamento entre o time do projeto e a liderança da empresa. No *Project Charter*, será apresentado um resumo do projeto. Bos *et al.* (2014) citam que é importante ter uma clara definição do processo na etapa de definição do projeto.

Werkema (2012) sugere que sejam apresentados os seguintes aspectos no *Project Charter*: a descrição do problema, a definição da meta, avaliação do histórico, restrições e suposições, equipe de trabalho, cronograma. Estes tópicos auxiliam no entendimento do problema, definem o escopo inicial e os objetivos macros do projeto. A definição do time de trabalho ajuda a definir qual o percentual de envolvimento de cada participante o que vai influenciar na condução futura do projeto.

Além do *Project Charter*, outra ferramenta utilizada na fase de definição é o SIPOC (*Suppliers, Inputs, Process, Outputs and Customers*) (SALAH, 2010). Esta ferramenta delimita o escopo do projeto de forma mais detalhada que o *Project Charter*. Enquanto que o *Project Charter* alinha o escopo com a liderança da empresa, o SIPOC alinha o escopo com o time do projeto. Na

utilização do SIPOC, se deve atentar para não ser detalhado demais, pois o detalhamento do processo será abordado na fase de análise (VENANZI; LAPORTA, 2015). Esta ferramenta ainda auxilia a identificar os fatores que influenciam o processo, podendo inclusive já ser utilizada para avaliar as atividades de agregam valor e as que não agregam valor (GIBBONS *et al.*, 2012).

Nesta primeira fase ainda são utilizadas outras duas ferramentas: a Voz do Cliente (VOC) e as Características Críticas para a Qualidade (CTQ). São citadas as duas em conjunto, pois ambas são conectadas. A VOC é proveniente de reclamações de clientes, resultados de pesquisa de satisfação do cliente, comentários, entre outros. Já a CTQ é a interpretação da VOC para um indicador que vai ser a medida do projeto (WERKEMA, 2012).

Bos *et al.* (2014) não utilizam a VOC e introduzem a CTQ na fase de medição, já definindo a meta da mesma. Os mesmos autores não utilizam o *Project Charter*, ou seja, não é feito um alinhamento com o time e líderes da empresa, o que pode acarretar algum risco de não atender as expectativas do projeto. Por outro lado, pode-se tratar de um projeto pequeno que dispensa estes detalhes.

### **3.3.2. Medir**

Na fase de medição, o problema definido na primeira etapa, passa a ser refinado. Ele passa a ser dividido em etapas e problemas menores mais simples de serem resolvidos. Para tal, pode-se contar com dados históricos ou uma coleta de dados é necessária. Através destas informações, que será determinado o desempenho de cada variável de entrada do processo, assim como a métrica CTQ, definida na etapa anterior (WERKEMA, 2012).

Caso seja necessária a coleta de dados, deve-se fazer um plano para a coleta de dados. Para definição do plano, podem-se utilizar as ferramentas

*brainstorming* ou causa e efeito, para definir quais as potenciais variáveis que precisam ser coletadas (SALAH *et al.*, 2010).

Esse plano deve conter também a confiabilidade das medições, que é a Avaliação de Sistemas de Medição e Inspeção (MSA). Essa avaliação vai garantir que os dados tenham repetitividade e reprodutibilidade (SALAH *et al.*, 2010). Pande (2000) acrescenta ainda a estabilidade, que é a reprodutibilidade ao longo do tempo e em diferentes turnos.

Para medição dos dados, podem ser utilizadas ferramentas como o histograma, cartas de controle ou os índices de capacidade de Defeitos por Milhão de Oportunidade (DPMO) ou o sigma. Essas ferramentas visam determinar o desempenho atual do que se deseja melhorar.

É na etapa de medição que é definida a meta do projeto. Como visto anteriormente, uma vez determinado o estado atual do problema, se deve determinar qual a melhoria esperada. Essa meta pode ser a redução do sigma ou a redução do DPMO (WERKEMA, 2012).

### **3.3.3. Analisar**

A etapa de analisar consiste em definir quais as causas raízes para o problema que foi definido e medido nas fases anteriores. Em outras palavras, são identificadas as causas principais (x's) que afetam o problema (y) (WERKEMA, 2012).

Nesta fase são utilizadas ferramentas estatísticas para analisar como as causas influenciam no problema. Entre as ferramentas utilizadas estão o FMEA, modelos de regressão, boxplot, estratificação, diagrama de dispersão e cartas "Multi-Vari" (WERKEMA, 2012, SALAH *et al.*, 2010).

Outra forma de fazer uma análise é através de *Brainstorming*. Através deste são levantadas várias hipóteses. Depois de criada a lista, utilizam-se

ferramentas de apoio como o Diagrama de Causa e Efeitos, Diagrama de Relações e Diagrama de Afinidades. Normalmente são levantadas várias hipóteses neste processo. Nestes casos e em outros, deve-se utilizar a matriz de priorização para que o time defina as causas principais.

Nesta etapa deve ser realizada a análise das atividades que agregam valor e as que não agregam valor, integrando os conceitos *Lean* no método. O objetivo é identificar essas atividades para depois eliminá-las ou reduzi-las ao máximo.

Com essas causas definidas, devem ser utilizadas outras ferramentas, como o *Design of Experiment* (DOE), diagrama de dispersão, análise de regressão, para comprovar como as causas potenciais afetam o problema (WERKEMA, 2012).

#### **3.3.4. Melhorar**

A fase de melhorar do DMAIC consiste em implementar ações que venham a solucionar as causas raiz identificadas na etapa anterior. Werkema (2012) cita que o *brainstorming*, Diagrama de Causa e Efeitos Diagrama de Relações e o Diagrama de Afinidades são ferramentas que podem ser utilizadas para encontrar essas ações.

Caso sejam encontradas mais de uma solução, uma Matriz de Priorização pode ser utilizada. Através da aplicação desta, o time pode visualizar qual a melhor alternativa, baseado em dados.

Na etapa de melhorar que as ferramentas *Lean* têm muito que contribuir para a solução do problema. Podem ser utilizados eventos kaizen, 5S, melhorar o tempo e os movimentos, redução do tempo de preparação, entre outros (SALAH *et al.*, 2010). A Manutenção Produtiva Total é outra ferramenta

que pode ser utilizada para melhoria do processo, assim como a manutenção autônoma.

Werkema (2012) complementa que na etapa de melhorar devem ser feitos os testes em pequena escala e caso o teste seja positivo, o plano de implementação a larga escala deve ser elaborado. Caso o resultado não seja satisfatório, deve-se voltar à etapa de medir, segunda fase, e realizar uma nova análise do problema.

### **3.3.5. Controlar**

A última etapa do processo DMAIC é a etapa de controlar. Esta etapa consiste em verificar a aplicação dos resultados em larga escala. Ou seja, é avaliado se a meta foi alcançada e o sucesso do projeto.

Algumas ferramentas que são utilizadas nesta etapa para fazer essa avaliação são o Diagrama de Pareto, a Avaliação de Sistemas de Medição, Cartas de Controle, histograma. Se o objetivo não tiver sido atingido, deve-se voltar para a etapa de medir, analisar os problemas, assim como melhorar e verificar novamente o controle das melhorias (WERKEMA, 2012). Outra ferramenta *Lean* que pode ser utilizada nesta etapa é a gestão visual para controle visual dos indicadores e processos definidos.

Além da verificação do sucesso, deve ser feita a validação financeira final do projeto. Outro aspecto importante é documentar as melhorias e elaborar os treinamentos necessários para que as mudanças sejam sustentadas (SALAH *et al.*, 2010).

Sarkar *et al.* (2014) sugerem que o método mais adequado a ser utilizado na fase de controle de um projeto *Lean Six Sigma* irá depender do tipo de dominância da atividade que precisa ser controlada. Os autores citam que podem existir cinco tipos de dominância, conforme quadro 3.

<b>Dominância</b>	<b>Ferramenta</b>
Informação	Poka-yoke ou a prova de erros
Método	Padronização
Tempo	Carta de Controle
Material	Padronização
Atividade	Poka-yoke

**Quadro 3 - Sugestão de Sistema de Controle. Fonte: adaptado de Sarkar (2014).**

No próximo capítulo é apresentada a aplicação do método DMAIC percorrida nesta etapa. É demonstrado de que forma o *Lean* é incorporado ao *Six Sigma*.

## 4. Resultados e Discussão

A partir da revisão teórica e da metodologia, apresentadas nos capítulos 2 e 3 respectivamente, neste capítulo são apresentados os resultados da aplicação da metodologia *Lean Six Sigma*. Neste capítulo também são discutidos os resultados e aprendizados obtidos a partir desta aplicação prática da metodologia.

### 4.1. O processo

Conforme citado no item 3.1, o objeto de estudo é o processo de ensaio de uma unidade de beneficiamento de sementes. Este processo foi identificado como oportunidade para um projeto de melhoria através da elaboração de um MFV do processo de produção de sementes. Conforme Salah *et al.* (2010), o MFV deve ser o primeiro passo para a implementação do *Lean Six Sigma*.

No MFV foram identificadas várias oportunidades no processo, entre elas a condução de um projeto robusto para melhorar a eficiência do ensaio. Conforme mostrado na figura 9, se verificou no MFV que o ensaio era o gargalo da segunda etapa do processo.

Essa necessidade pode ser verificada no MFV, figura 09, onde o ensaio tem uma relação *Cycle Time* e *Takt Time* (CT/TT) de 42% enquanto que a classificação e tratamento, que são os processos anteriores, tem uma relação CT/TT de 26% e 25% respectivamente. Esta relação CT/TT significa que o processo trabalha 42% da capacidade (CT) para atender a demanda (TT). A análise das capacidades nominais também demonstrou que o ensaio é o gargalo do processo.



Mapa de Fluxo de Valor  
Situação Futura Safra 15/15

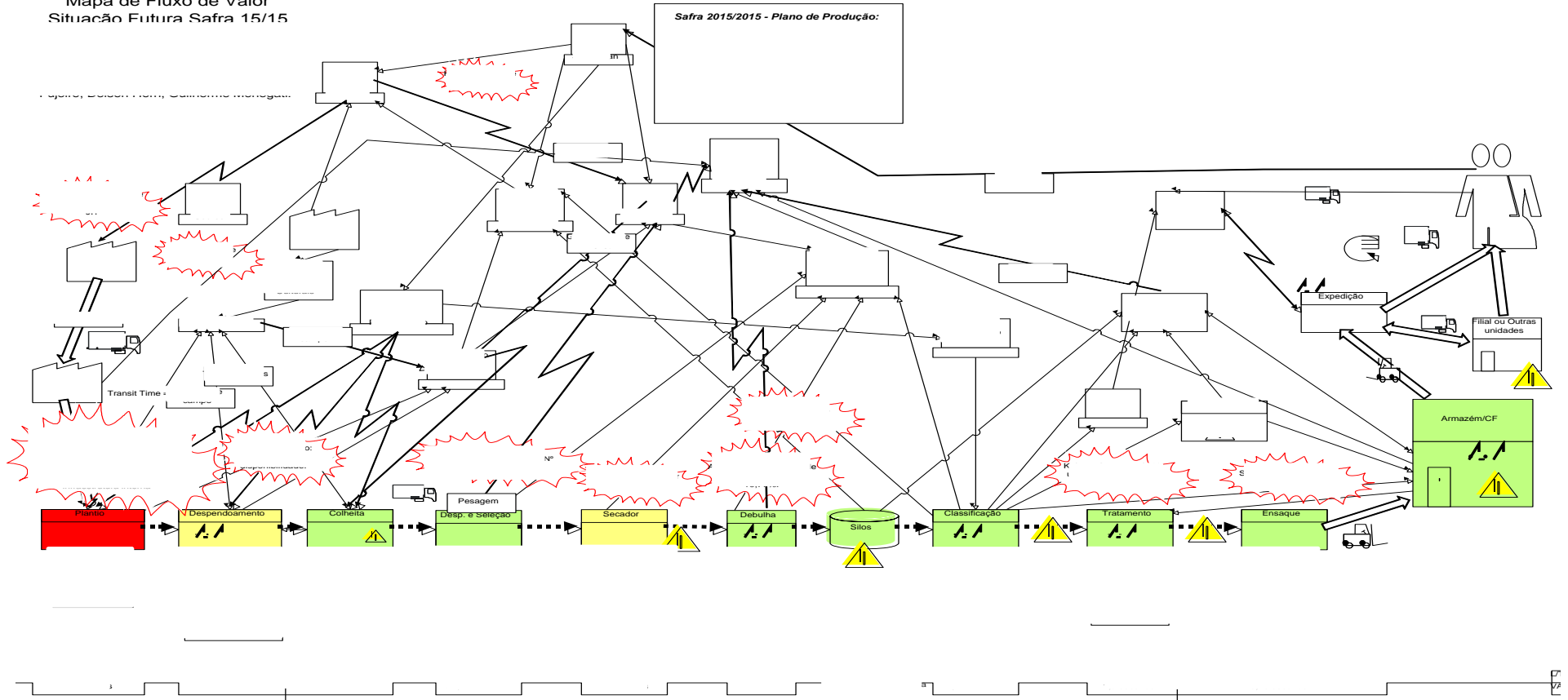


Figura 9 – Extrato do Mapa de Fluxo de Valor. Fonte: elaborado pelo autor (2016).

Além disto, o ensaque possui duas linhas de ensaque, uma linha manual e uma linha automática. A linha manual opera desde o início da operação da unidade em 2005 e necessita sete funcionários para operá-la. Já a linha automática foi instalada em 2009 e começou a operar em 2010. Esta linha necessita somente três funcionários.

A linha manual necessita mais pessoas para operação porque todo o processo de ensaque é manual. O processo de ensaque manual consiste nos seguintes passos:

- I. Iniciar com a abertura do silo de semente tratada.
- II. A semente é pesada por uma balança automática, que através de mecanismo pneumáticos realiza a pesagem do saco.
- III. Um funcionário manualmente ensaca a semente, através do acionamento de um botão.
- IV. O segundo funcionário dobra o saco.
- V. O terceiro funcionário coloca uma etiqueta de identificação.
- VI. O quarto funcionário alinha o saco para a costura do mesmo de forma automática.
- VII. Os sacos costurados são direcionados por esteiras para um box de empilhamento em pallets. Devido ao esforço físico da atividade de paletização, dois funcionários trabalham nesta atividade. Esses funcionários fazem revezamento a cada pallet empilhado.
- VIII. O último funcionário é um operador de empilhadeira que retira o pallet do box de empilhamento e o move para o processo de envolvimento do pallet em filme *stretch*.
- IX. O pallet pronto é colocado numa área de espera para posterior empilhamento definitivo.

Já o processo da linha automática é composto por três máquinas em sequência: uma máquina ensacadeira, um robô paletizador e uma máquina envolvente de filme *stretch*. A ensacadeira executa os passos I a VI citados, o robô executa o passo VII. Uma esteira ligada ao robô conduz o pallet pronto para execução do passo VIII.

Para controle da linha automática são necessários três funcionários. Esses funcionários têm a função de fazer testes de controle de qualidade, ajustes das máquinas e alimentação de insumos.

Desde o início da operação da linha automática, a mesma nunca foi muito utilizada, dando-se preferência para o uso da linha manual. Isso se deve principalmente às dificuldades para ajuste das máquinas da linha automática, problemas de manutenção, pela falta de pessoas capacitadas e procedimentos padronizados.

Durante a elaboração do MFV, quando foi identificado que o ensaque era o gargalo da segunda etapa do processo, o time gerencial definiu que além da realização de um projeto *Six Sigma*, outras duas ferramentas *Lean* seriam implementadas para suportar e já iniciar as melhorias neste processo. As ferramentas implementadas foram o 5S e a Gestão Visual.

Essas duas ferramentas foram escolhidas por serem fundamentais e bases para melhorias. O 5S auxiliando na organização do setor e na apropriação da área por parte da equipe. Esta ferramenta também cria uma cultura de disciplina, pois se os funcionários são capazes de manter seu ambiente de trabalho e ferramentas organizadas, serão disciplinados para seguir procedimentos padrão otimizados. Além disso, tem-se o aumento da satisfação dos mesmos em trabalhar num ambiente limpo e organizado (OSADA, 1992).

A Gestão Visual tem também um papel fundamental para a implementação de melhorias de processos. Através desta ferramenta, a equipe pode medir de forma visual o seu desempenho. Para fim de controle de projetos, essa ferramenta ajuda a passar a responsabilidade de monitorar o atingimento de certo indicador. Para implementação da gestão visual, foram definidos os seguintes pontos a serem apresentados no quadro: informações da equipe, os principais indicadores do processo, fotos e resultados de auditorias de 5S e o plano de ação. Através deste último ponto citado, a equipe

passou a controlar as ações de melhoria, com prazo, responsável e andamento de cada ação.

## **4.2. Aplicação do método DMAIC**

A seguir será apresentado como foi desenvolvido o projeto através do seguimento da metodologia DMAIC e aplicação dos conceitos de *Lean Six Sigma*, passos estes que foram descritos nos procedimentos metodológicos.

### **4.2.1. Definir**

A primeira etapa da metodologia DMAIC consistiu na definição do problema. Para isto primeiramente foi feito um alinhamento com o Diretor de Produção de Milho, Gerente de Produção Local, Gerente da Unidade e o Líder do Projeto.

Neste primeiro contato foi revisado o histórico de utilização do ensaque. Foi verificado que a linha automática estava sendo pouco utilizada em relação a linha manual, mostrando assim a necessidade de uma maior utilização da linha automática, conforme ilustrado na figura 10.

Também neste momento, foram levantados os itens que representaram a Voz do Cliente. Foram levantados os seguintes tópicos:

- I. Aumentar a eficiência do ensaque automático na unidade.
- II. Os processos anteriores estão parando devido à baixa performance do ensaque.
- III. A unidade deve ser um fornecedor confiável entregando sementes de qualidade no tempo certo. Investimentos em custo fixo devem ser evitados.
- IV. Custos operacionais variáveis devem ser reduzidos.

- V. Redução da janela de safra (intervalo no qual a planta precisa produzir os volumes necessários).

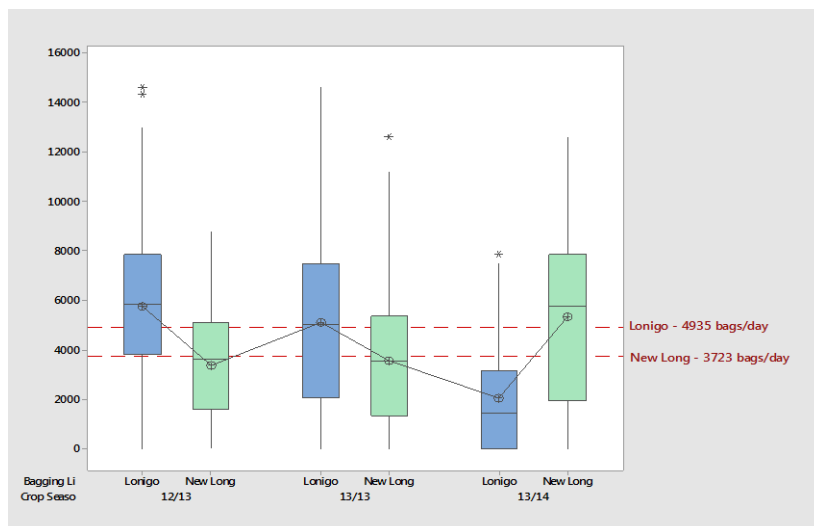


Figura 10 - Utilização linhas de ensaque. Fonte: elaborado pelo autor no Minitab® (2016).

A partir da definição da Voz do Cliente, foi elaborado o *Project Charter*, para obter o alinhamento entre os membros do time. Para elaboração deste documento, foram definidos os seguintes pontos: os prazos para condução do projeto, descrição do problema, a definição da meta, os clientes do projeto, as variáveis críticas para o projeto (CTQ), a definição dos membros do time do projeto, o escopo do projeto, estimativa inicial de benefício financeiro e as datas críticas. O *Project Charter* consta no Apêndice 1.

Os membros do time foram selecionados de forma a representarem diferentes áreas e níveis hierárquicos, desde gerente a líderes de processos e funcionários envolvidos direta ou indiretamente ao ensaque. Um membro representando a manutenção também foi convidado a participar do projeto. Os membros foram convidados através de contato telefônico pelo líder e através de e-mail formal com cópia para o gerente da área e seu superior. Desta forma garantindo desde o principio o envolvimento das pessoas que mais conhecem

e afetam o processo. Durante o processo, outras pessoas também foram envolvidas, porém o time central permaneceu mais enxuto.

Após definido e aprovado o projeto através do *Project Charter*, foi realizada uma análise mais detalhada do escopo do projeto. Para isto foi utilizada a ferramenta SIPOC. O SIPOC está para o time, da forma que o *Project Charter* está para a direção. Ou seja, o *Project Charter* tem a função de alinhar o projeto com a direção e gerência, já o SIPOC tem o objetivo de alinhar o escopo com o time do projeto.

Para a realização do SIPOC, o time definiu qual seria o escopo do projeto, quais as etapas que entrariam em análise para realização do projeto. A atividade consistiu em avaliar quais os principais processos envolvidos. Os processos são apresentados ao centro. Para cada processo, representado ao lado esquerdo, o fornecedor e as principais entradas. Ainda pra cada processo, representado ao lado direito, as principais saídas e os clientes do mesmo. Nesta ferramenta, as saídas e clientes de um processo, passam para o lado esquerdo como fornecedor e entrada para o processo seguinte. O SIPOC é apresentado na figura 11.

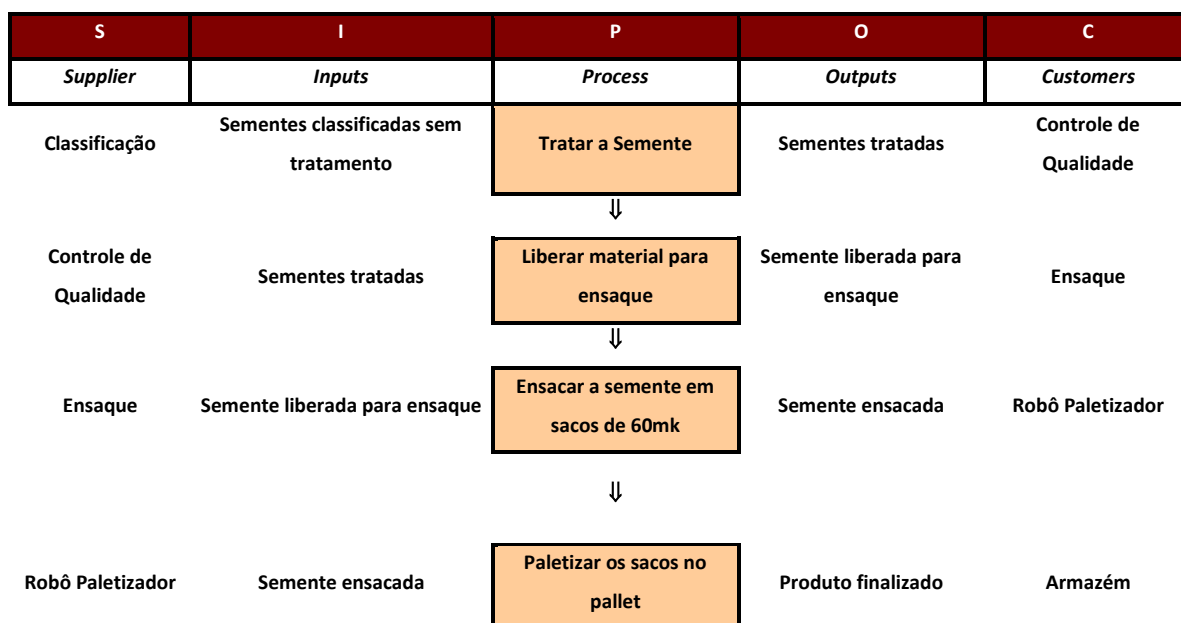


Figura 11 - SIPOC. Fonte: elaborado pelo autor (2016).

#### 4.2.2. Medir

A partir da definição do problema, a primeira atividade na fase de medição consistiu em definir qual seria o Y do projeto. Para isso foram considerados alguns fatores para escolha do melhor indicador do projeto. Cada possível Y foi avaliado para cada fator e feita a soma dos pontos de cada um, conforme quadro 4.

*Escala: 01 – menor relação; 10 – maior relação.*

Possíveis Ys	Mensurável?	Conectado ao CTQ?	Mensuração direta do processo?	Dados históricos suficientes?	Fácil de ser controlado/influenciado?	Fácil de ser coletado?	Total
Quantidade Sacos produzidos com Qualidade	9	8	4	9	9	8	47
Toneladas de sementes ensacadas por turno	9	9	4	9	9	9	49
Sacos produzidos por hora	9	9	7	9	9	9	52
Sacos produzidos por turno	9	9	9	9	9	9	54
OEE	9	9	9	9	9	9	54

**Quadro 4 - Avaliação de possíveis Y's. Fonte: elaborado pelo autor (2016).**

As variáveis identificadas como possíveis Ys foram as seguintes: sacos produzidos com qualidade, toneladas de sementes ensacadas por turno, sacos produzidos por hora, sacos produzidos por turno e OEE (*Overall Equipment*

*Effectiveness*). OEE é Eficiência Geral dos Equipamentos e representa em percentual a eficiência de determinado equipamento ou processo.

O OEE é composto de três indicadores: Disponibilidade, Performance e Qualidade. Esses indicadores também são calculados em números percentuais e a multiplicação destes três fatores é o OEE (GIBBONS; BURGESS, 2010).

A disponibilidade é calculada pela divisão das horas trabalhadas pelas horas programadas de trabalho, conforme equação 2. Exclui-se do cálculo do OEE as horas não programadas para trabalho, como intervalos de almoço, intervalos, reuniões programadas, horas sem demanda. Exemplo, considerando que um processo tem uma jornada de trabalho de 6 horas, ocorre 3 horas de paradas não programadas e efetivamente o processo trabalhou 3 horas. O cálculo da disponibilidade são as 3 horas trabalhadas divididas pela jornada de trabalho de 6 horas, resultando num indicador de disponibilidade de 50%, conforme equação 3.

$$\text{Disponibilidade} = \frac{\text{o tempo efetivo de operação por turno ou dia}}{\text{total de horas programadas para trabalho}} \quad (2)$$

$$\text{Disponibilidade} = \frac{3}{6} = 0,50 \text{ ou } 50\% \quad (3)$$

O segundo indicador que compõe o cálculo de OEE é a performance. Esse indicador é a divisão do tempo que a máquina estava trabalhando menos as pequenas paradas pelo tempo total que a máquina estava trabalhando conforme equação 4. Utilizando o exemplo anterior, suponha-se que o processo tenha tido 36 minutos de pequenas paradas ou CT (*cycle time*) lento. Obtém-se então a performance pela divisão do tempo efetivo de produção de 3 horas menos 0,6 horas pelas 3 horas de tempo efetivo de produção. Neste exemplo a performance seria de 80%, conforme equação 5 (GIBBONS; BURGESS, 2010).

$$\text{Performance} = \frac{\text{tempo efetivo de produção} - \text{pequenas paradas}}{\text{tempo efetivo de operação}} \quad (4)$$

$$\text{Performance} = \frac{3-0,6}{3} = 0,80 \text{ ou } 80\% \quad (5)$$



O último indicador que compõe o cálculo de OEE é a qualidade, que é referente à qualidade das unidades produzidas. Esse indicador é a divisão das unidades produzidas menos as unidades defeituosas pelas unidades produzidas, conforme equação 6. Ainda utilizando o exemplo anterior, suponhamos que das 2.400 unidades produzidas, 240 unidades foram produzidas fora das especificações de qualidade. O cálculo do indicador de qualidade é as 2.400 unidades produzidas menos as 240 unidades defeituosas pelas 2.400 unidades produzidas. Neste caso, a qualidade seria de 90%, conforme equação 7.

$$Qualidade = \frac{\text{unidades produzidas} - \text{unidades defeituosas produzidas}}{\text{unidades produzidas}} \quad (6)$$

$$Qualidade = \frac{2.400 - 240}{2400} = 0,90 \text{ ou } 90\% \quad (7)$$

Por fim, como citado anteriormente, o cálculo de OEE é a multiplicação dos indicadores de Disponibilidade, Performance e Qualidade, conforme equação 8. No exemplo utilizado, seria 0,5 de disponibilidade, 0,8 de performance e 0,9 de qualidade, que resultaria num OEE de 36%, conforme equação 9 (GIBBONS; BURGESS, 2010).

$$OEE = \text{Disponibilidade} \times \text{Performance} \times \text{Qualidade} \quad (8)$$

$$OEE = 0,5 \times 0,8 \times 0,9 = 0,36 \text{ ou } 36\% \quad (9)$$

A partir da avaliação das variáveis candidatas a Y do projeto, apresentada no quadro 04, baseado na soma da avaliação de cada variável, foram definidos os dois que tiveram a maior pontuação: OEE e sacos produzidos por turno. Foram escolhidos esses dois indicadores, pois os mesmos complementam um ao outro. Os sacos produzidos por turno demonstram a capacidade real do ensaque e são referencia para planejamento de produção. Por outro lado, o OEE representa a eficiência do processo para atingimento da produção. Por exemplo, pode-se ter um OEE de 80%, porém podem-se ter sido produzidos somente 1.000 sacos. Isso porque o conceito de OEE não exclui do seu cálculo a falta de demanda. Por outro lado, o processo pode ter uma produção de 1.000 sacos e um OEE de 15%. Isso pode ocorrer

devido a falhas de processos ou a outros fatores que influenciam na eficiência do processo.

Gibbons e Burgess (2010) demonstram o OEE pode ser uma forma de mensurar o Y de um projeto *Lean Six Sigma*. Segundo os autores, os fatores que compõe o OEE podem gerar diferentes projetos de *Lean* e *Six Sigma*. Sabendo que o OEE é calculado por três fatores, Disponibilidade, Performance e Qualidade, cada índice pode gerar um diferente projeto. A disponibilidade pode gerar projetos de *Lean* através da identificação das atividades que não agregam valor e na condução de projetos *kaizen* ou outras ferramentas. Já o *Six Sigma* pode contribuir para o aumento do índice de qualidade, pois foca na redução dos erros de qualidade através da aplicação de ferramentas estatísticas.

Para cada Y definido, foi definido um padrão operacional. Ou seja, para cada Y foram definidos a especificação do limite, a unidade de medida e o que seria considerado um defeito, conforme ilustração do quadro 5. No caso no Y2 de sacos/turno, a especificação do limite quanto maior melhor por um lado contradiz um dos desperdícios Lean que é a superprodução. Porém, devido as capacidades apresentadas no 4.1, que demonstram que o ensaque é o gargalo do processo, se este setor não produzir a demanda de entrada, pode trancar todo o processo. Outro ponto é que como a demanda dos clientes é produzida em duas janelas no ano, quanto maior a produção, menor esta janela ou menos turnos serão precisos para produzir o mesmo volume, conseqüentemente diminuindo os custos de produção.

	<b>Y1 – OEE</b>	<b>Y2 – Sacos/turno</b>
<b>Especificação do limite</b>	Quanto maior melhor	Quanto maior melhor
<b>Limite</b>	45	3.000
<b>Unidade</b>	Percentual	Sacos/turno
<b>Oportunidade</b>	1 oportunidade por dia	1 oportunidade por turno
<b>Defeito</b>	Todo dia que não atingir a meta	Todo turno que não atingir a meta

Quadro 5 - Definição operacional dos Y's. Fonte: elaborado pelo autor (2016).

Para a coleta das informações, foi elaborado um plano de coleta de dados para garantir que todas as informações estariam disponíveis para análise. Para tal, foi realizado um *brainstorming* sobre os principais fatores que contribuem para o desempenho dos Y's OEE e sacos por turno. Durante o *brainstorming* foram levantados 45 fatores. Esses fatores foram classificados para uma Análise de Causa e Efeito para nova avaliação. Os Y's foram os efeitos dos fatores gerados no *brainstorming*, classificados em Medições, Materiais, Pessoal, Ambiente, Métodos e Máquinas (figura 12).

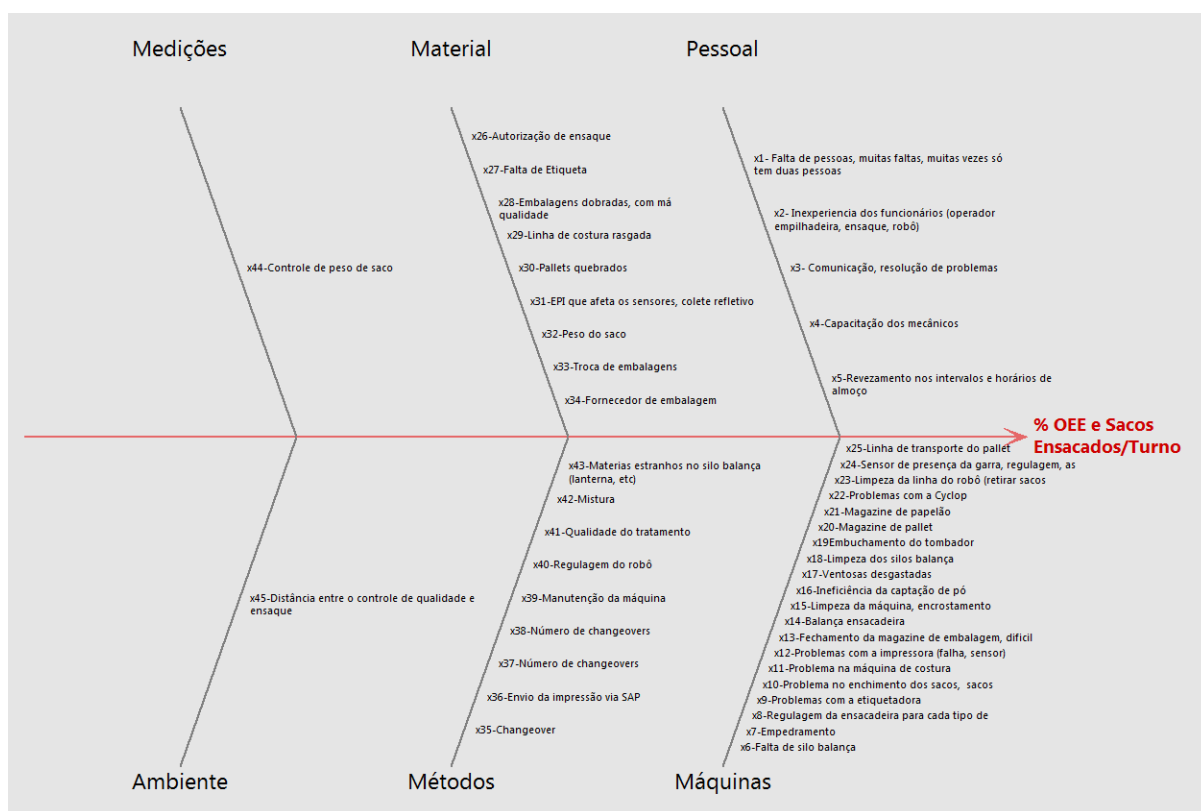


Figura 12 - Análise Causa e Efeito. Fonte: elaborado pelo autor no Minitab® (2016).

Para análise dos efeitos foi elaborado o plano de coleta. Este plano continha o que deveria ser medido e a forma de medição, assim como os responsáveis pela coleta, conforme plano apresentado no quadro 6.

Plano de Coleta de Dados										
Objetivo da coleta de dados: Obter informações de parada do ensaque Coletar os dados de parada e produção da linha automática do ensaque										
O que medir			Definição Operacional		Plano de amostra				Coleta	
Medir	Tipo de Medida (Y or X)	Tipo do dado (Discreto ou contínuo)	O que	Como	O que	Quando	Onde	Quantas vezes	Método da coleta	Resp.
Número de sacos produzidos por turno	Y	Contínuo	Número de sacos produzidos por turno, reensaque, TSI	Soma dos sacos produzidos por turno	Número de sacos 60MK no mesmo turno	Quality Control	A cada turno	Durante a safra	Planilha	Operador Ensaque
Paradas do sistema	Y e X	Contínuo	Motivos de paradas na Linha Automática	UpBase® *	Classificação das paradas geradas no sistema UpBase®	Linha automática	A cada parada	Durante a safra	UpBase®	Operador Ensaque

\* Upbase® é um sistema de cálculo de OEE desenvolvido dentro da empresa.

Quadro 6 - Plano de Coleta de Dados. Fonte: elaborado pelo autor (2016).

Não foi possível fazer uma análise do indicador de OEE por turno, devido à dificuldade de compilação dos dados históricos. Há um campo no sistema que coleta os dados de OEE, porém esse campo é livre. Isso acarreta numa falta de padrão nos dados, pois a digitação de cada turno é aberta e por consequência gera uma incoerência nos dados históricos por turno.

Ambos os Y' tinham dados históricos, sendo possível compilar desempenho anterior e posterior através do Minitab®. Desta forma foi analisado se os dados eram normais ou não-normais. Conforme pode ser visto nas figuras 13 e 14, os dados para o Y1 sacos por turno eram não normais, pois o valor de  $p$  era menor de 0,05. Já os dados para o Y2 de OEE era normal, pois o valor de  $p$  era maior que 0,05.

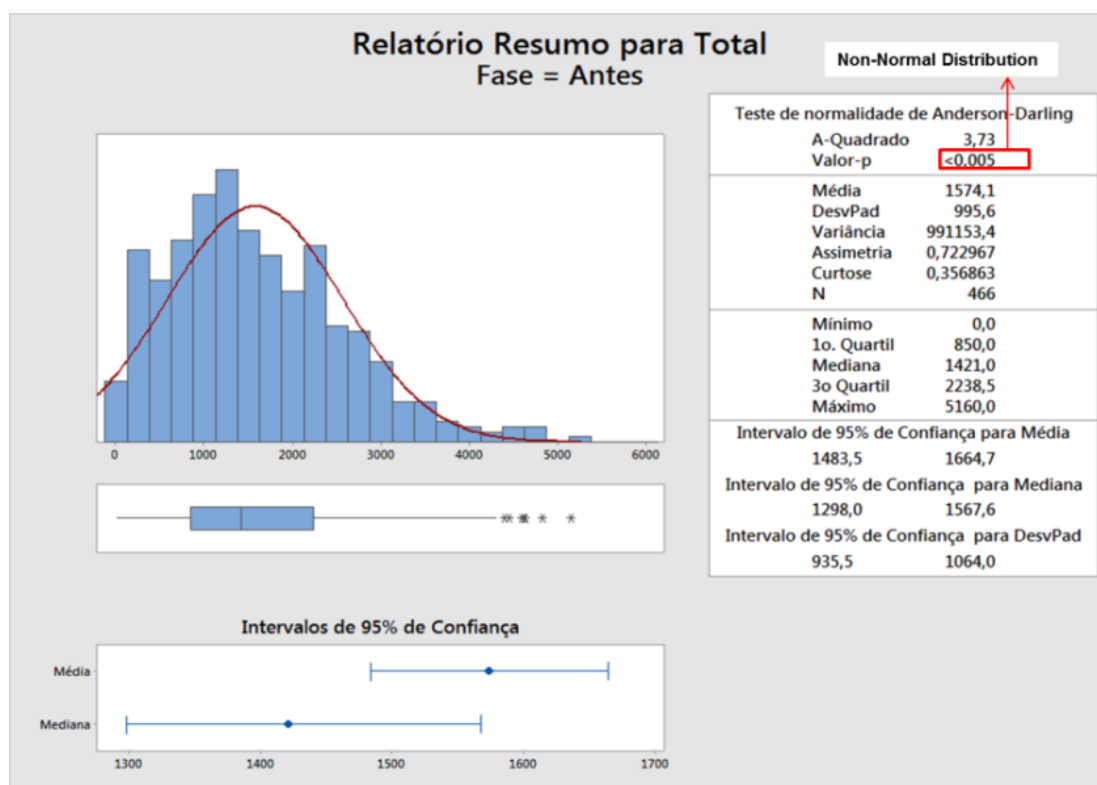
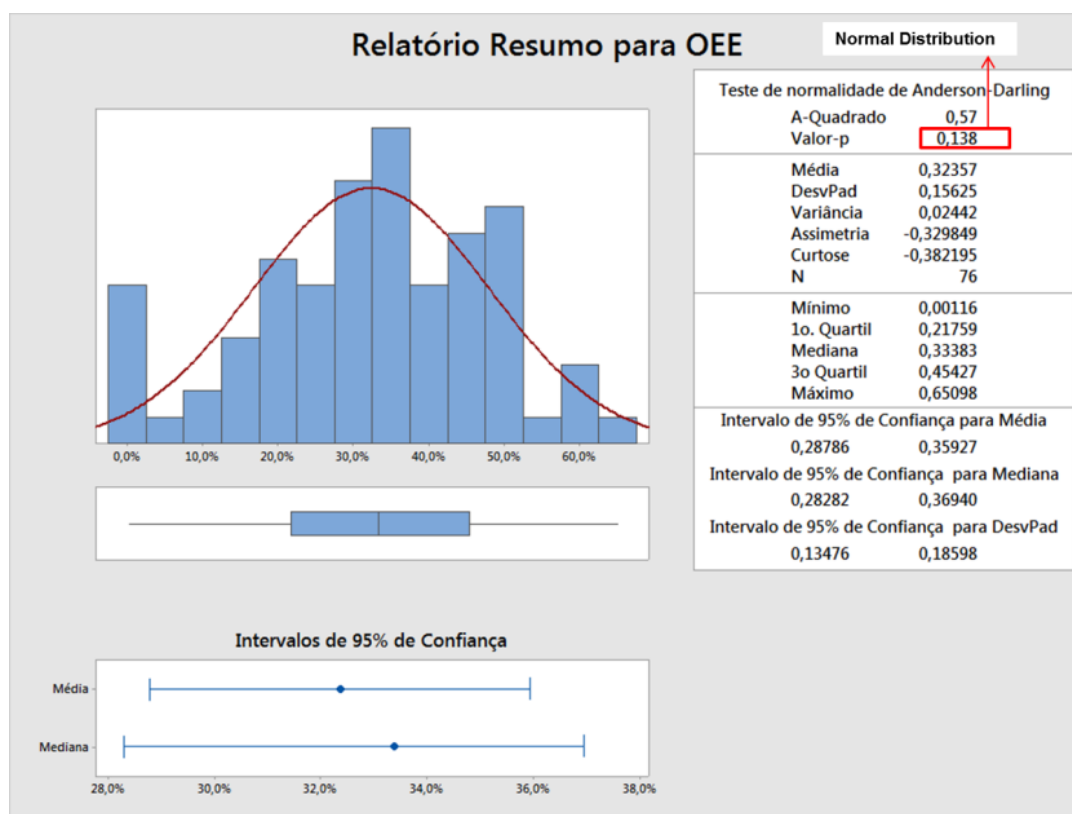


Figura 13 - Distribuição não-normal de Sacos/Turno. Fonte: elaborado pelo autor no Minitab® (2016).



**Figura 14 - Distribuição normal de OEE. Fonte: elaborado pelo autor no Minitab® (2016).**

Uma vez definido o tipo de distribuição de cada indicador, foi analisada no Minitab® a capacidade de cada um dos Y's. Através desta análise, verificou-se que o DPMO do Y1 sacos por turno era de 903.479 e o nível de sigma de -1,3, conforme apresentado na figura 15. Como a distribuição era não-normal, foi necessário utilizar a transformação de Johnson para transformar os dados para uma curva normal. Isso foi feito através da seleção desta opção no Minitab®.

Pelo fato do Y2 de OEE ter uma distribuição normal, não foi necessário fazer nenhuma transformação dos dados. Deste indicador também foi analisado no Minitab® qual a capacidade do mesmo. Através desta análise, verificou-se que o DPMO do Y2 de OEE era de 790.787 e o nível de sigma de -0,81, conforme apresentado na figura 16.

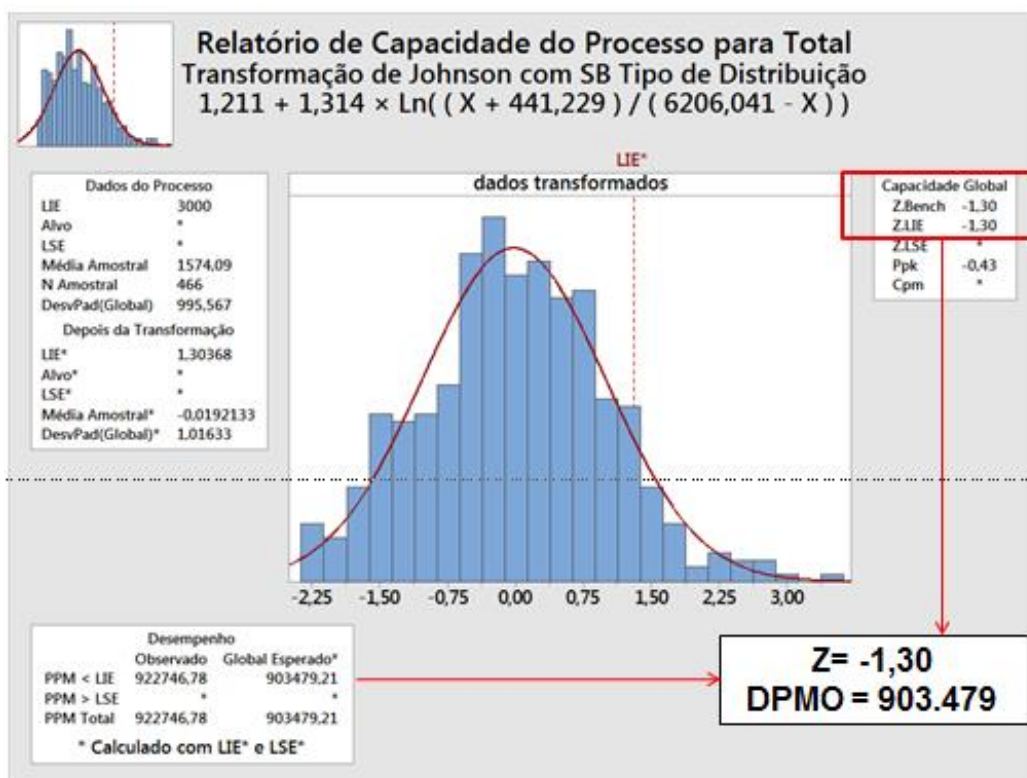


Figura 15 - Análise da capacidade Sacos/Turno. Fonte: elaborado pelo autor no Minitab® (2016).

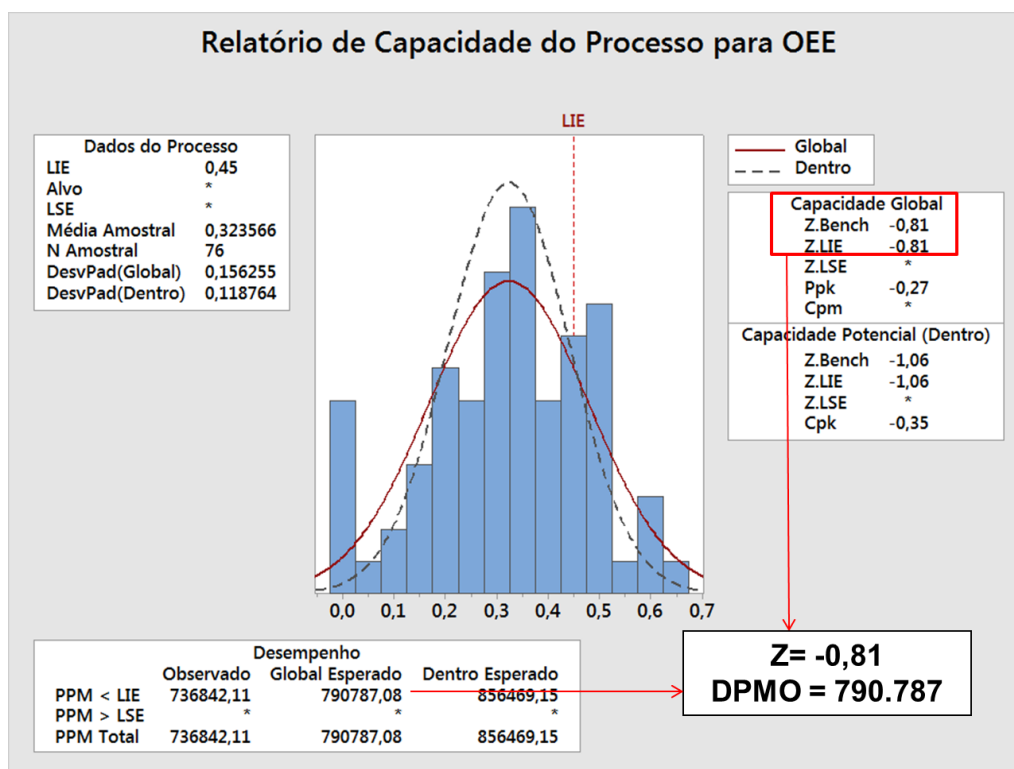


Figura 16 - Análise capacidade OEE. Fonte: elaborado pelo autor no Minitab® (2016).

A partir da definição da capacidade de cada Y foi definida uma meta para cada um. O objetivo definido para o Y1 sacos/turno foi de obter uma média de 3.000 unidades ensacadas por turno, assim como reduzir o número de DPMO em 50%, para 461.373 e assim atingir um sigma de 0,1.

A meta para o Y2 OEE foi definida no atingimento de 45% de OEE. A partir desta meta, foi traçado o objetivo de reduzir o DPMO em 50%, objetivando atingir 395.393 defeitos em um milhão de oportunidades ou 0,27 sigma.

Como o objetivo não está relacionado à qualidade do produto e sim a um processo produtivo, não foi traçado uma meta de atingimento de um nível alto de sigma. Isso se deu também por ser um processo que envolve muitos equipamentos e por consequência muitas variáveis.

#### **4.2.3. Analisar**

A análise dos dados foi conduzida a partir do levantamento de informações históricas e adicionalmente as informações coletadas após o início do projeto. O objetivo da análise consistiu em definir os fatores principais que influenciavam no OEE e na produção de sacos por turno, para futura implementação de melhoria desses fatores e consequentemente dos indicadores principais.

A primeira análise feita foi uma estratificação dos dados de OEE, buscando informações de disponibilidade e performance. O atual nível médio de OEE era de 32,4%. A média do índice de disponibilidade era de 57,2% e a de performance 56,4%, conforme pode ser visto na figura 17. Através desta análise, constatou-se que uma variável vital seria a performance e que a disponibilidade deveria ser estratificada para melhor entendimento das causas de paradas. Não foi possível fazer uma estratificação das informações de



qualidade, devido a uma limitação do sistema de controle de OEE, o mesmo não compila informações de perdas por qualidade. Além disto, avaliou-se que a qualidade não era um fator relevante no processo.

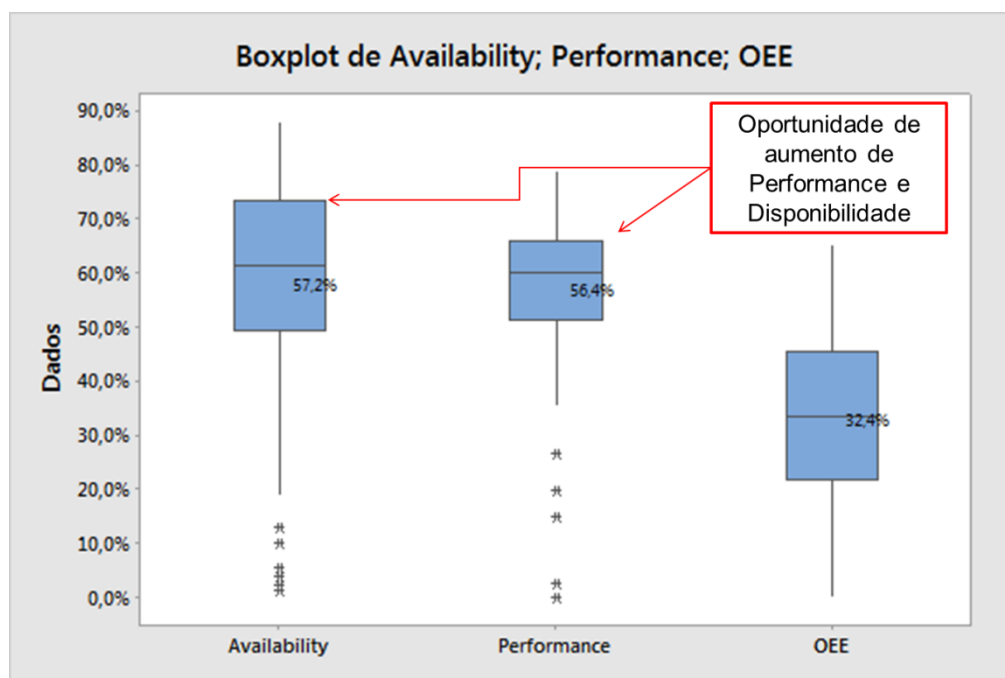


Figura 17 - Boxplot OEE detalhado. Fonte: elaborado pelo autor no Minitab® (2016).

#### 4.2.3.1. Análise Disponibilidade

Como citado anteriormente, foi possível fazer uma estratificação dos motivos de paradas que estavam baixando o percentual de disponibilidade. Para esta análise, foi feito um Pareto, classificando as principais causas de paradas do processo de ensaque. A partir desta análise, verificaram-se quatro oportunidades prioritárias para aumentar a disponibilidade: redução das paradas por manutenção, melhoria do processo de liberação de autorização de ensaque, redução das paradas por falha na costura e diminuição do tempo para troca de ferramentas (figura 18).

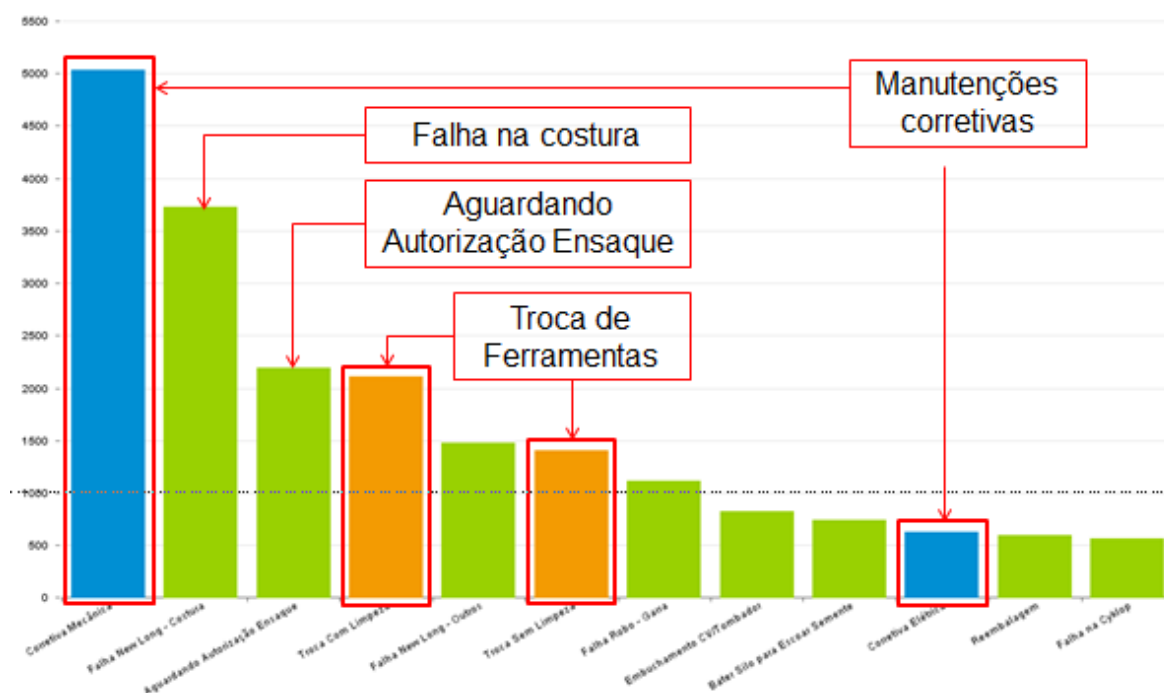


Figura 18 - Pareto Paradas Ensaque. Fonte: elaborado pelo autor no Minitab® (2016).

Para o item de diminuição das paradas por manutenção, foi realizada uma nova análise de Pareto. Esta análise foi feita com o objetivo de analisar quais os equipamentos que mais estavam contribuindo para as paradas no processo de ensaio. Esses itens também foram priorizados com o objetivo de diminuir as paradas por manutenção no processo (figura 19).

O processo de troca de ferramentas tem duas classificações, “Troca com Limpeza” e “Troca sem Limpeza”. Se somadas, os dois tipos são o terceiro maior motivo de parada no ensaio. Visando confirmar a oportunidade na troca de ferramentas do ensaio, foi feita uma análise por Carta de Controle de Variáveis. O objetivo desta análise foi verificar o tamanho da variabilidade nesse processo e comprovar a oportunidade identificada anteriormente.

Esta análise mostrou que a atividade de troca de ferramentas não estava com um tempo padrão, ou seja, não havia um padrão entre turnos e até nos mesmos turnos para a realização desta atividade. Isso acarretava em tempos de troca de ferramentas com alta variação, comprovando a oportunidade de melhoria nesta atividade (figura 20). O tempo de troca de ferramentas médio

era de 15 min, com tempos que variavam de 2 até 40 minutos. Isto demonstrou que era possível realizar a atividade em tempo reduzido.

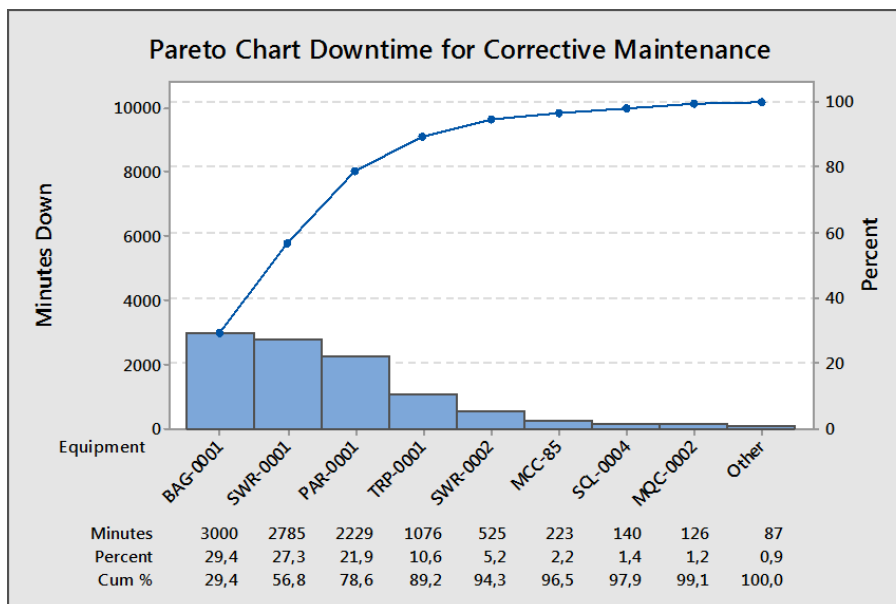


Figura 19 - Pareto Pargas por Equipamento. Fonte: elaborado pelo autor no Minitab® (2016).

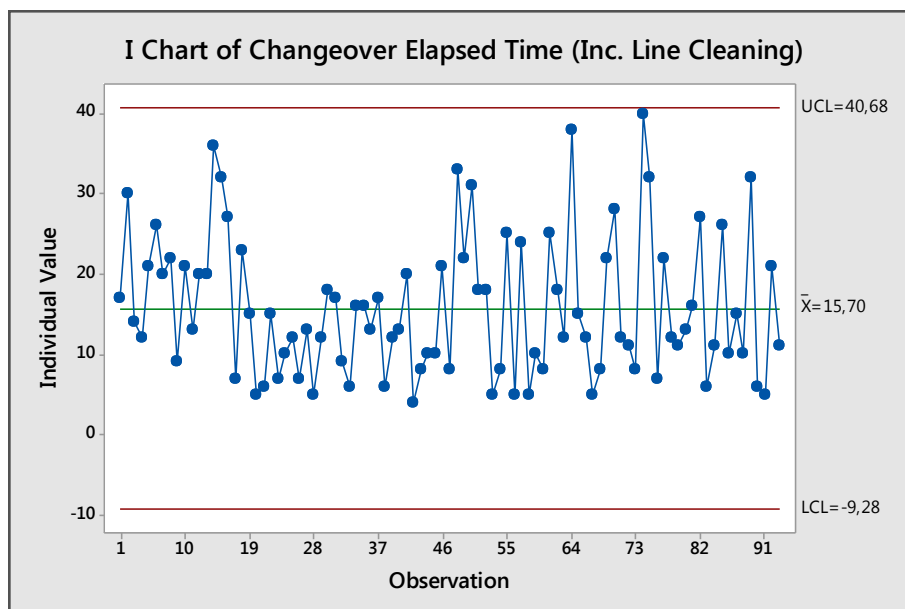


Figura 20 - Carta de Controle tempos troca de ferramentas. Fonte: elaborado pelo autor no Minitab® (2016).

Os fatores falha na costura e aguardando autorização de ensaque, além de serem demonstrados como fatores principais na análise de Pareto, também foram avaliados pelo time do projeto. Avaliou-se que ambos os fatores poderiam ser controlados e tinham alto impacto no processo. Levantou-se ainda que o treinamento seria um fator vital, principalmente visando ter mais operadores capacitados e com um melhor entendimento do conceito de OEE.

#### 4.2.3.2. Análise da Performance

Para análise da performance foi realizado um experimento para determinar os fatores que mais interferiam no desempenho do ensaque. Verificou-se que o tratamento e o peso do saco eram os fatores que interferiam no ensaque. Sendo assim, seria um experimento de dois fatores.

Os níveis de cada fator foram definidos de acordo com a experiência dos operadores da seguinte forma: para o fator tratamento seriam dois níveis, tratamento adicional e convencional e para o fator peso do saco seriam três níveis, abaixo de 16kg, entre 16 e 20kg e maior que 20kg.

Para realização dos testes foram definidos alguns pontos, pois o objetivo do mesmo era verificar o funcionamento do equipamento nas condições ideais, ou seja, isolando todos os outros fatores e deixando a performance sob interferência somente das variáveis peso e tratamento. As seguintes instruções foram definidas para os operadores realizarem o teste:

1. Inicie a ensacadeira e a deixa trabalhando sem falhas.
2. Quando você achar que a ensacadeira está rodando perfeitamente, deixe passar 15 sacos, não podendo haver nenhuma falha\*.

\*Falha = não expulsar nenhum saco, problemas na *magazine* de embalagem, parada na linha, balança parar por acúmulo ou falta de semente.

3. Verificar na ensacadeira, o número de sacos por hora e anotar.
4. Verificar no painel da ensacadeira o tempo da descarga da semente no saco e anotar abaixo.
5. Repita o procedimento 1 a 4, 10 vezes para o mesmo lote.

Após coletadas as primeiras amostras, foi verificado que o tempo de descarga estava interferindo nos resultados. Devido a isto, foi solicitado que os operadores fixassem o tempo de descarga para realização do experimento em 2.1 segundos, eliminando este fator da análise.

O resultado do experimento mostrou que o tratamento adicional influencia na performance, com  $p$ -value de 0,033, menor que 0,05. O peso entre 16 e 20 também influencia, com  $p$ -value de 0,033. A interação entre os fatores pode ser visualizada na figura 21.

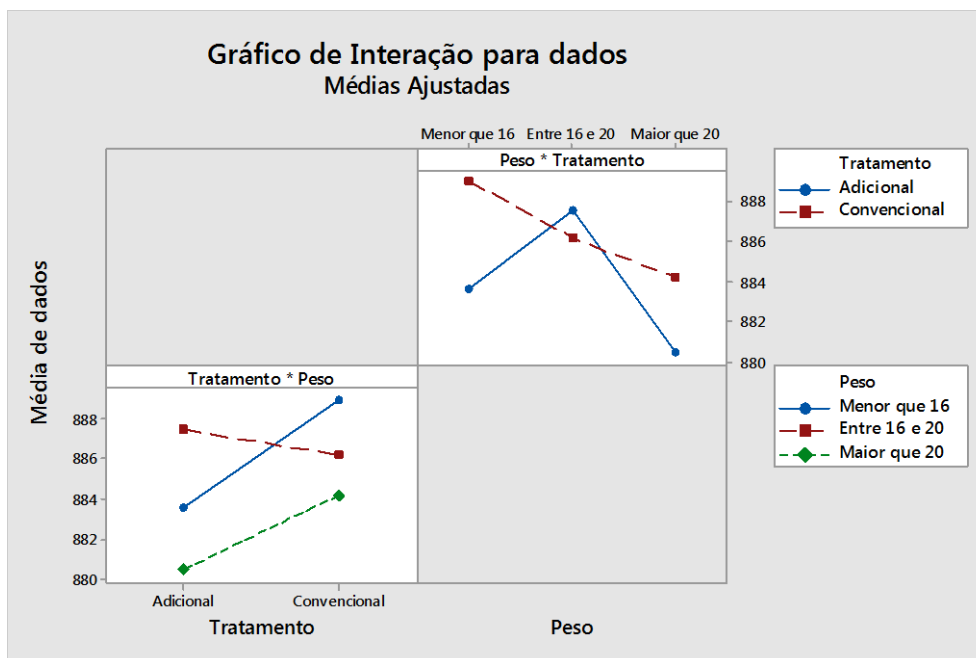


Figura 21 - Interação entre os fatores do experimento. Fonte: elaborado pelo autor no Minitab® (2016).

Apesar de alguns fatores influenciarem na performance, o valor de R foi de 23,91%, ou seja, os fatores do experimento demonstram apenas 23,91% das variáveis que influenciam na performance.

Outra análise realizada foi o teste de comparações para verificar o tamanho da diferença entre os níveis de cada fator. Para o tratamento, a estimativa da diferença foi de 2,5 sacos, com intervalo entre 0,2 e 4,7 sacos, conforme figura 22. Para o peso de saco, a estimativa da diferença entre sacos com peso maior que 20kg e menor que 16kg foi de -3,8 sacos, com intervalo entre -7,2 e -0,4 sacos e com peso maior que 20kg e entre 16kg e 20kg de -4,5 sacos, com intervalo entre -7,9 e -1,2 sacos, conforme figura 23. A partir desta análise, verificou que apesar de haver diferença estatística para esses fatores, pelo fato da diferença ser muito baixa, esses fatores foram desconsiderados.

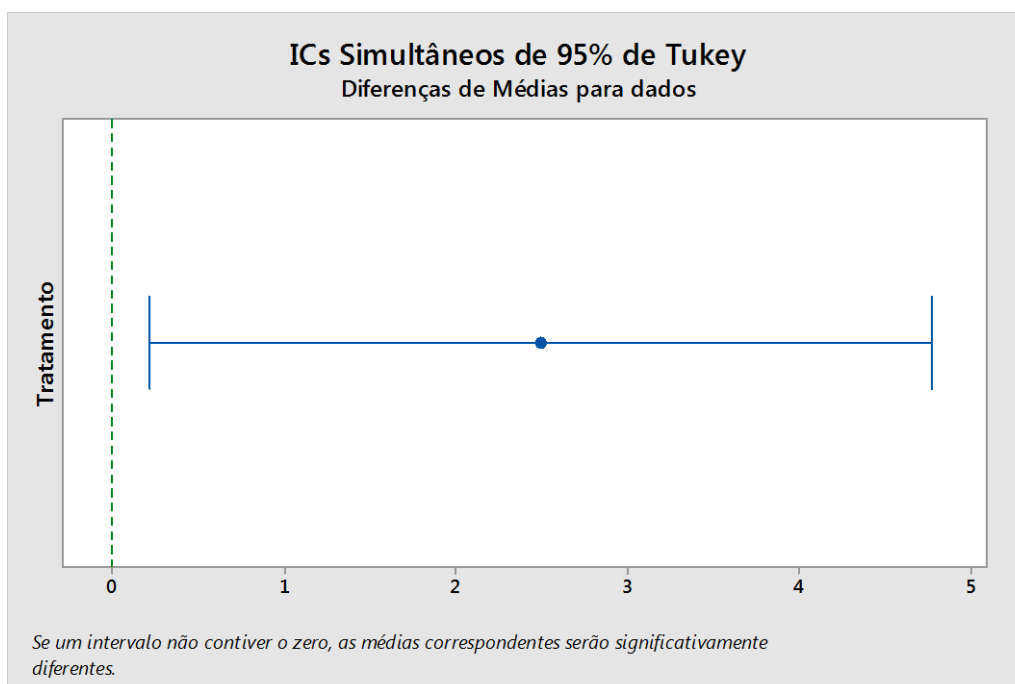


Figura 22 - Análise comparativa de tratamento. Fonte: elaborado pelo autor no Minitab® (2016).

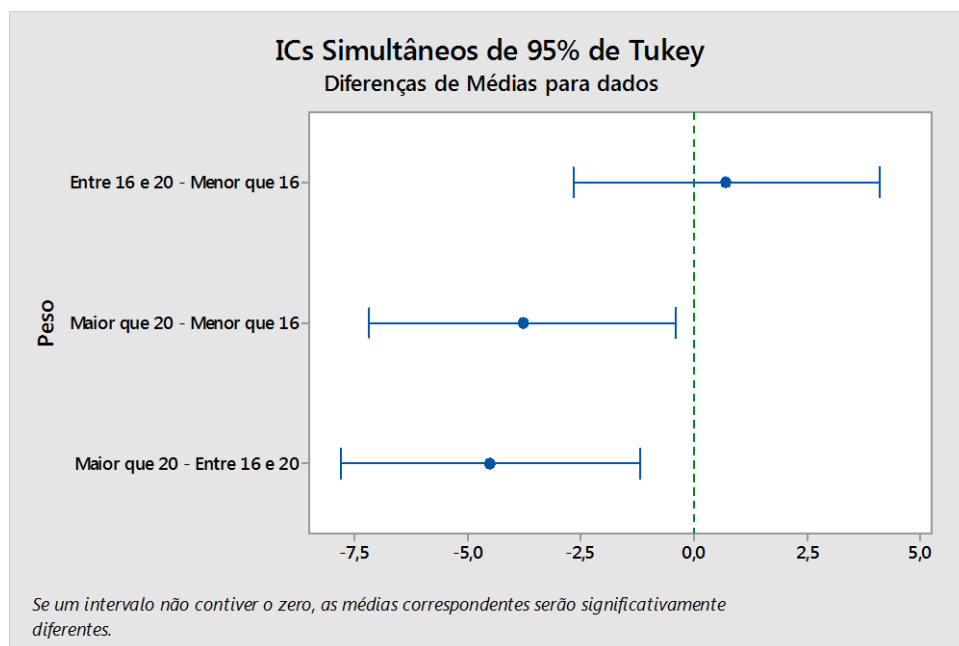


Figura 23 - Análise comparativa de peso. Fonte: elaborado pelo autor no Minitab® (2016).

Durante a execução do experimento, verificou-se que um terceiro fator estava interferindo na performance: o tempo de descarga. Para os dados apresentados nos gráficos anteriores, esse fator foi mantido fixo. Porém foram tomados alguns dados para fazer uma análise sobre a interferência deste fator na performance. Foram pegos dados com o mesmo tratamento e peso de saco próximo para análise. A análise de somente um fator, tempo de descarga, a três níveis, 1,7, 1,8 e 2,1 segundos.

Com um *p-value* de 0 foi constatado que havia diferença entre os tempos de descarga. Com um R de 96,23%, pode-se constatar a relação forte entre tempo de descarga e performance, conforme pode ser verificado na figura 24.

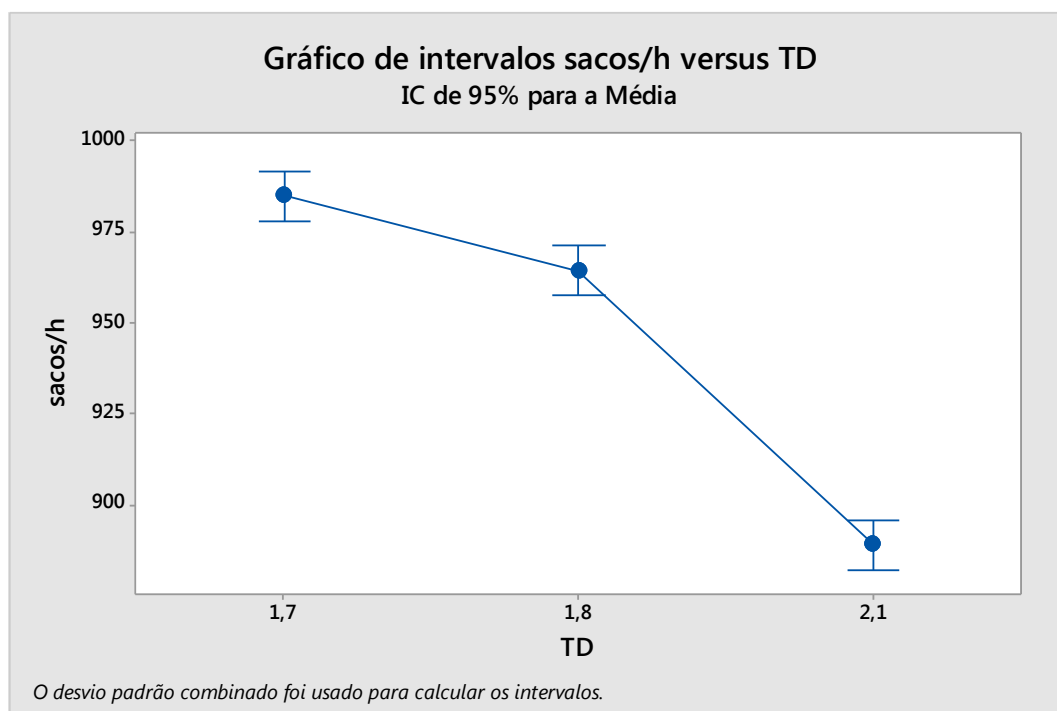


Figura 24 - Gráfico de intervalos. Fonte: elaborado pelo autor no Minitab® (2016).

#### 4.2.3.3. Resumos fatores vitais

Desta forma, a análise do problema levantou seis fatores vitais para melhoria do OEE e aumento da produção de sacos por turno. Esses itens estão apresentados no quadro 7.

Descrição	Tipo	Análise	Conclusão
Treinamento	Análise do Time		Vital
Tempo de descarga	Contínuo	DOE	Vital
Falha na Costura	Contínuo	Pareto	Vital
Aguardando Autorização de ensaque	Contínuo	Pareto	Vital
Troca de ferramentas	Contínuo	Pareto/ Carta Controle	Vital
Manutenções Corretivas	Contínuo	Pareto	Vital

Quadro 7 - Fatores vitais. Fonte: elaborado pelo autor no Microsoft Excel (2016).



#### **4.2.4. Melhorar**

A partir dos principais fatores levantados na etapa de análise, iniciou-se a etapa de melhoria destes fatores. Para cada fator foram realizadas ações com o objetivo de reduzir ao máximo o impacto destes no OEE e na produção de sacos por turno.

##### **4.2.4.1. Treinamento**

Um fator que foi desenvolvido nesta etapa foi o treinamento dos funcionários. Foram revistos todos os procedimentos de operação de linha automática, objetivando tornar o entendimento da operação mais claro e fácil para os operadores.

A operação do robô era um desafio para os operadores, pois havia muitas variáveis para regulagem e formação dos pallets. Para isto, foram revisados os procedimentos padrões e criadas condições ideais de trabalho de acordo as características de cada produto.

Foi realizado também treinamentos com os operadores para entendimento dos conceitos de OEE e da execução de relatórios. Através destes relatórios, é possível que os operadores e coordenadores vejam os principais motivos de paradas.

Para o melhor monitoramento do ensaque por parte dos operadores, foi instalado mais um gráfico secundário de gestão visual de ensaque por hora. Neste quadro os operadores monitoram o ensaque total a cada duas horas, assim como o ensaque acumulado do dia. Neste mesmo quadro, se não é atingida a meta, os operadores justificam porque não atingiram a meta, conforme figura 25.

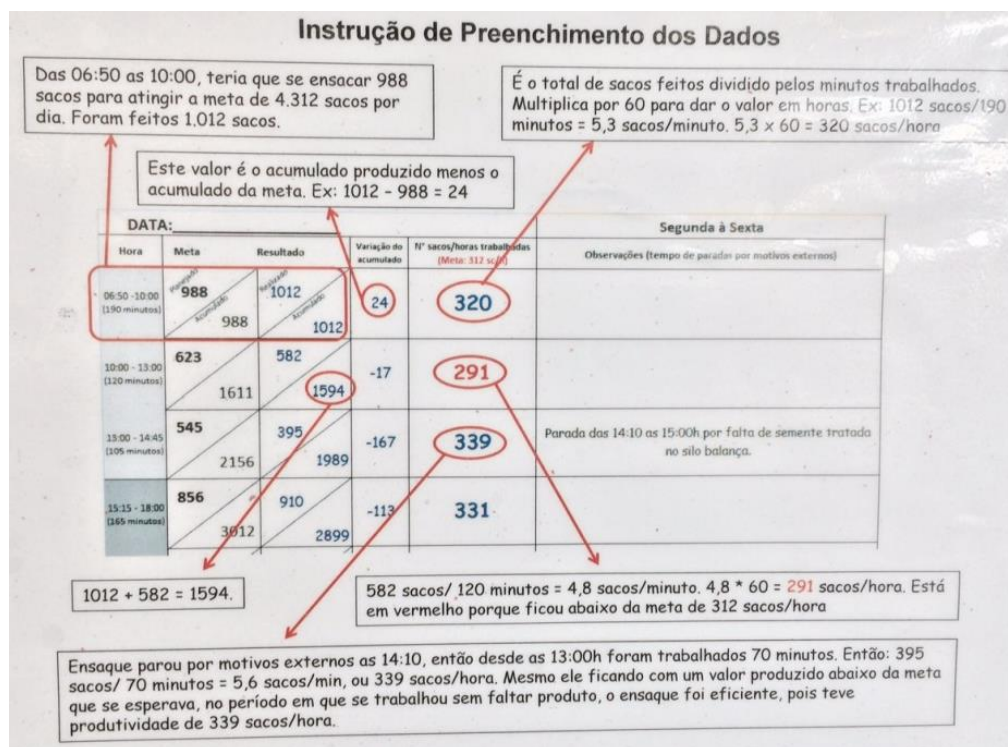


Figura 25 - Controle visual da produção por hora. Fonte: autor (2016).

#### 4.2.4.2. Falha na costura

Um dos problemas identificados como principal causador de paradas foi as falhas na costura. Este problema foi o segundo maior motivo de paradas no processo. Em análise das possíveis causas levantadas através *brainstorming*, foi identificado que o principal fator de paradas por esse motivo era a qualidade da linha.

Foi entrado em contato com o fornecedor e o mesmo enviou um novo modelo a ser testado. O novo modelo foi colocado na máquina de costura, o mesmo foi posto em linha e foi constatada uma diminuição das paradas por falha na linha de costura. O novo modelo de linha foi adotado em todas as unidades de produção do Brasil.

#### 4.2.4.3. Troca de Ferramentas

Para melhoria do tempo de troca de ferramentas foi decidida a condução de um evento *kaizen*, aplicando o conceito *Lean* de Troca Rápida de Ferramentas, que visa reduzir o tempo de *setup* das trocas de ferramentas. Por se tratar de uma atividade com muitas variáveis, foi definido que seria um *kaizen* de dois dias.

O *kaizen* foi facilitado pelo líder do projeto e contou com a participação de membros da área que não faziam parte do projeto. A definição do time foi tomada durante o planejamento do evento. Também fez parte do planejamento a elaboração da agenda detalhada do evento *kaizen* e o estudo da situação atual do problema a ser apresentado durante a realização do evento.

Durante os dois dias do *kaizen* ocorreram uma série de ações. No primeiro dia foi apresentado o problema e definido a meta. A situação atual das trocas com limpeza era em média de 17 minutos e de 6 minutos para as trocas sem limpeza. A diferença entre as trocas com limpeza para as trocas sem limpeza, basicamente é de que a troca com limpeza requer alguns passos extras do que a troca sem limpeza.

Em análise ao problema foi verificado que em 50% das trocas com limpeza a média de tempo era de 7 minutos e o mesmo tempo para as trocas sem limpeza era de 3 minutos. Sendo assim, essas foram às metas definidas para o evento *kaizen*.

Ainda no primeiro dia foi feito um treinamento sobre os conceitos *Lean* e especificamente sobre as Trocas Rápidas de Ferramentas (TRF). Também iniciou-se o mapeamento do processo. O mapeamento foi elaborado a partir do conhecimento do time do processo, através da montagem de um diagrama de *gantt*. Foram consideradas todas as atividades que faziam parte do *setup*. Depois de mapeado o processo, cada atividade foi classificada como interna ou externa. Interna como sendo as atividades que obrigatoriamente fariam parte

do *setup* e externas como sendo as atividades que poderiam ser feitas antes ou depois do *setup*.

Através da análise das atividades internas das externas, as mesmas que antes estavam misturadas, ou seja, atividades externas sendo feitas durante o *setup*, foram separadas. Desta forma chegou-se a uma sequência de atividades mínimas que fariam parte do *setup*.

Depois de reorganizada a sequência de atividades, foi feito um *brainstorming* sobre possíveis melhorias que ainda poderiam ser feitas para tornar o *setup* ainda mais rápido. Foram listadas 41 ideias de melhorias, que foram classificadas pelo próprio time, durante o evento *kaizen*, em uma matriz 2 x 2 de impacto e esforço. Das 41 sugestões de melhorias, 16 foram classificadas como baixo esforço e alto impacto. Essas 16 ações foram divididas em quatro grupos, que executaram as mesmas durante o evento de *kaizen*. Um dos grupos foi liderado por um mecânico, que conseguiu executar a instalação de um ponto de ar para melhorar o tempo de limpeza dos equipamentos. Um resumo das ações tomadas para melhoria é apresentado a seguir:

- Alinhamento de prioridades com os setores de suporte;
- Número de pessoas no ensaio;
- Definição das atividades por operador;
- Eliminação de atividades que não agregam valor;
- Determinação das atividades internas e externas;
- Instalação de ponto de ar adicional na balança do ensaio;
- Implementado registro de planejamento de atividades para o turno.

Com as ações de melhoria implementadas, o novo tempo definido para trocas com limpeza foi de 6 minutos e a troca sem limpeza de 3 minutos. Esses números representaram uma redução de 65% no tempo de *setup*. Ainda

durante o evento de *kaizen*, esse processo foi simulado, sendo constatada a viabilidade de atingimento dos novos tempos.

Além das ações implementadas durante o evento de *kaizen*, outras ações foram definidas como passos futuros. Essas ações foram documentadas em procedimentos do Sistema de Gestão da Qualidade. Ainda foi elaborado um treinamento para funcionários de outros turnos e também os novos funcionários que possam ser contratados.

#### **4.2.4.4. Manutenções Corretivas**

As manutenções corretivas eram o principal fator de paradas no ensaque. Para melhoria deste motivo foram identificados os equipamentos mais críticos, ou seja, os equipamentos que mais geravam paradas na linha de ensaque e feitas melhorias nesses equipamentos para eliminar as paradas.

Foi implementado também o conceito de Manutenção Produtiva total (*Total Productive Maintenance*). Os mecânicos não conheciam de forma aprofundada o funcionamento dos equipamentos e por consequência a manutenção dos mesmos. Para isto, foi chamado o fornecedor dos equipamentos e feita uma revisão completa do equipamento. Isto fez com que os mecânicos passassem a conhecer melhor os equipamentos.

Foram elaborados também documentos de manutenções preventivas, com rotinas de inspeção para os equipamentos, evitando assim a ocorrência de manutenções corretivas, que geravam maiores paradas. Além das manutenções preventivas, as seguintes ações de melhorias foram tomadas nos equipamentos mais causadores de paradas:

- Garra do robô trocada.
- Troca de mesa de condução do saco de roletes para correntes, fazendo com que a garra do robô pegasse os sacos com mais precisão.

- Troca do computador da máquina de *stretch*, pois a mesma estava com o programa desatualizado.

- Instalado inversor na esteira da ensacadeira que alinha o ensaque para ajuste da velocidade.

- Ajustes das mesas de giro, mudança na transmissão.

- Melhoras na *magazine* de pallet.

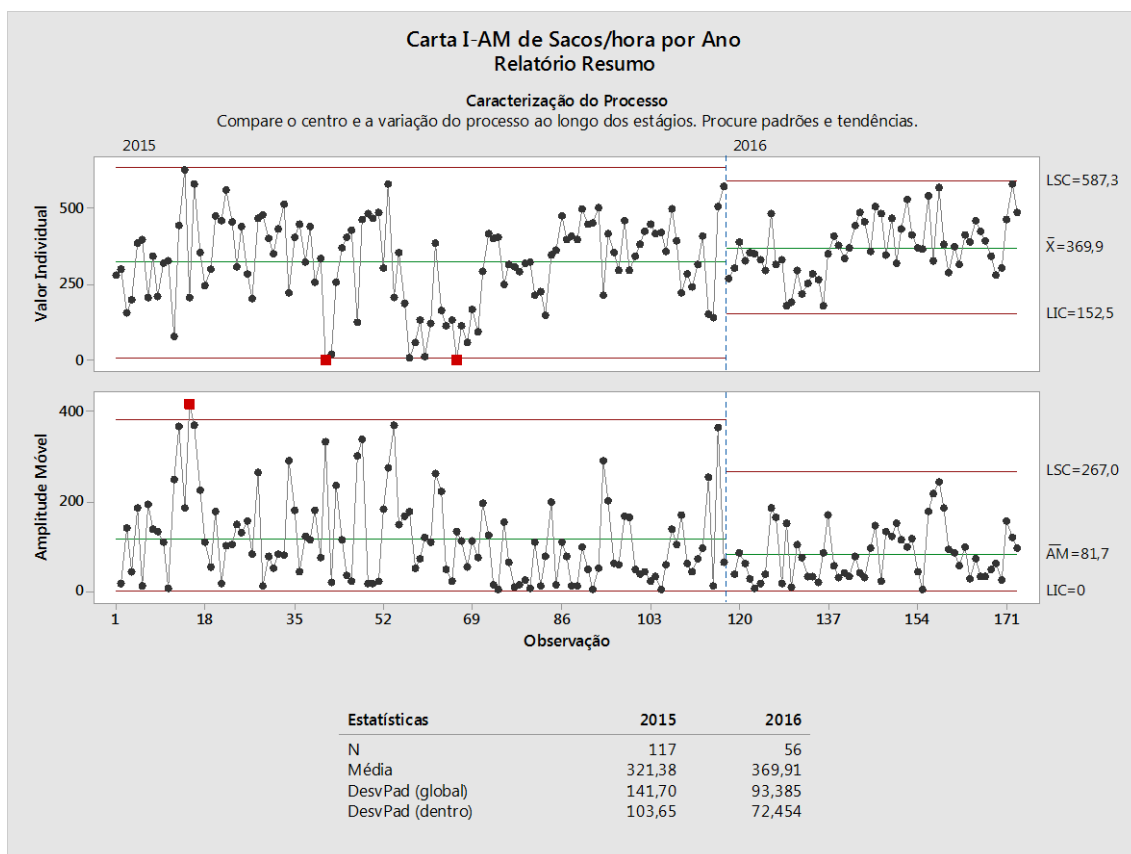
- Melhorias no sistema de sensores através de ajustes na programação.

#### **4.2.4.5. Performance**

Baseado na análise feita no experimento, onde foi constatado que o tempo de descarga era o principal fator que interferia na performance do ensaque, foi feito um treinamento com os operadores para que os mesmos buscassem a regulagem ideal do tempo de descarga.

A regulagem do tempo de descarga é feita na ensacadeira e dependendo do tempo definido, podem ocorrer problemas nos equipamentos seguintes; ou seja, se o tempo de descarga for muito curto, podem ocorrer problemas na costura e no empilhamento no robô. O tempo de descarga também é influenciado pelo tratamento e peso do saco, sendo que no início do ensaque de cada produto o operador procura o melhor tempo de descarga.

Através do treinamento foi constatada uma melhora no indicador de performance da linha, conforme pode ser verificado na figura 26. A média antes do projeto era de 321 sacos por hora e passou a ser de 369 sacos por hora após o treinamento dos operadores.



**Figura 26 - Carta Controle Ensaque sacos/hora. Fonte: elaborado pelo autor no Minitab® (2016).**

Porém foi constatada também uma necessidade de padronização do tempo de descarga por produto, pois alguns operadores não estavam regulando a máquina para o melhor tempo de descarga. Por exemplo, para um produto x, a máquina poderia operar com tempo de descarga de 1.6 segundos, foi constatado que alguns operadores estavam utilizando o tempo de 2.0.

Para isto está sendo elaborada uma tabela padrão para configuração do tempo de descarga por produto. Esta tabela irá conter o tempo de descarga ideal para cada tratamento e peso do saco, buscando a padronização do tempo de descarga por produto a ser seguido por todos os operadores. Até a finalização do projeto, a tabela ainda não havia sido finalizada.

#### 4.2.4.6. *Kaizen* Liberando Autorização de Ensaque

Para melhoria do processo de liberação de autorização de ensaque foi realizado um evento de *kaizen* de um dia. Para realização do mesmo, foi elaborada uma agenda e definido um time que faria parte do evento. O time foi composto por funcionários representando os diferentes turnos e áreas de tratamento, ensaque e controle de qualidade. Ainda foram envolvidos funcionários representantes das áreas de suporte, do almoxarifado e manutenção. Desta forma, foi formado um time multifuncional e multidepartamental, trazendo diferentes pontos de vista para o evento.

Durante a preparação para o *kaizen*, verificou-se que outro motivo de parada, a falta de etiqueta, também era um problema que afetava a disponibilidade no ensaque. Devido ao fato deste motivo ser muito relacionado com a liberação de autorização de ensaque, decidiu-se avaliar os dois pontos durante o evento de *kaizen*.

A dia do *kaizen* iniciou com a apresentação do problema. Foi apresentada para o time a frequência da ocorrência aguardando autorização de ensaque e o mesmo para a falta de etiqueta. Após apresentado o problema, foi feito um mapeamento do estado atual, conforme figura 27.

Durante o estudo do estado atual verificou-se que havia divergência no entendimento do processo entre os departamentos. Essa divergência ocorria até mesmo dentro do mesmo departamento, porém entre os diferentes turnos. Isto demonstrou que havia muitas oportunidades de padronização destas atividades.

Foi realizado então um debate sobre as melhores práticas entre os turnos e melhorias que poderiam ser feitas no processo de liberação de autorização de ensaque e impressão de etiqueta. As ideias foram listadas e separadas por departamento. Elas foram classificadas em ações imediatas e procedimentos. As ações imediatas foram ações pontuais a serem tomadas no



mesmo dia. Os procedimentos foram boas práticas definidas pelo time e itens levantados que deveriam ser documentados e registrados dentro do sistema de gestão de qualidade. A seguir apresentam-se os itens levantados:

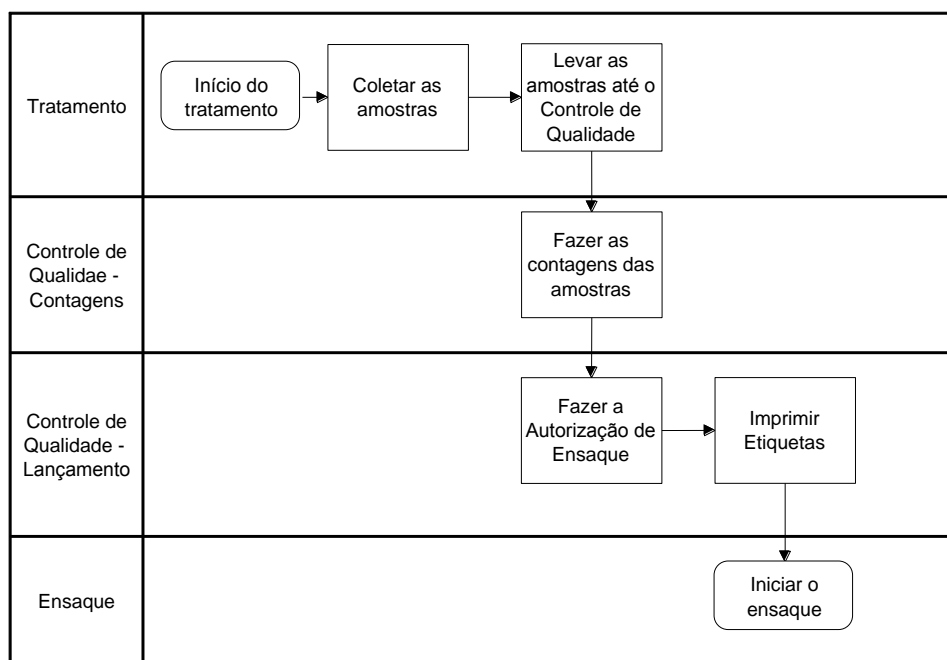


Figura 27 - Mapa Atual Processo Liberação Autorização de Ensaque. Fonte: elaborado pelo autor (2016).

#### Ações:

- Colocar um rádio de comunicação no controle de qualidade.
- Dar acesso à impressão de etiquetas para os usuários do armazém.

#### Procedimentos:

- Controle de Qualidade: (i) Imprimir 20% a mais de etiquetas, (ii) Imprimir etiquetas no início do tratamento e checar se a quantidade está correta no momento da liberação da autorização de ensaque, (iii) Definir uma pessoa por turno que será responsável pela impressora de etiquetas.

- Tratamento: (i) Avisar o controle de qualidade no início do tratamento, (ii) Não tratar sem ter informações de plantabilidade, (iii) Não tratar sem checar o volume a ser tratado, (iv) Avisar no rádio quando iniciar o tratamento.
- Impressão de Etiquetas: (i) Fazer uma instrução de trabalho com as condições ideais de operação da impressora.
- Ensaque: (i) Distribuir as etiquetas que sobram nos pallets prontos.

A partir das melhorias foi criado um novo fluxo para liberação de autorização de ensaque e impressão de etiquetas. O novo fluxo pode ser visualizado na figura 28.

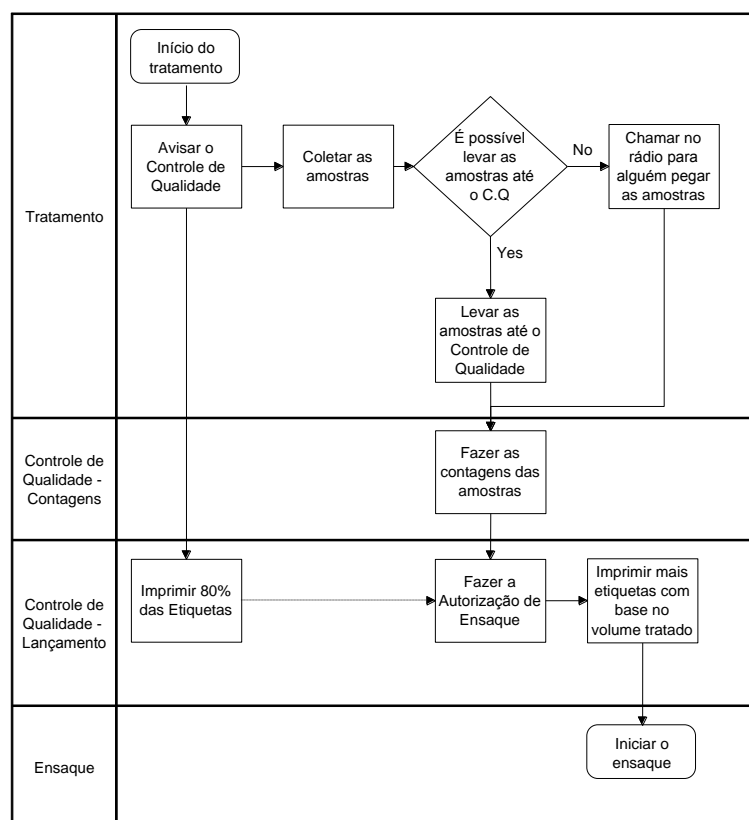


Figura 28 – Novo Mapa Processo Liberação Autorização de Ensaque. Fonte: elaborado pelo autor (2016).

#### 4.2.4.7. Avaliação dos Y's do projeto

As melhorias apresentadas foram implementadas, e os resultados foram medidos individualmente. Paralelamente, os Y's do projeto foram sendo monitorados, pois as melhorias nos fatores devem ser representadas nos indicadores do projeto.

Para ambos os Y's foram feitas novas análises do Minitab® para verificação da eficácia da implementação das melhorias. O Y1 de sacos por turno apresentou 504.815 DMPO, melhora de 45% e um nível de sigma de -0,01, melhora de 1,29 sigma. Já o Y2 de OEE apresentou 709.214 DPMO, melhora de 10% e um nível de sigma de -0,55, melhora de 0,29 sigma. Esses dados podem ser verificados nas figuras 29 e 30.

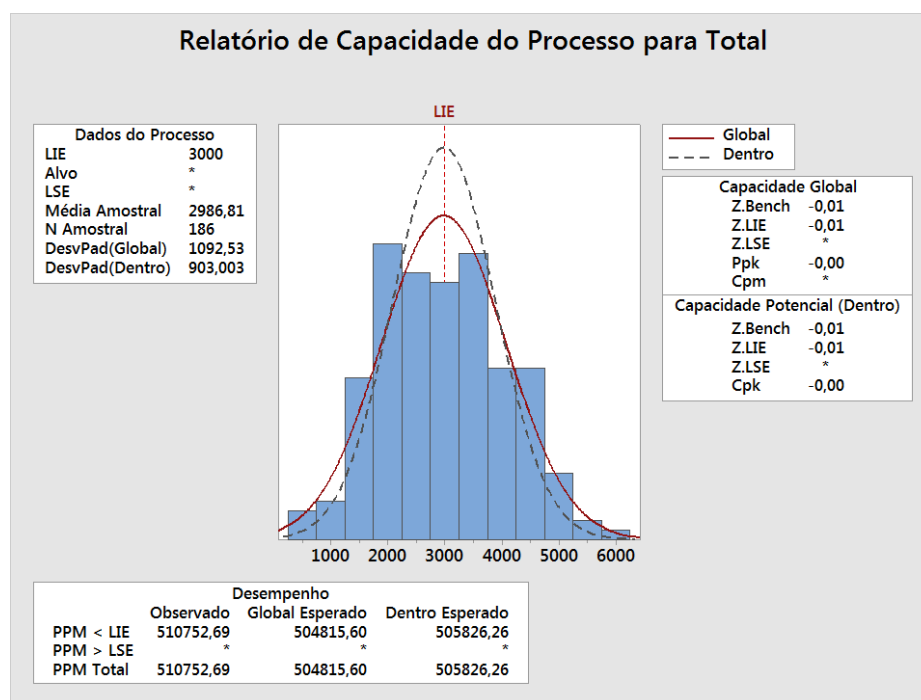


Figura 29 - Avaliação Y1 Sacos/Turno. Fonte: elaborado pelo autor no Minitab® (2016).

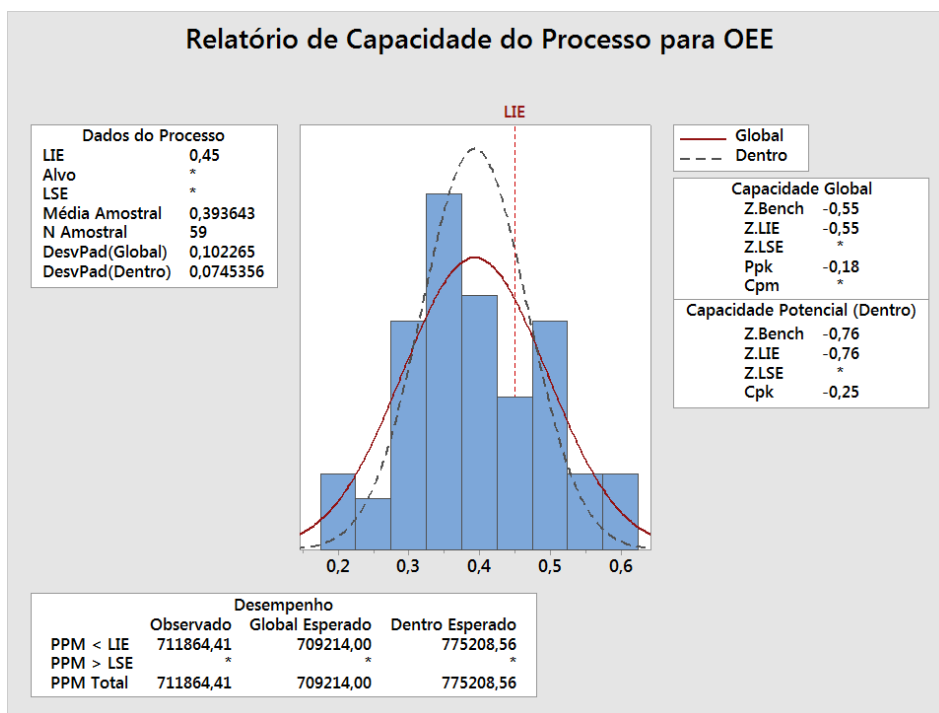


Figura 30 - Avaliação Y2 OEE. Fonte: elaborado pelo autor no Minitab® (2016).

#### 4.2.5. Controlar

A etapa de controle das melhorias citadas na etapa anterior foi realizada na medida em que cada melhoria foi sendo implementada. Como foram várias ações implementadas, algumas na forma de *kaizen*, os controles foram sendo executados dentro destes eventos.

A criação de procedimentos padronizados dentro do sistema de gestão da qualidade foi a principal forma de controle. Como a adoção do nome procedimento de *setup*, a mudança da especificação da linha de costura com o fornecedor, a criação de procedimentos para liberação da autorização de ensaio e procedimentos de manutenção preventiva.

Outra forma de controle importante foi à utilização da gestão visual. Os novos índices e metas foram atualizados no quadro da equipe, onde a mesma

controla os indicadores de ensaque por turno, OEE, tempo de *setup*, sacos ensacados por hora, assim como o plano de ação para melhorias.

A carta de controle foi utilizada para monitorar os indicadores de OEE e de sacos por turno. Esses controles podem ser visualizados nas figuras 31 e 32.

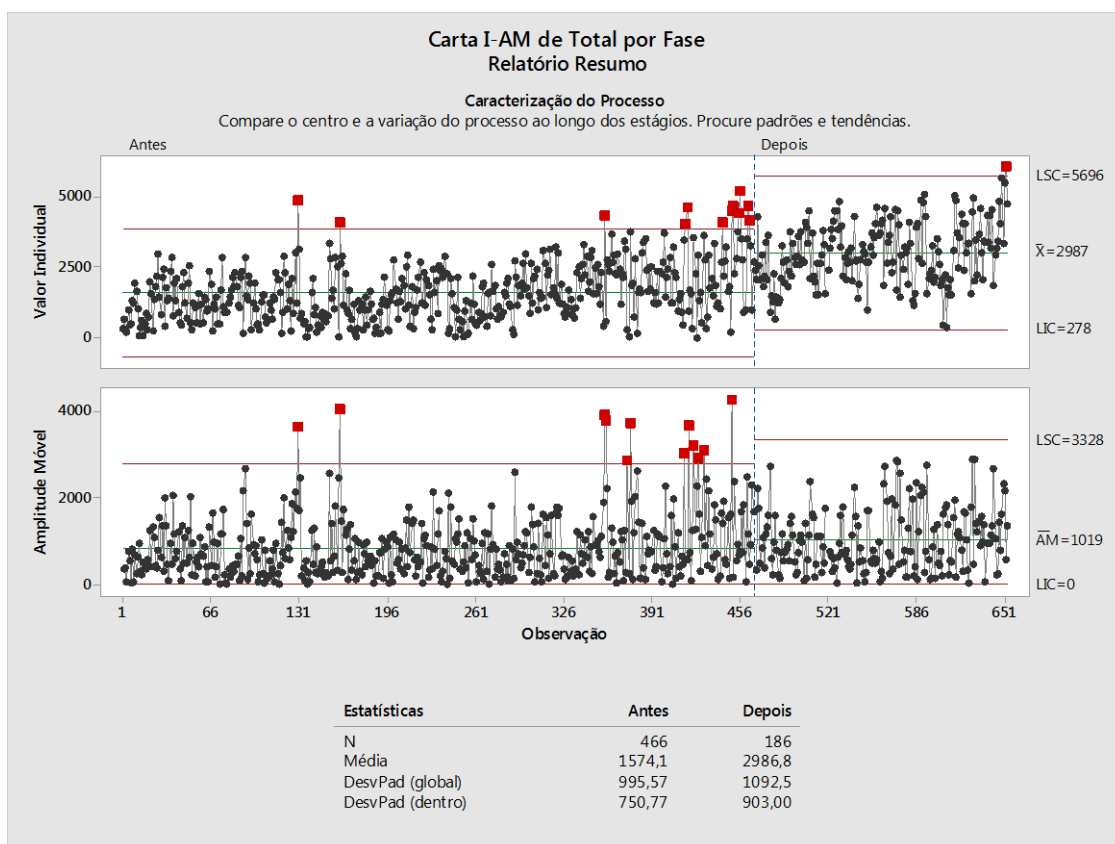


Figura 31 - Carta de Controle do Y1 Sacos/Turno. Fonte: elaborado pelo autor no Minitab® (2016).

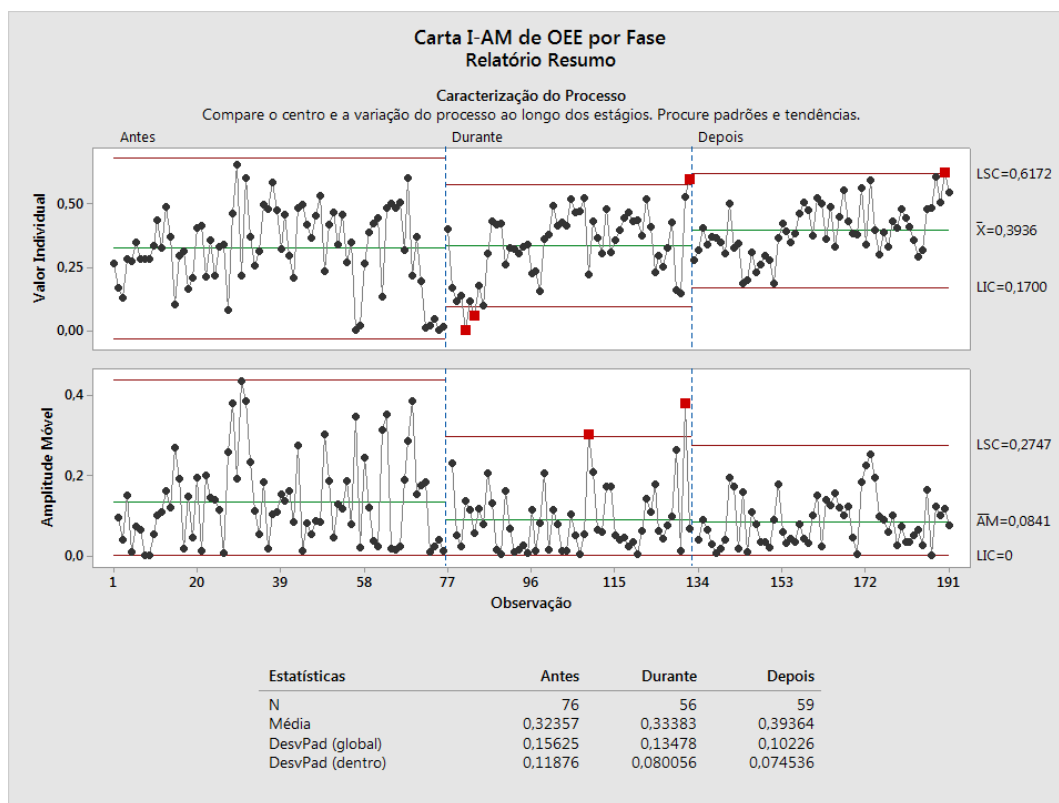


Figura 32 - Carta de Controle do Y2 OEE. Fonte: elaborado pelo autor no Minitab® (2016).

### 4.3. Discussão dos resultados

Os resultados do presente trabalho foram obtidos a partir da condução de um projeto *Lean Six Sigma* em um processo produtivo. O objetivo foi verificar os benefícios da integração das duas metodologias integradas, *Lean* e *Six Sigma*. Com os resultados obtidos foi possível constatar a aderência de uma ferramenta a outra e o resultado bem sucedido do projeto LSS. Na tabela 4 é possível verificar os resultados obtidos com o projeto.

	ANTES		DEPOIS	
	DPMO	Z	DPMO	Z
Y1	903.479	-1,3	504.815	0,01
Y2	790.787	-0,81	709.214	0,55

**Tabela 4 - Resultados obtidos no projeto. Fonte: autor (2016).**

Em termos de números de ensaque por turno, a média de ensaque na linha automática, que antes do início do projeto era de 1.574, passou para 2.986 sacos. Isto permitiu que fosse fechada a linha manual de ensaque.

Este projeto demonstrou ainda como a estrutura *Six Sigma* pode suportar a sustentabilidade dos ganhos dos projetos *Lean*, o que normalmente a um desafio do *Lean* (MARODIN; SAURIN, 2015). A sustentabilidade dos ganhos dos projetos *Lean* foi obtida através da estrutura DMAIC, que serviu como ferramenta para gestão do projeto (BAKAR *et al.*, 2015). Ou seja, as melhorias obtidas através do *Lean* foram mais consolidadas aos serem integradas na estrutura DMAIC. Foi possível verificar também como as ferramentas estatísticas podem ser integradas ao *Lean* para eliminação dos desperdícios (WERKEMA, 2012).

Não se trata de uma competição entre as metodologias, mas sim da integração das mesmas para obter-se o melhor de cada uma e gerar assim um resultado potencializado. Um estudo aponta que a competição entre as metodologias acaba sendo um risco para implementação do *Lean*, o que demonstra uma falha das empresas ao abordarem a implementação de metodologias de forma individualizada (MARODIN; SAURIN, 2015).

Pelo modelo proposto por Salah *et al.* (2010), o projeto poderia ter iniciado na elaboração do MFV, pois os mesmos propõe que esta ferramenta seja à base de um projeto LSS. Porém, por definição da empresa e para fins de escopo do projeto, o início do projeto foi definido como sendo o momento em que foi escolhido pela direção à aplicação de um projeto *Six Sigma* nesta área.

Estrutura que está mais alinhada com a proposta apresentada por Werkema (2012). Entretanto, essa sequencia de eventos reforça o quão bem sucedida pode ser a implementação do LSS desde a elaboração de um MFV.

O presente trabalho foi conduzido à distância, pois o líder do projeto não estava fisicamente localizado onde o projeto estava acontecendo. Este fato dificultou um pouco o andamento do projeto, pois o líder dependia do time para obter resultados. Esta dificuldade foi amenizada por viagens do líder do projeto para o local aonde o mesmo foi conduzido, focadas principalmente para condução de projetos. O monitoramento dos avanços foi feito via teleconferência, que por fim foi o principal meio de comunicação entre o líder do projeto e o time. Treinamentos também foram executados via teleconferência e de forma presencial durante as viagens ao local.

A gestão da mudança foi um fator crítico para o sucesso e requereu muito esforço do time do projeto (LERTWATTANAPONGCHAI; SWIERCZEK, 2014). Um dos pontos mais difíceis foi a adesão dos operadores para o novo procedimento de *setup* e a aceitação dos mecânicos para mudarem sua perspectiva sobre seu papel no processo, sendo que os mesmos passaram a fazer parte da equipe do ensaio.

Outro fator de sucesso para o projeto foi o suporte da liderança. Esse era um projeto prioritário para a unidade e os esforços foram direcionados para a área. Também houve um apoio importante da liderança superior ao site para condução do projeto (HABIDIN; YUSOF, 2013).

Apesar do suporte da liderança, ainda houve momentos em que o projeto não era tido como prioridade. Mesmo com o suporte da liderança para execução do projeto, a produção continuava sendo a prioridade. Algo contraditório, pois o tempo que não existia para executar melhorias era gasto com ineficiências no processo. Por um lado era preciso aumentar a eficiência do processo que tinha muitas oportunidades, mas por outro, não era possível dedicar tempo para executar alguns testes por falta de tempo. Isto mostra que



ainda não há um entendimento claro sobre os benefícios do investimento de tempo em melhoria de processos.

Por fim, o presente trabalho demonstrou que é possível integrar as metodologias *Lean* e *Six Sigma* e que ambas podem trazer benefícios quando trabalhadas em conjunto.

## 5. Considerações finais

A seguir são apresentados a conclusão do trabalho, os principais aprendizados obtidos no estudo e aplicação do *Lean Six Sigma* e as sugestões para trabalhos futuros.

### 5.1. Conclusão

O presente trabalho teve como tema geral a metodologia *Lean six Sigma*. O objetivo geral foi aplicar a metodologia *Lean Six Sigma* para melhoria de um processo produtivo. Os objetivos específicos foram analisar as metodologias e ferramentas aplicadas no *Lean Six Sigma*, abicar a metodologia *Lean Six Sigma* para melhoria de um processo produtivo e demonstrar como as metodologias *Lean* e *Six Sigma* podem ser integradas em uma empresa que já possui as duas metodologias implementadas.

No capítulo 2 foi realizada uma pesquisa bibliográfica na qual foi revisado as origens, ferramentas e princípios das metodologias *Six Sigma* e *Lean*. Isto serviu de base para o estudo e entendimento do LSS, metodologia originada a partir da integração das metodologias *Lean* e *Six Sigma*. Atendendo ao primeiro objetivo específico de analisar as metodologias e ferramentas aplicadas no *Lean Six Sigma*.

No capítulo 3 foi apresentado o modelo para aplicação do LSS baseado em diferentes autores. A estrutura DMAIC foi definida como base para realização do projeto e as ferramentas *Lean* seriam integradas dentro desta estrutura.

No capítulo 4 foi apresentada a aplicação da metodologia LSS, atendendo ao terceiro e quarto objetivos específicos. Através da aplicação do LSS foi possível verificar que as metodologias *Lean* e *Six Sigma* podem ser integradas e que os resultados podem ser satisfatórios. A aplicação demonstrou que a conexão entre característica da metodologia *Six Sigma*, como estrutura de trabalho e análises estatísticas, podem ser integradas aos princípios *Lean*, de foco no fluxo de valor e eliminação dos desperdícios (WERKEMA, 2012).

Os resultados do projeto foram satisfatórios, pois houve uma redução de 45% no DPMO de sacos por turno e de 10% no DPMO de OEE. O sigma de sacos por turno reduziu 1,29 e o de OEE reduziu em 0,29. Em termos de número de sacos por turno, a média de ensaque na linha automática que antes do início do projeto era de 1.574 passou para 2.986 sacos. Isto permitiu que fosse fechada a linha manual de ensaque e na safra seguinte os funcionários temporários não foram contratados.

A aplicação do projeto LSS ainda demonstrou a importância de alguns fatores críticos para o sucesso, como a gestão de projeto (BAKAR *et al.*, 2015), obtida através da execução estruturada do trabalho pelo DMAIC; a gestão da mudança para as questões de mudanças comportamentais (LERTWATTANAPONGCHAI; SWIERCZEK, 2014), o engajamento da liderança para o sucesso do projeto, pois sem o apoio da liderança nenhum projeto será bem sucedido (HABIDIN; YUSOF, 2013).

Apesar do projeto LSS não ter iniciado com a realização de um MFV, conforme proposta de Salah *et al.* (2010), o MFV foi uma fonte de consulta para definição do projeto, o que demonstra que o MFV pode ser uma ferramenta base para aplicação de um projeto LSS.

Desta forma, o LSS se mostrou uma metodologia alternativa de melhoria de processos, demonstrando que as metodologias *Lean* e *Six Sigma* podem trazer resultados quando integradas. De fato as empresas que já possuem estas ferramentas devem considerar integrá-las ao invés de procurar mostrar

resultados das mesmas de forma individual. Não foram encontradas desvantagens na aplicação da metodologia LSS.

## **5.2. Sugestões para trabalhos futuros**

O presente trabalho focou na condução de um projeto *Lean Six Sigma* para melhoria de um processo produtivo de uma empresa de grande porte. Esta empresa já possuía as metodologias *Lean* e *Six Sigma* implementadas. Sugere-se estudar a aplicação da metodologia *Lean Six Sigma* em uma empresa que não possui as duas metodologias implementadas, estudando assim a aplicação de forma sinérgica desde o princípio.

Sugere-se ainda estudar a aplicação do *Lean Six sigma* tendo o OEE como Y do projeto, porém considerando o indicador de qualidade para gerar projetos *Six Sigma* e o indicador de disponibilidade para gerar projetos *Lean*.

Outro tema que pode ser abordado é a gestão de projetos à distância, visto que hoje em dia muitas empresas trabalham com recursos corporativos que conduzem trabalhos remotamente.

## REFERÊNCIAS

BAKAR, F. A. A.; SUBARI, K.; DARIL, M. A. M. Critical success factors of Lean Six Sigma deployment: a current review. **International Journal of Lean Six Sigma**. v. 6, n. 4, p. 339 – 348, 2015

BHAMU, J; SANGWAN, K. S. Lean manufacturing: literature review and research issues. **International Journal of Operations & Production Management**. v. 34, n. 7,p. 876-940, 2014.

BOS, A. V. N.; KEMPER, B.; WALL, V. A study on how to improve the throughput time of Lean Six Sigma projects in a construction company. **International Journal of Lean Six Sigma**. v. 5, n. 2, p. 212-226, 2014.

BYRNE, G.; LUBOWE, D.; BLITZ, A. Using a Lean Six Sigma approach to drive Innovation. **Strategy & Leadership**. v. 35, n. 2, p. 5-10, 2007.

CARNEIRO, D. M. **Análise da implantação de projetos Seis Sigma em uma indústria do setor de equipamentos para agronegócio**. Dissertação Mestrado em Engenharia de Produção. Universidade Federal do Rio Grande do Sul – UFRGS, 2013.

CORONADO, R. B.; ANTONY, J. Critical success factors for the successful implementation of six sigma projects in organizations. **The TQM Magazine Journal**. v. 14, n. 2, p. 92-99, 2002.

CORREA, O. G.; ROSSETTI, N.; MERGULHÃO, R. C.; MEIRELE, J. L. F.; SILVA, B. B. Investigação do Seis Sigma na redução do tempo de setup: uma pesquisa empírica em uma empresa do setor de polímeros. **Produto & Produção**, v. 15, n. 3, p. 33-45, out. 2014.

COURNOYER, B. E.; NOBILE, A. O.; WILLIAMS, G. M.; MONSALVE-JONES, R. A.; RENNER, C. M.; GEORG, G. L. Application of lean six sigma business

practices to an Air Purifying Respirator process. **Journal of Chemical Health & Safety**, March/April, 2013.

DANTAS, C. P. A metodologia seis sigma e as áreas de aplicação. **Revista Científica da Facerb**, v. 2. n. 2. Jul./Dez. 2015. v. 6, n. 2, p. 133–148, 2004.

FRANCHETTI, M.; BARNALA, P. Lean six sigma at a material recovery facility: a case study. **International Journal of Lean Six Sigma**, v. 4, n. 3, p. 251-264, 2013.

GIBBONS, P. M.; BURGESS, S. C. Introducing OEE as a measure of lean Six Sigma capability. **International Journal of Lean Six Sigma**, v. 1, n. 2, p. 134-156. 2010.

GIL, A.C. **Como elaborar projetos de pesquisa**. São Paulo, 1991.

GNANAVELBABUB, A.; ARUNAGIRI, P. Identification of Major Lean Production Waste in Automobile Industries using Weighted Average Method. **12th Global congress on manufacturing and management**, 2014.

HABIDIN, N. F.; YOSUF, S. M. Critical success factors of Lean Six Sigma for the Malaysian automotive industry. **International Journal of Lean Six Sigma**. v. 4, n. 1, p. 60-82, 2013.

HOPP, W. J.; SPEARMAN, M. L. To Pull or Not to Pull: What Is the Question? **Manufacturing & Service Operations Management**. v. 6, n. 2, p. 133–148, Spring 2004.

KONING, H.; MAST, J.; DOES, R. J. M. M.; VERMAAT, T. Generic Lean Six Sigma Project Definitions in Financial Services. **American Society for Quality**. v. 15, n. 4, p. 32-45, 2008

LEON, H. C. M.; PEREZ, M. C. T.; BERUVIDES, M. G. FARRIS, J. A. Integrating Six Sigma tools using team-learning processes. **International Journal of Lean Six Sigma**. v. 3, n. 2, p. 133-156, 2012.

LERTWATTANAPONGCHA, S., SWIERCZEK, F. W. Assessing the change process of Lean Six Sigma: a case analysis. **International Journal of Lean Six Sigma**. v. 5, n. 4, p. 423-443, 2014.

MANI, G. M.; PADUA, F. S. M. Lean Seis Sigma. **Interface Tecnológica**. v.5, n.1, p. 115-126, 2008.

MARODIN, G. A.; SAURIN, T. A . Classification and relationships between risks that affect lean production implementation. **Journal of Manufacturing Technology Management**. v. 26, no 1, p. 57-79, 2015.

NASLUND, D. Lean and six sigma – critical success factors revisited. **International Journal of Quality and Service Sciences**. v. 5, n. 1, p. 86-100, 2013.

OSADA, T. **House Keeping 5S's: seiri, seiton, seiso, seiketsu, shitsuke: cinco pontos-chaves para o ambiente da qualidade total**. São Paulo: IMAM, ed. 1, 1992.

PAMFILIE, R.; DRAGHICI, A. J. P.; DRAGHICI, M. The importance of leadership in driving a strategic Lean Six Sigma management. **Procedia - Social and Behavioral Sciences** **58**, 187 – 196, 2012.

PANAT, R.; DIMITROVA, V.; SELVAMUNIANDY, T. S.; ISHIKO, K.; SUN, D. The application of Lean Six Sigma to the configuration control in Intel's manufacturing R&D environment. **International Journal of Lean Six Sigma**. v. 5 n. 4, p. 444-459, 2014.

PANDE, P.; NEUMAN, R. P.; CAVANAGH, R. R. **The Six Sigma Way**. New York: McGraw-Hill, 2000.

PEÑA, R. M. **Aplicação da metodologia seis sigma para melhorar a qualidade de um fornecedor**. Dissertação de Mestrado. Universidade Federal do Rio Grande do Sul – UFRGS, 2006.

PEREZ-WILSON, M. **Seis Sigma: compreendendo o conceito, as implicações e os desafios**. 1ª ed. Rio de Janeiro: Qualitymark, 2000.

RAISINGHANI, M. S.; ETTE, H.; PIERCE, R.; CANNON, G.; DARIPALY, P. Six Sigma: concepts, tools, and applications. **Industrial Management & Data Systems**. v. 105, n. 4, p. 491-505, 2005.

REIS, D. A. F. **Seis Sigma: um estudo aplicado ao setor eletrônico**. Dissertação de Mestrado. Universidade Federal do Rio Grande do Sul – UFRGS, 2003.

RIBEIRO, J. L. D.; CATEN, C. S. Projetos de Experimentos. **Série Monográfica Qualidade**. Porto Alegre, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, 2000.

ROTHER, M. **Toyota Kata**. New York: McGraw-Hill, 2010.

ROTH, N.; FRANCHETTI, M. Process improvement for printing operations through the DMAIC Lean Six Sigma approach. **International Journal of Lean Six Sigma**. v.1, n.2, p. 119-133, 2010.

SALAH, S; RAHIM, A; CARRETERO, J. A. The integration of Six Sigma and lean management. **International Journal of Lean Six Sigma**. v. 1, n 3 p. 249 – 274, 2010.

SALGADO, E. G.; MELLO, C. H. P.; SILVA, C. E. S.; OLIVEIRA, E. S.; ALMEIDA, D. A. Análise da aplicação do mapeamento do fluxo de valor na identificação de desperdícios do processo de desenvolvimento de produtos. **Gestão & Produção**. v. 16, n. 3, p. 344-356, jul.-set. 2009.

SANTOS, A.; MARTINS, M. Modelo Referência para Estruturar o Seis Sigma nas Organizações. **Gestão & Produção**, São Carlos, v.15, n.1, p.43-56, jan.-abr. 2008.

SARKAR, A.; MUKHOPADHYAY, A. R.; GHOSH, S. K. An outline of the “Control Phase” for implementing Lean Six Sigma. **International Journal of Lean Six Sigma**. v. 5, n. 3, p. 230-252, 2014.

SCHELER, A. C.; MIGUEL, P. A. C. Adoção do Seis Sigma e Lean Production em uma empresa de manufatura. **Revista Produção Online**, Florianópolis, SC, v.14, n. 4, p.1316-1347, out./dez. 2014.



SCHONBERGER, R. J. Japanese production management: An evolution—With mixed success. **Journal of Operations Management**. v. 25, n. 2, p. 403–419, 2007.

SECOR, D. A.; MURMAN, E. M.; OPPENHELM. Lean Enablers for Systems Engineering. **Wiley Online Library**, 2009.

SNEE, R. D. Lean Six Sigma – getting better all the time. **International Journal of Lean Six Sigma**. v. 1, n. 1, p. 9-29, 2010.

SOHAL, R. J. H. A. A conceptual model for the successful deployment of Lean Six Sigma. **International Journal of Quality & Reliability Management**. v. 29, n. 1, p. 54 – 70, 2012.

SPERMAN, M. L.; HOPP; W. J. To Pull or Not to Pull: What Is the Question? **Manufacturing & Service Operations Management**. v. 6, n. 2, p. 133–148, 2004

VENANZI, D.; LAPORTA, B. P. Lean Six Sigma. South American Development Society Journal. **International Journal of Lean Six Sigma**. v. 1, n 2, p.67, 2015.

WERKEMA, M. C. C. **Criando a cultura Lean Seis Sigma**. 3ª edição. Rio de Janeiro: Elsevier, 2012.

WHEELER, J.M. Getting Started: Six-Sigma Control of Chemical Operations. **Chemical Engineering Process**, v.98, n. 6, p. 76-81, June 2002.

WOMACK D. T. J; ROOS, D. **A máquina que mudou o mundo**. Rio de Janeiro: Campus, 1997.

WOMACK D. T. J. **Zapata e a Revolução Mexicana**. Lisboa. Ed. 70, 1980.

ZHANG, L.; RUNZHEIMER, K.; BONIFER, E.; KEULERS, A.; PIECHOWIAK, E.; MAHNKEN, A. Improving Efficiency of Interventional Service by Lean Six Sigma. **Journal of the American College of Radiology**. v. 12, n. 11, novembro 2015.

## APÊNDICE 1

<b>Carta do Projeto</b>		
<b>Plano de Recursos</b>	<b>Informações Gerais</b>	<b>Revisão Prazos</b>
<b>Nome do Projeto:</b> Aumentando a capacidade do ensaque automático	<b>Área:</b> Operações Integradas	<b>Início:</b> 09/2014
<b>Tipo do Projeto:</b> Seis Sigma	<b>Objetivo do Negócio:</b> Reduzir Custos de Planta	<b>D</b> 10/2014
<b>Líder do Projeto:</b> Augusto Schaffer		<b>M</b> 11/2014
<b>Mentor:</b> xxx		<b>A</b> 01/2015
<b>MBB:</b> xx		<b>I</b> 05/2015
<b>Sponsor:</b> xx		<b>C</b> 11/2015
		<b>Fim:</b> 02/2016
<b>Resumo do Projeto</b>		
<p><b>Problema:</b></p> <p>Atualmente há duas linhas de ensaque na unidade: uma linha manual e outra automática. A linha manual tem operado em níveis abaixo de sua capacidade, em torno de 13% na safra 13/13 e 23% na safra 13/14. Além disso, o ensaque é atualmente o gargalo do processo e será ainda mais com o aumento de capacidade da classificação.</p> <p><b>Meta:</b></p> <p>Reduzir a variabilidade e aumentar a média de OEE para 45% na linha de ensaque automático em 2016.</p> <p><b>Clientes:</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>Supply Corn Brazil</li> <li>Supply Chain (Planejamento, Logística e Exportação)</li> <li>Departamento de Vendas</li> <li>Armazém</li> </ul> <p><b>CTQs:</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>Aumentar a performance da linha automática</li> <li>Entregar o volume finalizado dentro do prazo</li> <li>Reduzir custo variável</li> </ul> <p><b>Escopo do Projeto:</b> Linha automática na unidade xxx</p> <p><b>Tme:</b> xxx</p> <p><b>Líder:</b> Augusto Schaffer</p> <p><b>Dono do Processo:</b> xx</p>		
<b>Assinaturas</b>		
Champion	Dono do Processo	Analista do Negócio
Master Black Belt	Líder do Projeto	Data desta Revisão