

UNIVERSIDADE DE SÃO PAULO
ESCOLA DE ENGENHARIA DE SÃO CARLOS
Departamento de Engenharia de Materiais e Manufatura

MANUELA BUENO JUNQUEIRA FRANCO

**Aplicação da metodologia Seis Sigma para redução
de desperdícios em uma indústria de bem de
consumo**

São Carlos

2016

MANUELA BUENO JUNQUEIRA FRANCO

**Aplicação da metodologia Seis Sigma para redução
de desperdícios em uma indústria de bem de
consumo**

Trabalho de conclusão de curso apresentado à
Escola de Engenharia de São Carlos da
Universidade de São Paulo

Orientador: Prof. Dr. Luis Cesar Ribeiro
Carpinetti

São Carlos

2016

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

J95a Junqueira Franco, Manuela Bueno
 Aplicação da metodologia Seis Sigma para redução de
desperdícios em uma indústria de bem de consumo /
Manuela Bueno Junqueira Franco; orientador Dr. Luis
Cesar Ribeiro Carpinetti. São Carlos, 2016.

Monografia (Graduação em Engenharia De Materiais e
Manufatura) -- Escola de Engenharia de São Carlos da
Universidade de São Paulo, 2016.

1. Seis Sigma. 2. DMAIC. 3. Indústria. 4. Processo.
5. Desperdício. I. Título.

FORMULÁRIO PARA RELATÓRIO DE DEFESA DE TCC

Relatório de defesa pública de Trabalho de Conclusão de Curso da Escola de Engenharia de São Carlos, da Universidade de São Paulo.

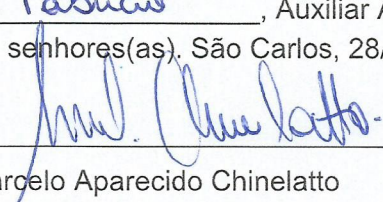

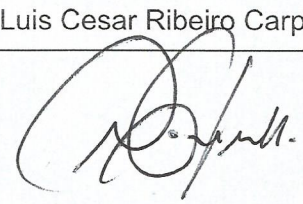
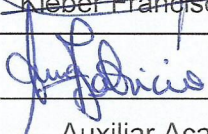
Nome: Manuela Bueno Junqueira Franco		Nº USP: 7591368
Orientador: Luis Cesar Ribeiro Carpinetti		Nº USP: 2112902
Título do TCC: Aplicação da metodologia Seis Sigma para redução de desperdícios em uma indústria de bem de consumo		
Curso: Engenharia de Materiais e Manufatura		
Disciplina: SMM0325 - Trabalho de Conclusão		
Local da defesa:	Data de defesa: 28/11/2016	Hora da defesa: 14:00:00

Após declarada aberta a sessão, o(a) Sr(a) Presidente passou a palavra aos examinadores para as devidas arguições. Em seguida, a Comissão Julgadora proclamou o resultado:

Membros da Comissão Julgadora	Vínculo	Sigla Unidade	Nota
Luis Cesar Ribeiro Carpinetti	EESC	SEP	8,5
Marcelo Aparecido Chinelatto	EESC	SMM	8,5
Kleber Francisco Esposto	EESC	SEP	8,5

Média= 8,5		
Resultado final	<input checked="" type="checkbox"/> Aprovado	<input type="checkbox"/> Reprovado

Eu, Ana Fabricio, Auxiliar Acadêmico, lavrei o presente relatório que assino com os(as) senhores(as). São Carlos, 28/11/2016.

 Marcelo Aparecido Chinelatto	 Kleber Francisco Esposto
 Luis Cesar Ribeiro Carpinetti	 Auxiliar Acadêmico

RESUMO

FRANCO, M. B. J. **Aplicação da metodologia Seis Sigma para redução de desperdícios em uma indústria de bem de consumo**. 2016. Monografia (Trabalho de Conclusão de Curso) – Departamento de Engenharia de Materiais, Escola de Engenharia de São Carlos, Universidade de São Paulo, São Carlos, 2016.

O Seis Sigma é um programa que permite o negócio melhorar a qualidade de seus processos bem como aumentar sua lucratividade. Sua metodologia e cultura são bem estruturadas, o que permite o alcance de grandes retornos e de forma sustentável. O presente trabalho busca oportunidades de melhoria para reduzir desperdícios de um processo de uma indústria de bem de consumo através da implementação de um projeto que segue a metodologia Seis Sigma. A motivação inicial do projeto foi a recorrência de parada de uma das linhas de produção por falta da matéria-prima vinda de um processo antecedente. Dessa forma, o escopo definido ao trabalho consiste na redução de desperdício de matéria prima e de tempo por falta de matéria-prima nesta linha de produção. A condução do projeto seguiu a rota DMAIC (*Define, Measure, Analyze, Improve e Control*) e utilizou diversas ferramentas do programa Seis Sigma, como Diagrama de Causa e Efeito, FTA (*Fault Tree Analysis*), Amostragem e DOE (*Design of Experiments*). Através de medições e análises realizadas, encontrou-se que a principal causa de geração dos desperdícios desta linha era a quantidade em excesso de produtos por embalagens. Dessa forma, a ação de melhoria implementada neste trabalho buscou reduzir o *overcounting* de produtos por meio da atuação nos módulos de corte da linha, os quais são os responsáveis por definir a quantidade de produtos por embalagem. Para aprimorar o processo foi necessário refinar o programa de um dos módulos e parametrizar o outro. Utilizou-se análises estatísticas para definir os parâmetros de trabalho que otimizassem o resultado.

Palavras chave: Seis Sigma, DMAIC, indústria, desperdício

ABSTRACT

FRANCO, M. B. J. **Six Sigma methodology application to reduce waste at a consumer good industry.** 2016. Monograph (Coursework Final) – Department of Materials Engineering, School of Engineering of São Carlos, University of São Paulo, São Carlos, 2016.

Six Sigma is a program that allows the business process quality improvement and profitability increase. Its methodology and culture are well structured, which allows the achievement of high returns and sustainably. This study aims improvement opportunities to reduce process waste in consumer good industry through a Six Sigma project. The project initial motivation was the recurrence of a production line stopping due to lack of raw material coming from a previous process. Thus, this work scope was defined as the reduction of products waste and downtime due to lack of raw materials. The project is conducted by DMAIC (*Define, Measure, Analyze, Improve e Control*) route and uses some of the Six Sigma program tools as Cause and Effect Diagram, FTA (*Fault Tree Analysis*), Sampling and DOE (*Design of Experiments*). Through measurements and analysis carried out, it was found that the main waste cause of this line was the products excess quantity per packaging. An improvement action was implemented in this work, eliminating product overcounting by cutting modules improvement, modules responsible for define products quantity per packaging. To improve the process it was necessary to upgrade the program of one of the modules and parameterize the other. Statistical analyzes were used to define the work parameters that optimized the result.

Keywords: Six Sigma, DMAIC, industry, waste

LISTA DE FIGURAS

Figura 1 - Exemplos de desempenhos na Escala Sigma (adaptado Werkema, 2004)	13
Figura 2 - Custo da não qualidade (adaptado, Breyfogle 2003)	15
Figura 3 - O segredo do sucesso do Seis Sigma (adaptado Werkema, 2004)	15
Figura 4 - Infraestrutura Seis Sigma (adaptado GEORGE, 2002)	16
Figura 5 - Esquema SIPOC	23
Figura 6 - Exemplo de gráfico <i>boxplot</i> e seus conceitos	23
Figura 7 - Exemplo de redução de variabilidade em um processo	25
Figura 8 - Exemplos de carta de controle: a) Em controle e b) Fora de controle	26
Figura 9 - Exemplo de uma Árvore de Falhas (adaptado Material didático oferecido pela consultoria de especialização de Belts da empresa, 2016)	28
Figura 10 - Esquema perda contábil	31
Figura 11 - Diagrama de Pareto – Variação de perda real em relação a perda padrão	33
Figura 12 - Diagrama de Pareto - Produtos da RH07 com maiores variações de perda contábil em relação ao especificado.	33
Figura 13 - Diagrama de Pareto - maiores tempos de <i>downtime</i> da linha RH07	34
Figura 14 - SIPOC Processo RH07	35
Figura 15 - Curva normal unilateral - comportamento esperado da perda física percentual	37
Figura 16 - Análise capacidade da perda física percentual do produto 2 na linha RH07	37
Figura 17 - Carta de controle da perda física percentual do produto 2 na linha RH07	38
Figura 18 - <i>Boxplot</i> - Análise perda física percentual do produto 2 na linha RH07 em relação ao operador	40
Figura 19 - Comparação mês a mês do percentual da perda física <i>versus</i> a contábil dos semi-acabados do produto 2	40
Figura 20 - Diagrama de dispersão do da perda física percentual <i>versus</i> a disponibilidade da linha RH07	41
	42
Figura 21 - Diagrama de causa e efeito – definindo potenciais causas da falta de semi-acabado da RH07	42
Figura 22 - Árvore de Falhas - falta de semi-acabado na RH07 (figura expandida no Anexo C)	44
Figura 23 - Esquema funcionamento transferência do semi-acabado 1 no módulo <i>single cutter</i>	45
Figura 24 - Análise do impacto das variáveis de ajuste do módulo de corte <i>single cutter</i> em relação ao resultado do processo	48
Figura 25 - Análise DOE - relação dos fatores velocidade (a) e pressão (b) em relação à altura do dispositivo amortecedor de saída	49
Figura 26 - Análise DOE - Configuração ideal para os fatores críticos analisados	50

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 - Comparação entre performance do nível Quatro Sigma e o Seis Sigma (adaptado Werkema, 2004)	13
Tabela 2 - Patrocinadores e especialistas do Seis Sigma (adaptado Werkema, 2011)	17
Tabela 3 - Ferramentas utilizadas na metodologia DMAIC (WERLEMA, 2004)	21
Tabela 4 - Índices de capacidade	24
Tabela 5 - Software de captação de dados - seus <i>inputs</i> e <i>outputs</i>	36
Tabela 6 - Resultado auditoria produto 2 - Verificação de <i>overcounting</i>	43
Tabela 7 - Desenho dos testes para parametrização módulo <i>single cutter</i>	46
Tabela 8 - Resumo dos resultados obtidos nos testes de parametrização do módulo <i>single cutter</i>	48

LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

JIT	<i>Just-in-time manufacturing</i>
5W2H	<i>What? Why? Where? When? Who? How? How Much?</i>
ANBT	<i>Associação Brasileira de Normas Técnicas</i>
CAQ	<i>China Association for Quality</i>
CSAT	<i>Customer satisfaction score</i>
DFSS	<i>Design for Six Sigma</i>
DMADV	<i>Define, Measure, Analyze, Design e Verify</i>
DMAIC	<i>Define, Measure, Analyze, Improve e Control</i>
DOE	<i>Design of Experiments</i>
FMEA	<i>Failure Mode and Effect Analysis</i>
FTA	<i>Fault Tree Analysis</i>
MAS	<i>Measure System Analysis</i>
NQA	<i>Nível de Qualidade Aceitável</i>
OCAP	<i>Out of Control Action Plan</i>
OEE	<i>Overall Equipment Effectiveness</i>
OJT	<i>On the Job Training</i>
PDPC	<i>Process Decision Program Chart</i>
SIPOC	<i>Supplier, Inputs, Process, Output e Customers</i>
TPM	<i>Total Productive Maintenance or Total Productive Management</i>
VOC	<i>Voice of Costumer</i>

SUMÁRIO

1. INTRODUÇÃO.....	9
1.1. CONTEXTUALIZAÇÃO E MOTIVAÇÃO	9
1.2. OBJETIVO	9
2. O PROGRAMA SEIS SIGMA	10
2.1. BREVE HISTÓRICO	10
2.2. O QUE É SEIS SIGMA.....	11
2.3. ORGANIZAÇÃO FUNCIONAL DO PROGRAMA SEIS SIGMA	16
2.4. CASOS DE APLICAÇÃO DO PROGRAMA SEIS SIGMA DESCRITOS NA LITERATURA 17	
2.5. MÉTODOS E TÉCNICAS DO PROGRAMA SEIS SIGMA.....	19
2.5.1. FERRAMENTAS UTILIZADAS NO TRABALHO.....	22
3. APLICAÇÃO DO SEIS SIGMA EM UMA LINHA DE PRODUÇÃO DE UMA INDÚSTRIA DE BEM DE CONSUMO	30
3.1. CONSIDERAÇÕES INICIAIS.....	30
3.2. DEFINIR.....	32
3.3. MEDIR	35
3.3.1. ENTENDENDO O COMPORTAMENTO ATUAL.....	36
3.3.2. ANÁLISE ECONÔMICA	38
3.3.3. ESTUDO DOS PROBLEMAS PRIORITÁRIOS.....	39
3.4. ANALISAR	41
3.4.1. <i>BRAINSTORMING</i> – DEFINIÇÃO POTENCIAIS CAUSAS.....	41
3.5. IMPLEMENTAR – REDUÇÃO DO <i>OVERCOUNTING</i> DE PRODUTOS.....	44
3.5.1. SEMI-ACABADOS 1, 2 E 3	44
3.5.2. SEMI-ACABADO 4	45
3.5.3. RECOMENDAÇÕES DE INICIATIVAS FUTURAS.....	50
3.6. CONTROLAR.....	51
4. CONCLUSÕES.....	52
5. REFERÊNCIAS	53
6. ANEXO A	55
7. ANEXO B	56
8. ANEXO C.....	57

1. INTRODUÇÃO

1.1. CONTEXTUALIZAÇÃO E MOTIVAÇÃO

O aumento da concorrência de mercado incentiva o aprimoramento dos processos produtivos das indústrias em busca de mais eficiência e eficácia. No atual mercado competitivo, as empresas procuram reduzir os custos e aumentar a qualidade de produtos e/ou serviços, porém é um grande desafio para as empresas de manufatura diminuir o tempo de produção com melhoria na qualidade e aumentar o volume de produção com menos recursos (BEYFOGLE, 2003). O Seis Sigma é uma estratégia que proporciona ao negócio alcançar esses objetivos, pois diferente de programas da qualidade, como *Total Quality Management* (TQM) e Zero Defeito, o Seis Sigma propõe o foco simultâneo no aumento da lucratividade e na redução de defeitos (HARRY; SCHROEDER, 2000).

O programa Seis Sigma surgiu em 1987 e desde então os resultados das empresas que o aplicaram são vem se mostrando positivos, como por exemplo, a ABB, conquistou um retorno de US\$ 898 milhões/ano, redução 68% dos níveis de defeito e 30% redução nos custos de produção em um período de dois anos; já a AlliedSignal, quando implementou o programa em 1994 obteve ganho de 1,2 bilhões de dólares em quatro anos (WERKEMA, 2004). A empresa nacional pioneira na aplicação do Seis Sigma foi o o Grupo Brasmotor (Multibras e Embraco) em 1999, que conquistou um retorno financeiro de 20 milhões de reais com os primeiros projetos Seis Sigma concluídos (WERKEMA, 2011).

Considerando os benefícios do programa Seis Sigma, este estudo pretende aplicar a metodologia Seis Sigma a fim de trazer melhoria em um processo de uma indústria de bens de consumo, focando principalmente na redução das perdas de processo.

1.2. OBJETIVO

Este trabalho tem como objetivo aplicar os métodos e ferramentas do programa Seis Sigma na condução de um projeto para reduzir os desperdícios de um processo em uma indústria de bem de consumo, a fim de obter um processo mais produtivo e capaz.

2. O PROGRAMA SEIS SIGMA

2.1. BREVE HISTÓRICO

Nos anos oitenta alguns setores passaram por uma abertura de mercado, consequente houve aumento na competitividade, e a fim de garantir rentabilidade, surgiram algumas iniciativas para um novo sistema da qualidade: Zero Defeito, na Ford Motors, e TQM, na Boeing e Bell Telephone (RAISINGHANI, 2005). O Seis Sigma é uma marca registrada da Motorola que se originou nos Estados Unidos em janeiro de 1987, o qual surgiu com intuito de ganhar competitividade em relação aos produtos eletrônicos japoneses, os quais apresentavam maior qualidade e menor preço.

A Motorola, que enfrentava o mesmo desafio das empresas citadas acima, percebeu que perdia mercado devido à baixa produtividade e ao custo da não qualidade. Um esforço maior era necessário para resolver seus problemas. Desta forma, o nível Seis Sigma foi adotado como sendo seu novo padrão de qualidade, o programa para alcançar esse objetivo foi estruturado sistematicamente e, por fim, registrado como marca comercial (RAISINGHANI, 2005). Portanto, o Seis Sigma surgiu para reverter a situação da Motorola nos anos oitenta. Segundo George (2003) a diferença essencial do Seis Sigma é a cultura, esta é a primeira iniciativa que exige o engajamento dos gestores CEO e *P&L*, além de ter sido a primeira iniciativa a definir ganhos financeiros específicos para a melhoria da qualidade.

Em 1988, a Motorola recebeu o Prêmio Nacional da Qualidade Malcolm Baldrige, o que proporcionou a disseminação do Programa Seis Sigma em outras empresas, como Asea Brown Boveri, Kodak, General Electric (GE) e Sony (WERKEMA, 2011). Apesar da Motorola ter sido a criadora, segundo Pfeifer (2004) o sucesso do Seis Sigma foi realmente conquistado quando o CEO da GE, Jack Welch, divulgou os resultados financeiros alcançados com a implementação da metodologia. Com isso, mais empresas passaram a ser motivadas a aplicarem o Seis Sigma, entre elas a Siemens, Nokia, Caterpillar e Volvo.

O estudo de Miguel (2010) sobre a prática do Seis Sigma no Brasil alega que a maioria das empresas analisadas introduziram o programa a partir do ano 2000, com um crescimento acentuado após esse ano. Provavelmente a explicação para o crescimento nesta data é o resultado obtido pelo Grupo Brasmotor e General Eletric.

As empresas que utilizaram a ferramenta Seis Sigma aprimoraram a qualidade de seus produtos e serviços, reduziram seus custos e erros e alcançaram maior produtividade. O

programa Seis Sigma promove uma mudança cultural da empresa, a qual se torna um ambiente favorável à melhoria contínua (GALVANI, 2010). De acordo com Aguiar (2002), o Seis Sigma pretende gerar várias mudanças na empresa, as principais delas são:

- O propósito principal da empresa é direcionado ao atendimento das necessidades dos clientes;
- Os projetos e metas definidas visam um retorno financeiro, mesmo que mínimo;
- Os problemas da empresa também são problemas de todos os seus funcionários;
- A metodologia da solução de um problema é padrão para todos os setores da empresa;
- Existem treinamentos para aperfeiçoamento das técnicas e ferramentas do programa.

Segundo Galvani (2010), o número de pesquisas acadêmicas relacionadas ao programa Seis Sigma vem crescendo nos últimos anos, a maioria dessas pesquisas e também os livros sobre o tema são escritos por praticantes e consultores. Ainda há uma carência de artigos mais teóricos. Poucos estudos sobre o tema são publicados em jornais acadêmicos.

2.2. O QUE É SEIS SIGMA

Segundo Breyfogle (2003), Seis Sigma é uma metodologia que busca melhoria contínua na satisfação do consumidor e aumento dos lucros, a qual engloba tanto a redução de defeito como também a melhoria de processos nos negócios em geral. Apesar de ser uma iniciativa para melhorar a qualidade reduzindo os defeitos, segundo Breyfogle (2003) o Seis Sigma não deve ser uma ferramenta usada somente no departamento de qualidade e sim em todas as áreas da empresa e em qualquer tipo de empresa. Já Werkema (2004) define Seis Sigma como “uma estratégia gerencial disciplinada e quantitativa, que tem como objetivo aumentar drasticamente a lucratividade das empresas, por meio de melhoria da qualidade de produtos e processos e do aumento da satisfação de clientes e consumidores”. Além disso Werkema (2004) traz uma visão mais ampla do programa Seis Sigma:

- **A escala:** é quantificada por um número na Escala Sigma, a qual mede o nível da qualidade referente a um processo. Quanto maior o valor da Escala Sigma, maior o nível de qualidade;

- **A meta:** o Seis Sigma busca estar o mais próximo do zero defeito (3,4 defeitos para cada milhão de operações realizadas);
- **O benchmark:** forma de comparação do nível de qualidade de produtos, operações e processos;
- **A estatística:** é usada para avaliar o desempenho das características críticas que comprometem a qualidade, levando em consideração às especificações;
- **A filosofia:** acredita na melhoria contínua dos processos, na redução de variabilidade e também na busca por zero defeito;
- **A estratégia:** consiste em uma relação entre projetos, fabricação, qualidade final, entrega de um produto e a satisfação dos consumidores.
- **A visão:** tem por objetivo levar a empresa a ser a melhor em seu ramo.

O Seis Sigma possui diferentes definições e interpretações. De acordo com Hoerl (1998) *apud* Banuelas (2002), é uma metodologia formal e disciplinada que consiste em definir, medir, analisar, melhorar e controlar um processo. No entanto a ideia fundamental por trás da filosofia do Seis Sigma é a contínua busca pela redução da variação do processo e o foco em eliminar os defeitos e falhas de todos os produtos e serviços.

O termo Sigma (σ) é uma letra grega que representa o desvio padrão de uma série, uma medida de variabilidade. O nível de qualidade sigma define qual a chance de um defeito ocorrer em um processo (BREYFOGLE, 2003). Walter Shewhart introduziu em 1922 o conceito de nível três sigma como uma forma de avaliar a variabilidade, estabeleceu que o processo necessitaria de uma intervenção caso a variabilidade não atingisse este nível. O limite três sigma foi considerado adequado para a maioria dos processos de manufatura até o início dos anos oitenta (RAISINGHANI, 2005).

Como pode ser observado na Figura 1, o nível sigma da qualidade não se comporta de forma linear em relação a quantidade de defeitos por milhão. Além disso, a Figura 1 apresenta alguns exemplos de serviços e suas posições em relação ao nível sigma. Percebe-se que a maioria dos serviços se encontra no nível Quatro Sigma, sendo que o melhor cenário considerado é o nível Seis Sigma. Segundo Breyfogle (2003), um dos objetivos da implementação do Seis Sigma é a melhoria contínua dos processos de forma a se tornar a “classe mundial”. A qualidade de “classe mundial” significa entregar ao consumidor um produto ou serviço de alto valor, que atenda às suas necessidades e expectativas, a um custo que seja percebido como justo.

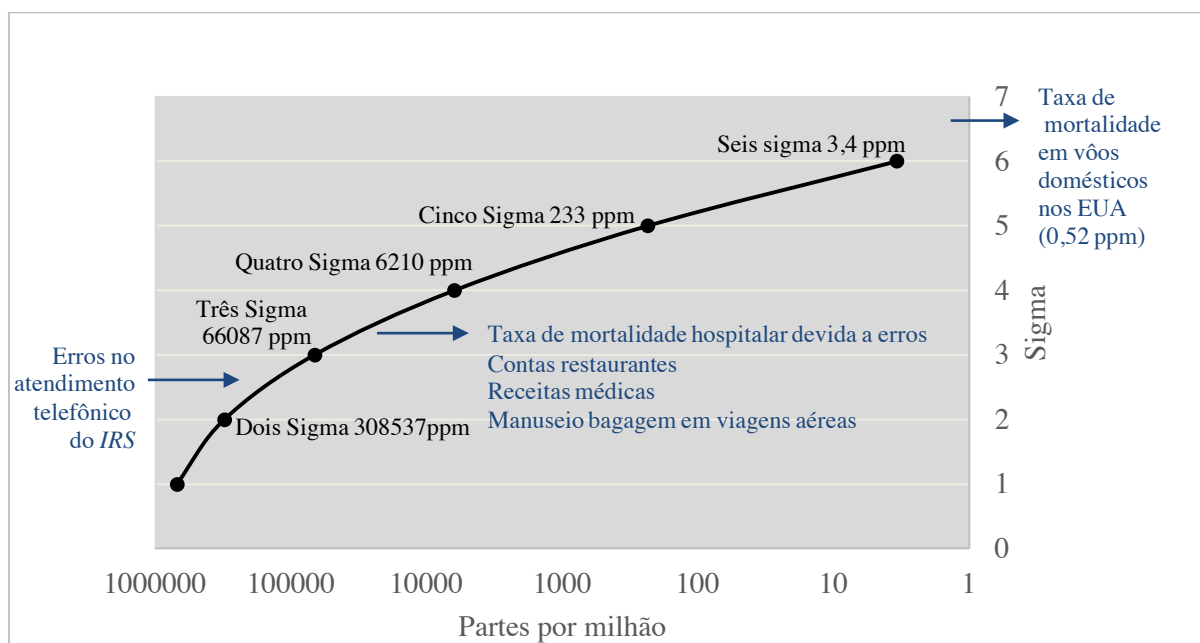


Figura 1 - Exemplos de desempenhos na Escala Sigma (adaptado Werkema, 2004)

A Tabela 1 ilustra de uma forma mais clara a diferença entre os níveis de qualidade Quatro Sigma *versus* Seis Sigma, ou seja, o nível mais comum nos dias de hoje em relação ao nível esperado da implementação do Seis Sigma. Os resultados da aplicação das técnicas do programa em todas as funções da empresa são o alto nível de qualidade e o custo reduzido através da diminuição do tempo de ciclo de produção, o que consequentemente também aumenta a lucratividade e a competitividade da empresa.

Tabela 1 - Comparação entre o desempenho do nível Quatro Sigma e o Seis Sigma (adaptado Werkema, 2004)

Quatro Sigma (99,28% conforme)	Seis Sigma (99,99966% conforme)
Sete horas de falta de energia elétrica por mês	Uma hora de falta de energia elétrica a cada 34 anos
5.000 operações cirúrgicas incorretas por semana	1,7 operações cirúrgicas incorretas por semana
3.000 cartas extraviadas para cada 300.000 cartas postadas	Uma carta extraviada para cada 300.000 cartas postadas
Quinze minutos de fornecimento de água não potável por dia	Um minuto de fornecimento de água não potável a cada sete meses

O Seis Sigma busca reduzir o custo da não qualidade. O custo da não qualidade é o custo de processos que não agregam valor à qualidade final do produto ou serviço; é o custo da produção de um produto que não atende às especificações e/ou não atende às expectativas do cliente. Harrington (1999) afirma que a não qualidade custa para a empresa, e a boa qualidade economiza dinheiro para a organização. A lista dos custos da não qualidade pode ser dividida da seguinte forma:

1. Custo direto da não qualidade
 - a. Custo da não qualidade controlável
 - Custo de prevenção
 - Custo de avaliação
 - Custo de não agregar valor
 - b. Custo da não qualidade resultante
 - Custo do erro interno
 - Custo do erro externo
 - c. Custo da não qualidade de equipamentos
2. Custo Indireto da não qualidade
 - a. Custo suscetível em relação ao cliente
 - b. Custo da insatisfação do cliente
 - c. Custo da perda de reputação
 - d. Custo da perda de oportunidade

A Figura 2, representa os custos da não qualidade em formato de um *iceberg*, onde a ponta do iceberg se refere àqueles mais fáceis de serem percebidos. No entanto, a visão do Seis Sigma é abrangente e considera aqueles custos que estão escondidos no *iceberg*. Uma organização pode não perceber os maiores problemas de suas organizações se focar somente nas questões da ponta do *iceberg* (BREYFOGLE, 2003).



Figura 2 - Custo da não qualidade (adaptado, Breyfogle 2003)

O grande sucesso do Seis Sigma não se deve às ferramentas estatísticas usadas para a sua implementação e sim a abordagem que é utilizada: a metodologia e a forma de ser implementada. Pode-se dizer que o Seis Sigma é sustentado por três pilares: benefícios medidos a partir do aumento da lucratividade da empresa, DMAIC e o elevado comprometimento da alta administração da empresa (Figura 3). A união desses três fatores é o segredo do sucesso da metodologia (WERKEMA, 2004).

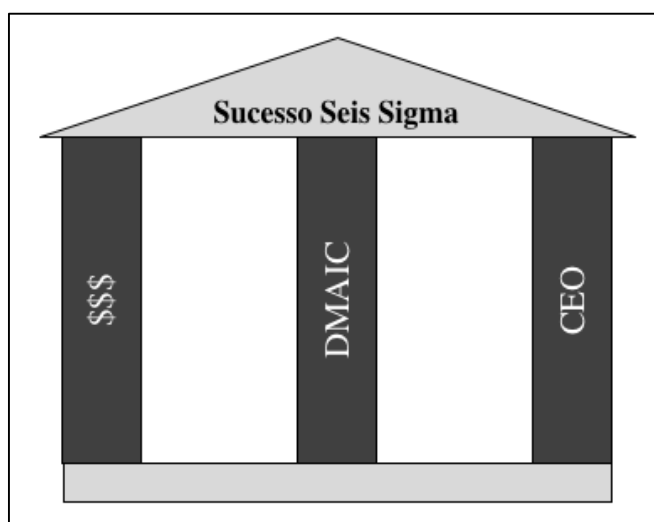


Figura 3 - O segredo do sucesso do Seis Sigma (adaptado Wekema, 2004)

Outro fator que diferencia o programa Seis Sigma é a sustentabilidade da cultura via sistema de treinamento de *Black belts*, *Green belts* e *Yellow belts*. Este modelo oferece uma forma estruturada de cultivar a cultura dentro da empresa. Além disso, é um programa que

pode ser integrado com outras iniciativas de gestão, como TPM (*Total Productive Maintenance or Total Productive Management*) e *Lean Manufacturing* (ZHANGA, 2014).

2.3. ORGANIZAÇÃO FUNCIONAL DO PROGRAMA SEIS SIGMA

No programa Seis Sigma há o envolvimento de todas as pessoas da empresa, e há o treinamento para formação de especialistas em conduzir os projetos Seis Sigma em diversos níveis: *White Belt*, *Yellow Belt*, *Green Belt*, *Black Belt*, *Master Black Belt*. Além dos especialistas, a estrutura empresarial Seis Sigma possui patrocinadores. A Figura 4 apresenta a hierarquia existente na estrutura do Seis Sigma, segundo George (2002). Esta organização funcional requerida no programa possibilita sua sustentabilidade dentro da organização.

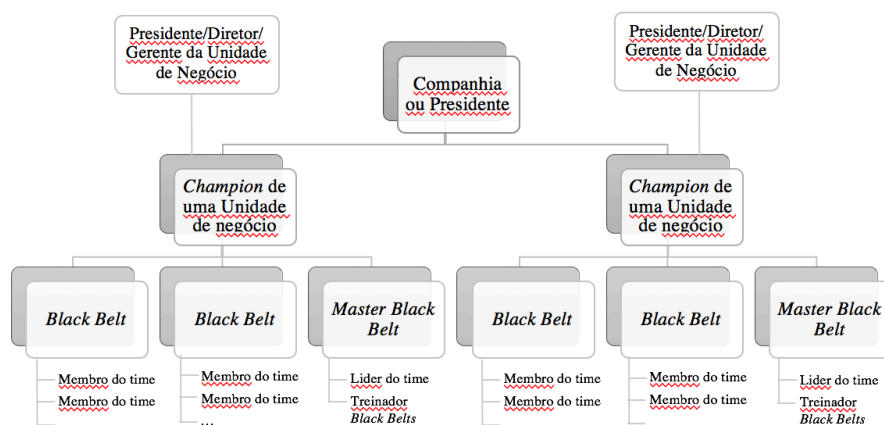


Figura 4 - Infraestrutura Seis Sigma (adaptado GEORGE, 2002)

As responsabilidades de cada tipo de patrocinador ou especialista estão representadas na Tabela 2. Mais importante do que o número de pessoas é a qualidade do comprometimento. A escolha dos *Champions* e dos *Black Belts* deve ser feita baseada no potencial deles em se tornarem líderes da empresa. Eles passarão por uma experiência exemplar em todos os aspectos da gestão empresarial e da utilização eficaz dos recursos, e serão desenvolvidos com visão de um processo centrado no consumidor (GEORGE, 2002).

Tabela 2 - Patrocinadores e especialistas do Seis Sigma (adaptado Werkema, 2011)

Patrocinador/ Especialistas		Nível de atuação	Principais atribuições
Patrocinador	Sponsor	Principal executivo da empresa	Promover e definir as diretrizes para implementação do Seis Sigma.
	Sponsor Facilitador	Diretoria	Assessorar o <i>Sponsor</i> do Seis Sigma na implementação do programa.
	Champion	Gerência	Apoiar os projetos e remover possíveis barreiras para o seu desenvolvimento.
Especialistas	Master Black Belt	Staff	Assessorar os <i>Sponsors</i> e <i>Champions</i> e atuar como mentores dos <i>Black Belts</i> e <i>Green Belts</i> .
	Black Belt	Staff	Liderar equipes na condução de projetos multifuncionais (preferencialmente) ou funcionais.
	Green Belt	Staff	Liderar equipes na condução de projetos funcionais ou participar de equipes lideradas por <i>Black Belts</i> .
	Yellow Belt	Supervisão	Supervisionar a utilização das ferramentas Seis Sigma na rotina da empresa e executar projetos mais focados e de desenvolvimento mais rápidos que os executados pelos <i>Green Belts</i> .
	White Belt	Operacional	Executar ações na operação de rotina da empresa que irão garantir a manutenção, a longo prazo, dos resultados obtidos por meio dos projetos.

2.4. CASOS DE APLICAÇÃO DO PROGRAMA SEIS SIGMA DESCRITOS NA LITERATURA

Em meados de 2010, uma empresa chinesa de laminação a frio fundada em 1934, tomando como exemplo o sucesso de empresas internacionais como a Posco na Coreia, optou por adotar o programa Seis Sigma. O resultado deste trabalho foi publicado por Zhang (2015) e evidencia mais um caso de sucesso na utilização do Seis Sigma.

Antes de entrar nos detalhes desse resultado, é importante ressaltar que esta empresa era um expoente na produção de ferro e aço. Possuía as tecnologias e equipamentos mais avançados para a produção de aço inoxidável. Sua capacidade produtiva anual era de 10 milhões de toneladas de aço, sendo 3 milhões de aço inoxidável. A empresa sempre se preocupou com programas efetivos de gestão de qualidade, como por exemplo *Quality Control Circle*, certificação ISO 9000, 5S, TPM e JIT (*Just-in-time manufacturing*), com o objetivo de garantir a melhoria contínua da qualidade, melhorar a gestão da planta e aumentar a eficiência da produção.

Com o aumento da competitividade no ramo de aço inoxidável, a empresa chinesa percebeu que essas ferramentas não atingiam todo seu potencial no formato em que eram implantadas (diferentes departamentos). Dessa forma, a empresa passou por um programa de cinco anos, 2006 a 2010, planejando a futura gestão Seis Sigma. Agora será relatado o resultado de um dos projetos realizados na empresa após a implementação da gestão Seis Sigma.

O projeto *Black belt* aplicado tinha como objetivo melhorar a capacidade de satisfazer os requisitos de espessura das folhas de laminação a frio de aço inoxidável. Determinou-se como alvo atender as especificações de espessura em 90,0% da produção, partindo de um alcance de 68,9%. O resultado do projeto foi a redução de 40 para 5 o número de bobinas de laminado a frio com espessura acima do especificado, o que gerou um retorno financeiro para empresa de US\$550.000 por ano. Este foi um dos 475 projetos realizados pela empresa que tiveram sucesso entre os anos de 2009 e 2011, gerando um retorno financeiro de US\$100.000.000. A empresa foi premiada pela *China Association for Quality* (CAQ) como uma empresa excelente na implementação de Seis Sigma.

Uma análise sobre a aplicação de projetos Seis Sigma em um centro de atendimento de um banco multinacional foi publicada em 2015 por Vijaya. O centro estudado administrava o atendimento ao consumidor e também as tele vendas para consumidores norte-americanos. Estas atividades haviam acabado de ser iniciadas e enfrentavam concorrência de empresas já estabelecidas neste ramo. Neste cenário, a satisfação do cliente tornou-se uma métrica fundamental para o desempenho do banco a partir da perspectiva da central de atendimento ao cliente.

A pontuação de satisfação do cliente, chamada de *Customer satisfaction score* (CSAT), varia em uma escala de 1 a 10 e é obtida por meio da avaliação de cada cliente ao final da ligação. As ligações que apresentam notas 9 ou 10 são chamadas de *top box CSAT scores*, sendo essas as pontuações almejadas pelas empresas. O projeto Seis Sigma tinha como objetivo aumentar a percentagem de *top box CSAT scores* em seus atendimentos.

O banco apresentava uma porcentagem de 58,7% de *top box CSAT scores*. O responsável pela operação não tinha ideia do porque as pontuações estavam tão baixas. Então a gestão percebeu a necessidade de aplicar a metodologia Seis Sigma para entender quais eram as causas raízes deste problema e com isso solucionar e controlar de forma apropriada o problema. A empresa já tinha histórico de projetos Seis Sigma bem sucedidos, mais uma razão para a gerência querer utilizar este método.

O projeto foi executado com êxito em um período de seis meses, em que todas as oportunidades de melhoria determinadas no plano de ação foram implementadas. Com isso, a porcentagem de atendimentos com *top box CSAT scores* aumentou de 58,7% para 65,41%, o que gerou ao banco um retorno financeiro de US\$270.000 e também a mudança na cultura da central de atendimento, onde os funcionários passaram a ter preocupação com a qualidade do serviço.

Outro estudo, publicado por Srinivasan em 2016, foi a respeito da broca de fornalha, que é o elemento mais crítico em fornos alimentados por óleo. A execução do projeto ocorreu em uma empresa onde vários equipamentos usados em fornos são manufaturados, como por exemplo secadora, trocador de calor, gerador de ar quente, chaminé, queimador, válvulas e broca de fornalha. A broca de fornalha é usada para atomizar o combustível com ar para conseguir a combustão apropriada. Fabricar uma broca de fornalha de alta qualidade é um grande desafio para esta empresa.

O escopo desse projeto foi a perfuração da broca de fornalha, pois analisando dados históricos de um ano, foi o processo que apresentou a maior ocorrência dos defeitos encontrados na fabricação desta ferramenta. Percebeu-se que o diâmetro do orifício da broca de fornalha apresentava alta variação e que este desvio prejudicava o desempenho da sua função nos fornos. Com isso, o objetivo foi alcançar a qualidade nível Seis Sigma no processo de perfuração das brocas de fornalha.

Após essa implementação, a porcentagem de defeito foi reduzida de 14% para 6%, o que representa na escala sigma de 3,31 para 3,67. A melhoria no processo de furação do bocal do forno resultou em um retorno financeiro de US\$1.953 por ano. Apesar da melhoria, o resultado esperado não foi alcançado por duas razões: (1) Escassez de tempo e dinheiro impossibilitaram considerar todos os fatores que impactavam o desvio do diâmetro do orifício das brocas de fornalha e (2) a gerência optou por não atuar imediatamente em ações que requisitassem um investimento significativo.

2.5. MÉTODOS E TÉCNICAS DO PROGRAMA SEIS SIGMA

Os projetos Seis Sigma são organizados e realizados seguindo o método DMAIC, em que as iniciais, definidas em inglês, representam: *Define* (Definir), *Measure* (Medir), *Analyze* (Analisar), *Improve* (Melhorar ou Implementar) e *Control* (Controlar). Em caso de projetos de desenvolvimento de um novo produto, o método usado é o DMADV, que significa: *Define* (Definir), *Measure* (Medir), (Analisar), *Design* (Projetar) e *Verify* (Verificar) (WERKEMA, 2011). Segundo Antony e Banuelas (2002) cada etapa do método DMAIC tem um objetivo e um propósito bem definidos. Essa metodologia sistemática deve ser seguida durante a execução do projeto para alcançar melhoria contínua.

A responsabilidade de cada etapa e o que deve ser feito em cada uma delas de acordo com Werkema (2004) estão descritos abaixo:

- **Definir** - na primeira etapa da rota DMAIC é preciso definir o escopo do projeto que consiste nas seguintes atividades: validar a importância do projeto; formar a equipe do projeto e identificar quais as principais necessidades dos clientes (internos e/ou externos).
- **Medir** – nesta etapa ocorre o refinamento do problema, onde também é definido o foco de atuação. Antes dessa definição é necessário ter certeza que os dados analisados são confiáveis, caso não sejam, é preciso fazer uma nova coleta de dados. A partir do momento que se possui dados seguros, devem ser definidos os problemas prioritários e as metas referentes a cada um desses problemas.
- **Analisar** – é na terceira etapa que se determina quais as causas de cada problema prioritário. Para isto é preciso analisar o processo responsável por gerar este problema prioritário, e então identificar e priorizar as potenciais causas do problema analisado. Por fim, a importância dessas causas deve ser quantificada.
- **Implementar** – nesta etapa são propostas, avaliadas e implementadas as soluções para cada problema prioritário. Inicialmente as soluções são testadas em pequena escala e, se o teste apresentar alcance da meta esperada, deve-se elaborar e executar um plano para execução das soluções em larga escala. Se a meta não tiver sido alcançada, é necessário realizar o *Design for Six Sigma* (DFSS) ou deve-se retornar a etapa Medir.
- **Controlar** – consiste na última etapa, a qual é responsável por garantir que a meta alcançada seja mantida em um longo prazo. Para este controle é necessário inicialmente avaliar o alcance da meta em larga escala. Caso a meta for alcançada, as alterações devem ser padronizadas e as padronizações devem ser passadas para a equipe envolvida. Um plano deve ser criado para monitoramento da performance e, caso surjam anomalias, deve-se efetuar ações corretivas. Para conclusão do trabalho é importante fazer um sumário do estudo e oferecer recomendações.

Existem diversas técnicas e ferramentas que podem ser utilizadas em cada uma das etapas da rota DMAIC, as quais não são exclusivas do programa Seis Sigma. Contudo, a utilização das diversas ferramentas de forma integrada às etapas DMAIC é o que caracteriza o método sistemático, baseado em dados e ferramentas estatísticas, capaz de alcançar os resultados estratégicos desejados pela empresa (WERKEMA, 2004). Na Tabela 3 pode-se

observar as diferentes ferramentas e em quais etapas da rota DMAIC elas são normalmente utilizadas.

Tabela 3 - Ferramentas utilizadas na metodologia DMAIC (WERLEMA, 2004)

Ferramentas	Fase do "DMAIC" que cada ferramenta é normalmente utilizada.				
	Definir	Medir	Analisar	Melhorar	Controlar
<i>Project Charter</i>	✓				
SIPOC (<i>Supplier, Input, Process, Output e Customer</i>)	✓				
VOC (Voz do Cliente)	✓				
Análise Econômica	✓				
Análise de Séries Temporais (<i>Run Charts</i>)	✓				
Gráfico Sequencial	✓	✓			
Carta de Controle	✓	✓			✓
Métricas do Seis Sigma	✓	✓			✓
Mapa de Raciocínio	✓	✓	✓	✓	✓
Análise Multivariada		✓			
Cálculo matemático		✓			
Plano de Coleta de Dados		✓			✓
Folha de Verificação		✓			✓
Amostragem		✓			✓
Diagrama de Pareto		✓			✓
Índices de Capacidade		✓			✓
Estratificação		✓	✓		
<i>Boxplot</i>		✓	✓		
Análise de Sistema de Medição/Inspeção (MSE) - <i>Gage R&R</i>		✓	✓		✓
Histograma		✓	✓		✓
Fluxograma			✓		
Mapa do Processo			✓		
Mapa de Produto			✓		
Análise do Tempo de Ciclo			✓		
<i>FTA</i>			✓		
Diagrama de Dispersão			✓		
Cartas "Multi-Vari"			✓		
Análise de Regressão			✓		
Teste de Hipóteses			✓		
Análise e Variância			✓		
Planeamento de Experimentos			✓		
Análise de Tempo de Falhas			✓		
Teste de Vida Acelerados			✓		
<i>Brainstorming</i>			✓	✓	
Diagrama de Causa e Efeito			✓	✓	
Diagrama de Afinidades			✓	✓	
Diagrama de Relações			✓	✓	
Diagrama de Matriz			✓	✓	
Matriz de Priorização			✓	✓	
<i>FMEA (Failure Mode and Effect Analysis)</i>			✓	✓	

Continuação Tabela 3 - Ferramentas utilizadas na metodologia DMAIC (WERLEMA, 2004)

Ferramentas	Fase do "DMAIC" que cada ferramenta é normalmente utilizada.				
	Definir	Medir	Analisar	Melhorar	Controlar
<i>Stakeholders Analysis</i>				✓	
Teste na Operação				✓	
Teste de Mercado				✓	
Simulação				✓	
Operação Evolutiva				✓	
Teste de Hipóteses				✓	
Simulação				✓	
Operação Evolutiva (<i>EVOP</i>)				✓	
<i>5W2H</i>				✓	
Diagrama de Árvore				✓	
Diagrama de Gantt				✓	
<i>PERF/COM</i>				✓	
Diagrama do Processo Decisório (<i>PDPC</i>)				✓	
Procedimentos Padrão					✓
Poka-Yoke (Mistake-Proofing)					✓
Manuais					✓
<i>OJT (On the Job Training)</i>					✓
Relatório de Anomalias					✓
<i>OCAP (Out of Control Action Plan)</i>					✓

2.5.1. FERRAMENTAS UTILIZADAS NO TRABALHO

A metodologia Seis Sigma apresenta um conjunto de várias ferramentas que podem ser usadas para dar suporte ao seu trabalho de investigação, análise e busca na solução de um problema. Porém, de acordo com Breyfogle (2003), não é necessário um projeto utilizar todos os tipos de ferramentas recomendadas pelo método Seis Sigma, basta escolher o melhor conjunto de ferramentas para cada situação e focar nas ferramentas de melhoria que agregam valor ao problema tratado. As principais ferramentas utilizadas neste trabalho serão apresentadas a seguir.

2.5.1.1. SIPOC

O SIPOC é um mapa do processo que identifica o fornecedor (*Supplier*), as entradas (*Inputs*), o processo (*Process*), as saídas (*Outputs*) e o cliente (*Customers*). Na Figura 5 observa-se um esquema do SIPOC. Esta ferramenta, que tem como função definir o principal processo envolvido no projeto, é organizada em forma de diagrama para facilitar a visualização do escopo do trabalho (BREYFOGLE, 2003). A melhoria da qualidade do output

pode ser conquistada analisando os inputs e as variáveis de processo, e o SIPOC contribui para esta análise¹.

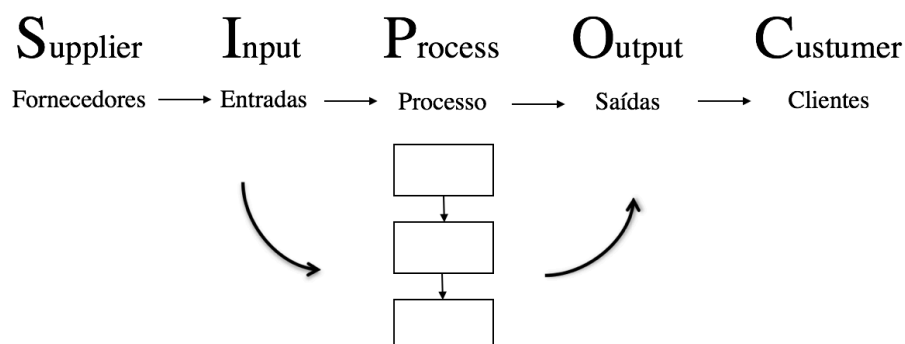


Figura 5 - Esquema SIPOC

2.5.1.2. *Boxplot*

Ferramenta usada para relacionar duas variáveis, sendo uma delas contínua e a outra discreta. É um gráfico que possibilita extrair a localização, a dispersão, a simetria ou assimetria e a presença de pontos discrepantes (*outliers*) de um conjunto de dados¹. A leitura de um gráfico *boxplot* é explicado no exemplo da Figura 6.

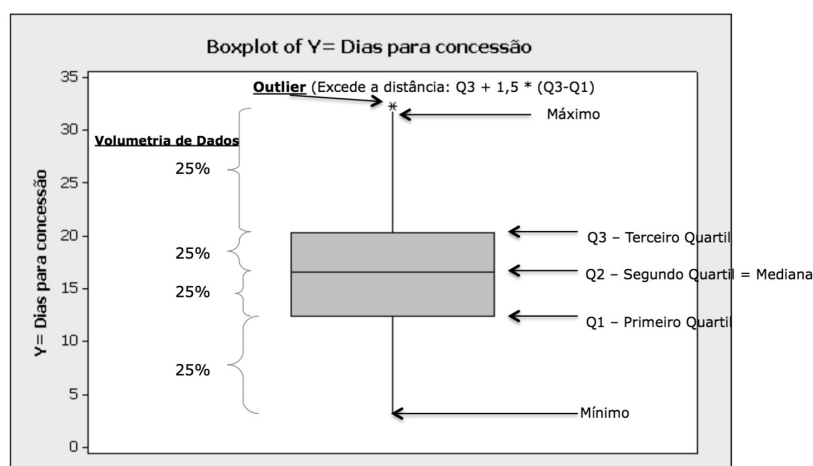


Figura 6 - Exemplo de gráfico *boxplot* e seus conceitos

¹ Material Seis Sigma da empresa, 2005.

2.5.1.3. Índices de Capabilidade

Os índices de capabilidade permitem avaliar estatisticamente a capacidade de um processo de atender às especificações dos clientes internos e/ou externos. Existem alguns índices que podem ser utilizados para avaliar esta capacidade: Zlt, Zst, Pp, Ppk, Cp, Cpk, % Defeituosa e DPMO (ou PPM). Na Tabela 4 está detalhado o que cada um dos índices representa. Por se tratar de índices numéricos, facilita a comparação entre processos. Segundo Ahmad and Benson (1999), um valor de Cpk maior que 1 representa uma boa capacidade, já um processo menor que 1 possui baixa capacidade.

Tabela 4 - Índices de capacidade²

Índices	Nome	O que representa
Zlt	Capabilidade de Longo Prazo (Geral)	A probabilidade do processo gerar defeitos no longo prazo (considerando todos os subgrupos do processo)
Zst	Capabilidade de Curto Prazo (Potencial)	A probabilidade do processo gerar defeitos no curto prazo (considerando todos os subgrupos do processo)
Pp	Índice de performance processo centrado	Variação do processo em relação aos limites de especificação no longo prazo
Ppk	Índice de performance processo não centrado	Posicionamento (centralizado) do processo em relação aos limites de especificação no longo prazo
Cp	Índice de performance processo centrado	Variação do processo em relação aos limites de especificação no curto prazo
Cpk	Índice de performance processo não centrado	Posicionamento (centralizado) do processo em relação aos limites de especificação no curto prazo
% Defeituosa	% Defeituosa	A quantidade de defeitos esperados para o processo em base cem
DPMO	Defeitos por milhão de oportunidades	A quantidade de defeitos esperados para o processo em base milhão

A relação no nível sigma com o índice DPMO pode ser aproximada levando em consideração a equação (1) abaixo (SCHMIDT; LAUNSBY, 1997 apud BREYFOGLE, 2003). Esta equação leva em consideração o deslocamento da média de $1,5\sigma$, o que é normalmente considerado em programas Seis Sigma.

$$\text{Nível de qualidade sigma} = 0.8406 + \sqrt{29.37 - 2.221 \times \ln(DPMO)} \quad (1)$$

Para aumentar a capacidade de um processo é necessário reduzir sua variabilidade. Uma menor variação do output ajuda a empresa a prever seu processo, cumprir com a entrega

² Material didático oferecido pela consultoria de especialização de Belts da empresa, 2016.

e gerar menor retrabalho no processo. Consequentemente, diminui-se o custo de fabricação e aumenta-se a satisfação de seus clientes¹. A Figura 7 apresenta um exemplo de redução de variabilidade em um processo.

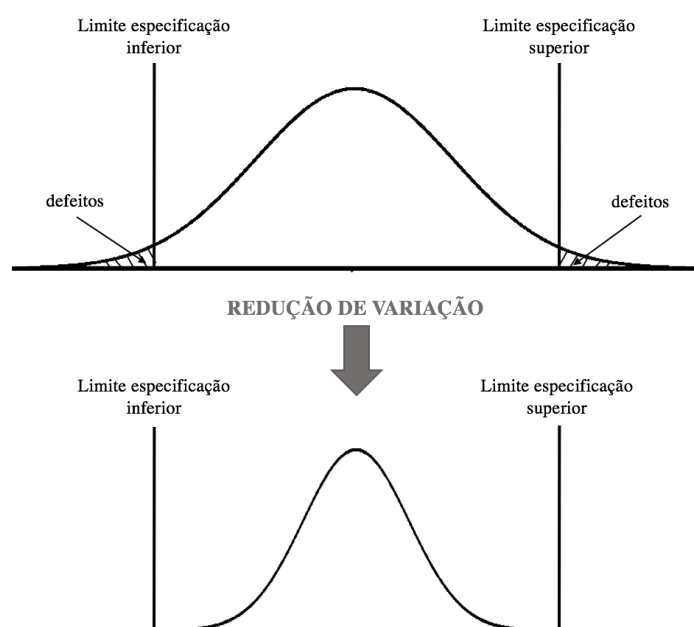


Figura 7 - Exemplo de redução de variabilidade em um processo

2.5.1.4. Cartas de Controle

A carta de controle organiza os dados em sequência temporal, os quais são plotados em um gráfico. Normalmente os gráficos possuem três linhas, uma que representa a média dos dados e duas que representam os limites de controle superior e inferior. Por padrão, os limites são definidos a um nível de três sigma acima e três sigma abaixo da média dos dados. Além disso, essas cartas podem conter os limites de especificação que são definidos conforme os requisitos do processo/produto¹. A Figura 8 apresenta dois exemplos de carta de controle.

Nestas cartas são identificadas as variações comuns de um processo, ou seja, aquelas variações previsíveis e que ocorrem diariamente devido às variações normais de um processo. Quando o processo é previsível e as variações só ocorrem devido as causas comuns, o processo é considerado em controle. São identificadas também variações imprevisíveis do processo, aquelas atreladas a causas especiais. Para definir se um processo está fora de controle existem algumas regras que podem ser seguidas (BREYFOGLE, 2003):

¹ Material Seis Sigma da empresa, 2005.

- Regra 1: se um único ponto estiver fora dos limites de controle;
- Regra 2: se dois de três pontos consecutivos estiverem a mais de dois desvios-padrão da linha central;
- Regra 3: se quatro de cinco pontos consecutivos estiverem a mais de um desvio-padrão da linha central;
- Regra 4: se oito pontos consecutivos estiverem do mesmo lado da linha central.

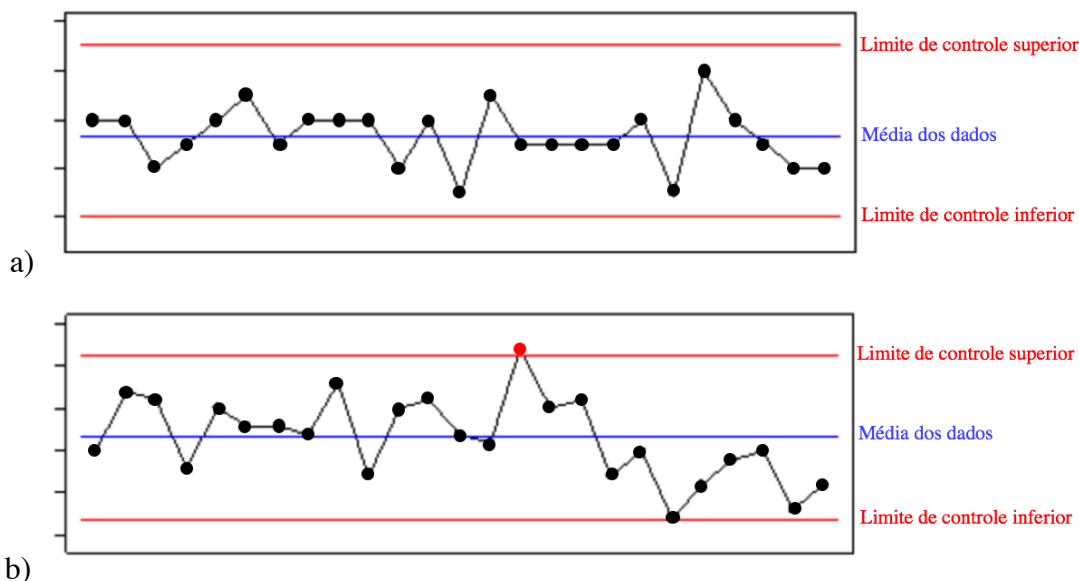


Figura 8 - Exemplos de carta de controle: a) Em controle e b) Fora de controle

A carta de controle é uma ferramenta que deve ser analisada frequentemente para que seja detectado o aparecimento de causas especiais e para possibilitar a correção dos problemas. Além disso, a carta de controle pode ser usada para fazer previsões da capacidade do processo e para analisar o efeito de uma melhoria implantada. Apesar de não ser a forma mais recomendada, a carta também pode ser utilizada para avaliar dados históricos, a fim de entender se o processo é estável ou não¹.

Existem diferentes tipos de carta de controle, como por exemplo, carta de controle individual, carta p, carta np, carta X-barra, entre outros. O tipo de gráfico a ser utilizado deve ser escolhido conforme o tipo de dado que está sendo analisado, discreto ou contínuo, e conforme os dados são coletados, individualmente ou em subgrupos. A carta de controle individual é a carta mais comumente usada e é escolhida quando os dados são contínuos e coletados individualmente³.

¹ Material Seis Sigma da empresa, 2005.

³ Help software Minitab® 17.

2.5.1.5. *Brainstorming*

A sessão de *brainstorming* é muito valiosa, a qual envolve o grupo para uma rápida geração de ideias criativas. É uma ferramenta que contribui com geração de sugestões sobre um tópico de interesse, o qual pode ser relacionado a qualquer tipo de questão (BREYFOGLE, 2003). Dessa forma, pode ser usado para identificar potenciais causas como também possíveis soluções para um problema. Existem diversas maneiras de guiar este tipo de sessão, podendo elas serem formais ou informais. Para executar esta sessão, um líder deve ser escolhido para guiá-la, nenhuma ideia pode ser criticada e todos os participantes do grupo devem dar sua opinião¹.

2.5.1.6. Diagrama de Causa e Efeito

É utilizado para identificar os fatores (causas) que podem afetar o resultado de um processo (efeito). Nesta ferramenta os fatores são definidos pelos 6M's: método, mão-de-obra, medidas, materiais, meio e máquina (WERKEMA, 2004). Cada um desses fatores é investigado em busca das sub-causas, as quais podem ser de fato uma causa ou potenciais causas para o determinado problema (efeito). Costuma-se usufruir desta ferramenta nas sessões de *brainstorming* efetuadas nos trabalhos em grupo. Além disso, pode ser uma ferramenta útil na definição dos fatores a serem considerados em uma análise de regressão ou em um DOE (BREYFOGLE, 2003).

2.5.1.7. Árvore de Falhas (FTA – *Fault Tree Analysis*)

A Árvore de Falhas é uma ferramenta visual e de fácil assimilação usada para fazer investigação aprofundada de um problema específico. Não é recomendada para avaliar cenários amplos, como o Diagrama de Causa e Efeito pode fazer. A investigação pode ser baseada no conhecimento técnico da equipe e/ou em dados coletados. Esta ferramenta ajuda a “blindar” o processo, pois a equipe levanta todas as possibilidades de causas antes de começar a investigar¹.

¹ Material Seis Sigma da empresa, 2005.

No topo da árvore (primeiro nível) fica a falha-topo. A medida que os níveis vão aumentando, as causas vão deixando de ser mais “genéricas” e se tornam mais específicas, até chegar no nível onde estão as causas raízes. Para facilitar o entendimento da relação das causas de nível abaixo com as de nível acima, pode-se usar as conjunções “E” e “OU” (BREYFOGLE, 2003). A conjunção “E” indica que todas as causas do nível abaixo precisam ocorrer para a de cima ocorrer; já a conjunção “OU” indica que qualquer uma das causas do nível abaixo ocorrendo pode ocasionar a de nível acima. A Figura 9 é um exemplo de árvore de falha que pode auxiliar no entendimento de sua estrutura.

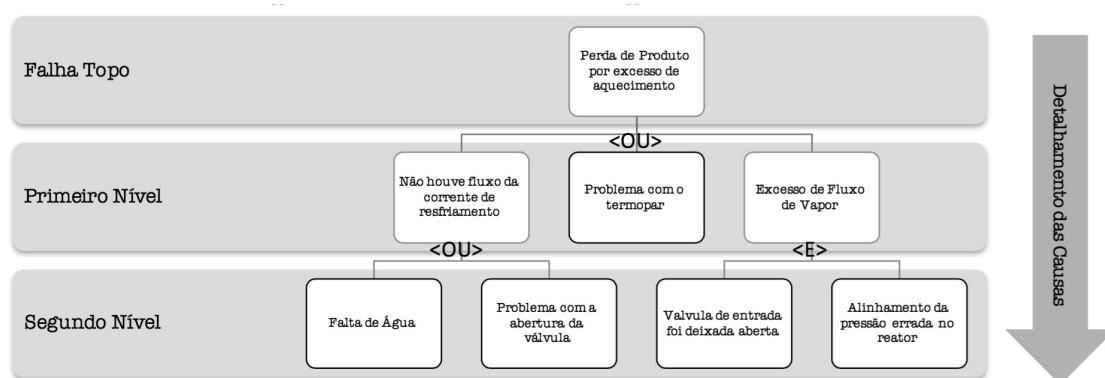


Figura 9 - Exemplo de uma Árvore de Falhas (adaptado Material didático oferecido pela consultoria de especialização de Belts da empresa, 2016)

2.5.1.8. DOE

É uma técnica com uma abordagem estruturada e eficiente que permite entender quais os efeitos das variáveis para uma determinada resposta. É uma ferramenta que auxilia na redução de variabilidade de um processo (BREYFOGLE, 2003).

Esta ferramenta é baseada em uma série de testes, nos quais as variáveis sofrem alterações aleatórias. A cada teste os dados são coletados. O DOE analisa estatisticamente esses dados e determina uma condição que otimiza o resultado do processo. Existem diversos tipos de experimentos (designs) que podem ser utilizados, como por exemplo, fatorial e superfície de resposta¹.

¹ Material Seis Sigma da empresa, 2005.

O experimento fatorial permite estudar os efeitos de diversos fatores sobre uma resposta. Todos os fatores são analisados de uma só vez, e isso permite analisar as interações entre eles³. Os experimentos fatoriais analisados em dois níveis são os mais comumente usados. Estes experimentos podem ser fracionados ou completos. Um experimento fatorial fracionado realiza uma fração dos experimentos fatoriais completos. Para o caso de um experimento fatorial completo e de dois níveis, o número de experimentos necessários é de 2^k , onde k é o número de fatores. O experimento de superfície de resposta pode ser usado para refinar os modelos após o experimento fatorial, principalmente quando existe uma suspeita de curvatura na superfície de resposta.

³ *Help* software Minitab® 17.

3. APLICAÇÃO DO SEIS SIGMA EM UMA LINHA DE PRODUÇÃO DE UMA INDÚSTRIA DE BEM DE CONSUMO

3.1. CONSIDERAÇÕES INICIAIS

O trabalho de investigação foi realizado em uma empresa de bem de consumo que autorizou a divulgação do trabalho com a condição de não citar seu nome e nem os detalhes confidenciais da empresa. Por essa razão, os nomes da empresa e do produto foram omitidos. A linha de produção estudada é responsável pelo corte e embalagem no processo de fabricação de um curativo adesivo. Trata-se da última de cinco etapas do processo de fabricação deste produto, por isso, a principal matéria prima desta linha é considerada como um semi-acabado.

Existem diversas maneiras de uma empresa buscar a redução de custo. A empresa estudada é uma multinacional, com processos de qualidade bem definidos, consolidada como *benchmarking* de outras empresas de bem de consumo. Atualmente, o foco de seu processo de manufatura para redução de custos é reduzir as perdas, tanto de eficiência como também das perdas contábeis da produção. A empresa em questão controla os desperdícios descritos acima através de três indicadores: tempo de *downtime*, perda física e perda contábil. É válido destacar que esses três indicadores representam o custo da não qualidade, portanto, quanto mais reduzidos forem, o processo será mais produtivo e terá menos defeitos.

O tempo de *downtime* representa o tempo em que a linha de produção parou por alguma razão, como por exemplo: falha, quebra, falta de matéria-prima, reunião, refeição, entre outras. A perda física é controlada turno a turno e o *input* do sistema para este controle é o peso de todo o produto rejeitado no processo, desconsiderando suas embalagens, uma vez que as embalagens não têm valor financeiro representativo. Já a perda contábil consiste na relação da quantidade, em unidade monetária, de produtos produzidos *versus* o consumo de matérias-primas. A perda contábil é controlada mensalmente e nela é possível observar a perda relacionada a todas as matérias-primas.

Um conceito mais detalhado da perda contábil pode ser analisado na Figura 10. Para cada processo existe o consumo necessário de matéria-prima para fazer certa quantidade de produto. Além disso, a perda padrão também é pré-definida, a qual considera a perda compulsória (perda pelo design do produto-processo) e a perda de processo padrão (perda já conhecida no processo de fabricação, como por exemplo, perda para ajustar a sincronia das

linhas e perda de emendas metálicas existente na matéria-prima). Muitas vezes a perda real é maior do que a perda padrão. Este estudo busca reduzir a diferença entre a perda real e a perda padrão.

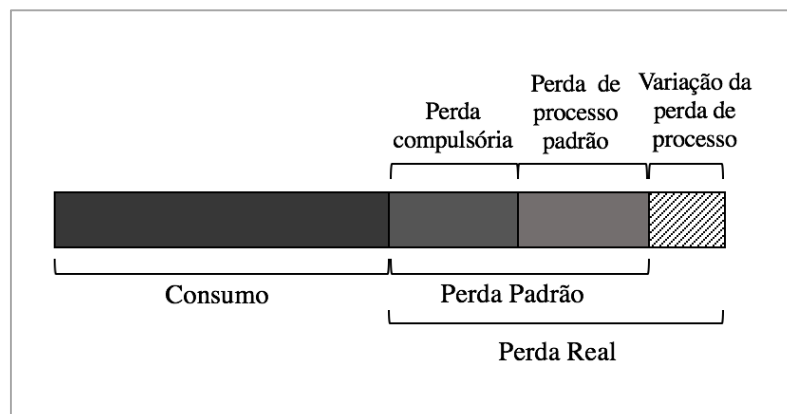


Figura 10 - Esquema perda contábil

Para melhor compreensão deste estudo deve-se conhecer o OEE (*Overall Equipment Effectiveness*), um dos principais indicadores utilizados nesta indústria para medir a eficiência dos processos. Abaixo observa-se a equação (2) do OEE⁴, que consiste na multiplicação de três fatores:

- ITO ou Disponibilidade - relaciona a quantidade de tempo produzindo com o tempo que deveria estar produzindo. É neste fator que o tempo de *downtime* (parada de máquina por mais de três minutos para este processo) é considerado.
- IPO ou Performance – relaciona o tempo de ciclo padrão com o tempo de ciclo real.
- IPA ou Qualidade - relaciona a quantidade de produtos bons com quantidade total produzida.

$$OOEE (\%) = ITO (\%) * IPO (\%) * IPA (\%) * 100 \quad (2)$$

$$ITO (\%) = \left(\frac{\text{tempo produzindo}}{\text{tempo programado}} \right) * 100\% \quad (3)$$

$$IPO (\%) = \left(\frac{\text{tempo de ciclo padrão}}{\text{tempo de ciclo real}} \right) * 100\% \quad (4)$$

$$IPA (\%) = \left(\frac{\text{quantidade de produtos bons}}{\text{quantidade total produzida}} \right) * 100\% \quad (5)$$

A motivação inicial deste trabalho foi a recorrência de parada de uma das linhas de produção devido a falta de semi-acabado: RH07. Esta problemática é caracterizada por dois

⁴ Material TPM da empresa.

efeitos: perda de eficiência (*downtime*) e possivelmente perda de produto, já que o semi-acabado provavelmente foi consumido mais do que o necessário. Ou seja, trata-se de uma questão que engloba os dois tipos de perdas que pretende-se diminuir o máximo possível. Após o alinhamento com a liderança da área iniciou-se o trabalho para investigação desse problema.

Por falta do entendimento da causa raiz do problema, foi escolhida a metodologia Seis Sigma para executar o projeto. Além disso, o projeto foi usado para certificação *Green Belt* e dispôs de uma consultoria de certificação e um *Black Belt* como suporte. A execução do projeto seguiu a rota DMAIC como método de investigação e proposição de soluções do problema, desta forma a apresentação do trabalho será feita seguindo as etapas Definir, Medir, Analisar, Implementar e Controlar.

3.2. DEFINIR

Como apresentado anteriormente, o escopo inicial do projeto seria a redução de desperdícios, mais especificamente, redução da perda de material e de tempo de *downtime* na linha RH07. Para consolidar a definição do projeto, fez-se inicialmente uma análise do impacto deste problema para a fábrica. Para isso, fez-se avaliações dos dados históricos relacionados a estes dois desperdícios de processo. Todos os dados coletados se referem a um período de um ano, relativo a junho de 2015 até maio de 2016.

O impacto da variação da perda contábil, perda real menos a perda padrão, de todas as linhas foi calculado e está representado no Diagrama de Pareto da Figura 11. Através deste diagrama é visível que a linha RH07, a qual se tem a intenção de estudar, é a sexta linha com maior variação de perdas contábeis em um total de dezesseis linhas. Apesar de não ser a mais crítica em relação à variação de perda contábil, a equipe do projeto decidiu manter a RH07 como escopo do projeto junto com o apoio da liderança.

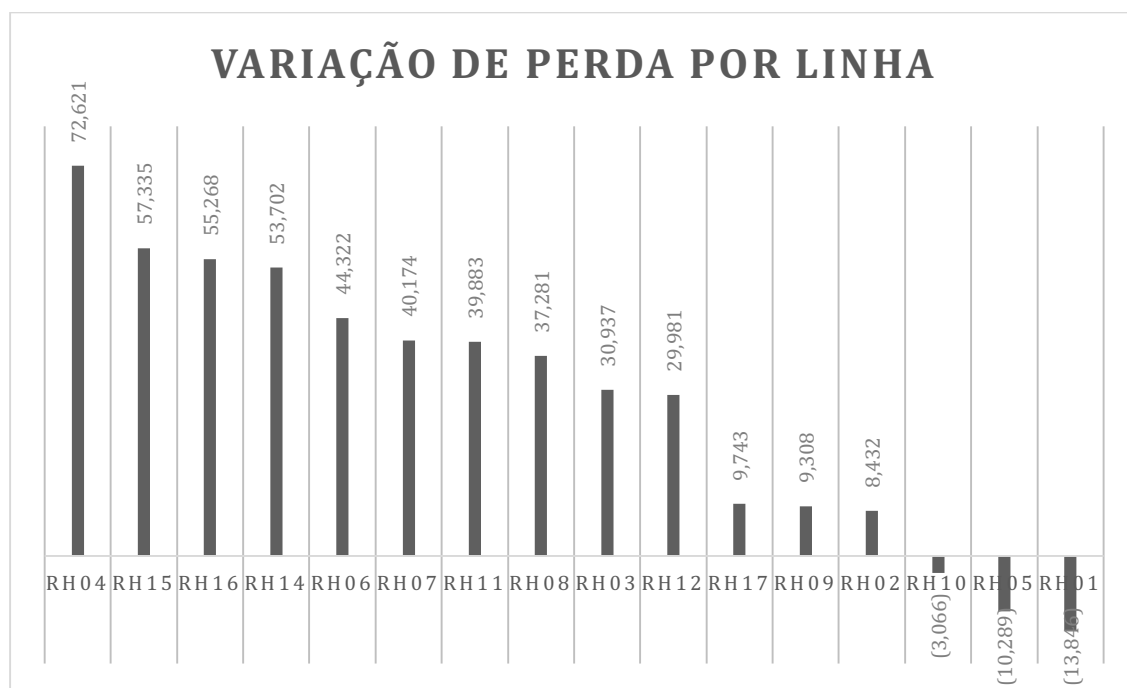


Figura 11 - Diagrama de Pareto – Variação de perda real em relação a perda padrão

Para especificar mais o escopo, foi feita uma análise dos produtos que mais perdiam na linha e, com isso, foi analisado qual seria o mais relevante ser considerado. Os produtos 1 e 2, são os líderes em relação à variação de perda contábil da linha estudada, como representado na Figura 12. O produto 1, responsável pela maior perda, não é mais produzido. Desde janeiro de 2016 o produto 2 entrou para substituí-lo e atualmente representa 65% da produção da linha analisada. O produto 2 apresenta características equivalentes ao produto 1, com diferença apenas em suas embalagens. Portanto, este foi o escolhido para ser estudado.



Figura 12 - Diagrama de Pareto - Produtos da RH07 com maiores variações de perda contábil em relação ao especificado.

Após a análise da variação da perda contábil em relação a perda padrão, fez-se a análise para avaliar quais eram os maiores motivos de *downtime* da RH07. A partir do Pareto representado na Figura 13, foi possível perceber que a falta de semi-acabado é o terceiro maior causador do *downtime* da RH07, sendo que o primeiro deles não é possível alterar e o segundo já está sendo tratado por outras áreas da planta.

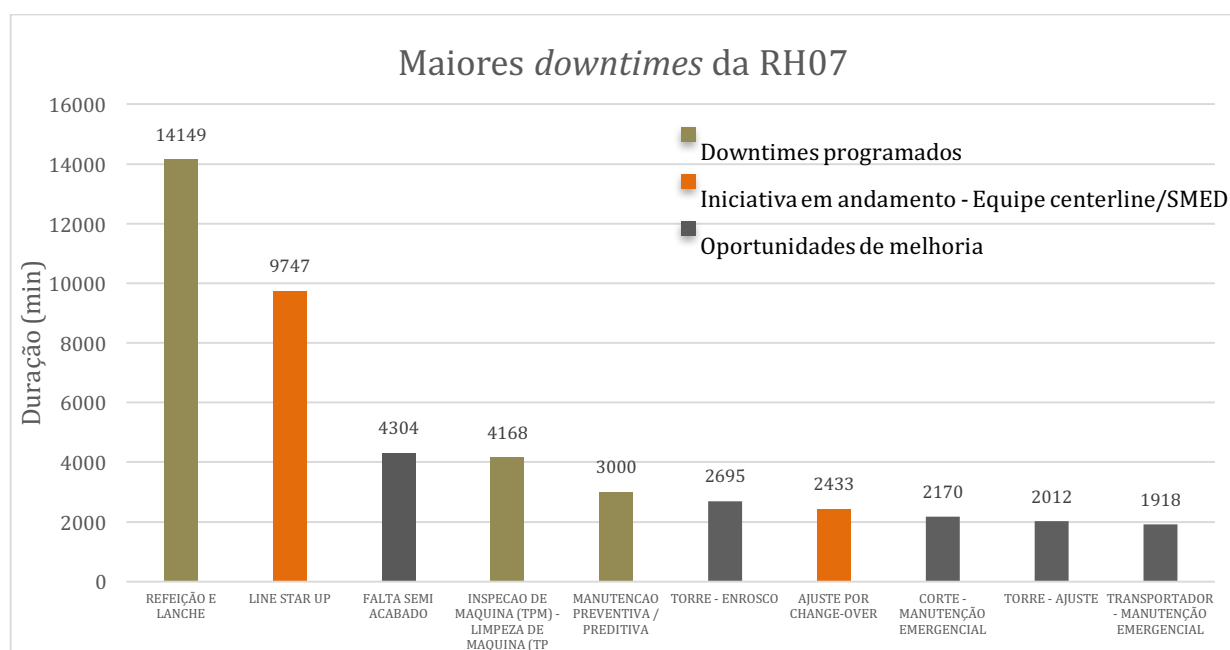


Figura 13 - Diagrama de Pareto - maiores tempos de *downtime* da linha RH07.

A partir dessas análises iniciais, o escopo do projeto ficou definido como a redução de desperdício, por meio da redução no *downtime* por falta de semi-acabado e diminuição da variação da perda contábil em relação a perda padrão, referente ao produto 2 produzido na linha RH07.

Para um melhor entendimento do processo da RH07, fez-se o SIPOC do processo (Figura 14). Como pode-se perceber, o produto 2 contém quatro tipos de curativos adesivos (semi-acabados) em uma embalagem primária. O processo desta linha consiste basicamente em cortar os semi-acabados em unidades, pois eles vêm de um processo anterior ligados entre si, e acondicioná-los com as quantidades corretas nas embalagens primárias (caixas que vão para as gôndolas) e secundárias (caixas de embarque). A linha é operada por apenas um operador a cada turno e normalmente roda durante os três turnos.

<i>SUPPLIER</i>	<i>INPUT</i>	<i>PROCESS</i>	<i>OUTPUT</i>	<i>CUSTOMER</i>
FORNECEDORES	ENTRADAS	PROCESSO	SAIDAS	CLIENTE
Processo antecedente	Semi-acabados 1, 2, 3 e 4	Corte semi-acabados 1, 2 e 3 no módulo roto	Produto final acondicionados em pallets	Depósito
Fornecedores externos	Embalagem primária	Corte semi-acabado 4 no módulo single	Resíduos	CRR
	Embalagem secundária	Transferência dos semi-acabados 1, 2 e 3 cortados para o recipiente que contém o semi-acabado 4		
	Cola	Transferência dos produtos para a embalagem primária		
	Fita adesiva	Fechamento da embalagem primária		
	Filme de plástico encolhível	Checação de quantidade de produtos/embalagem na balança		
		União de seis embalagens primárias através do filme plástico encolhível		
		Transferência dos pacotes de embalagem primária para embalagem secundária.		
		Fechamento da embalagem secundária		
		Palletização manual		

Figura 14 - SIPOC Processo RH07

3.3. MEDIR

Os dados foram coletados de dois softwares existentes na empresa: SAP, o qual fornece os valores de perda contábil, e o PDA, que controla os indicadores de OEE e a perda física. Ambos os softwares usados para coletas de dados são confiáveis e robustos. A diferença entre eles é que as entradas e saídas de dados do PDA ocorrem a cada turno, já no SAP ocorre por ordem de produção, a qual não possui tempo definido.

Como pode ser observado na Tabela 5, três valores de entrada são dependentes de ação humana: quantidade de produtos rejeitados, quantidade de matéria-prima inserida na linha e quantidade de produtos produzidos na linha. Para esses valores de entrada existem processos de verificação (*double check*) dos dados para evitar erros na inserção dos dados. Os dados analisados nesta etapa foram extraídos no período de janeiro de 2016 a maio de 2016, período

de produção do produto 2, e para realizar as análises estatísticas utilizou-se os programas Minitab e Excel.

Tabela 5 - Software de captação de dados - seus *inputs* e *outputs*

Software	Input de dados	Responsável pelo Input de dados	Output (Indicadores)
PDA	Tempo de parada de máquina	Automático	ITO (%), IPO (%), IPA (%), OEE (%) e Perda Física (%)
	Velocidade de produção linha	Automático	
	Quantidade de produtos fabricados	Automático	
	Quantidade de produtos rejeitados	Operação	
SAP	Quantidade de matéria-prima inserida na linha	Preparadores de materiais	Perda Contábil Real (% e R\$) e Perda Contábil Padrão (% e R\$)
	Quantidade de produtos produzidos na linha	Preparadores de materiais	

3.3.1. ENTENDENDO O COMPORTAMENTO ATUAL

Para avaliar qual é a probabilidade de um defeito ocorrer no processo atual, ou seja, seu desempenho, fez-se análise da capacidade. O defeito neste contexto significa o percentual de perda estar superior ao padrão. Esta análise só foi feita para a variável perda física, pois era a única que apresentava uma base de dados históricos com mais de cinquenta amostras, número desejado para se ter uma análise representativa da capacidade do processo.

Como a perda física percentual esperada deste processo é de 1% e não é possível que ela seja menor do que zero, os limites de especificação inferior e superior do percentual de perda física deste processo são 0 e 1, respectivamente. Dessa forma, o comportamento esperado é uma curva normal assimétrica ou unilateral, como pode ser observado na Figura 15.

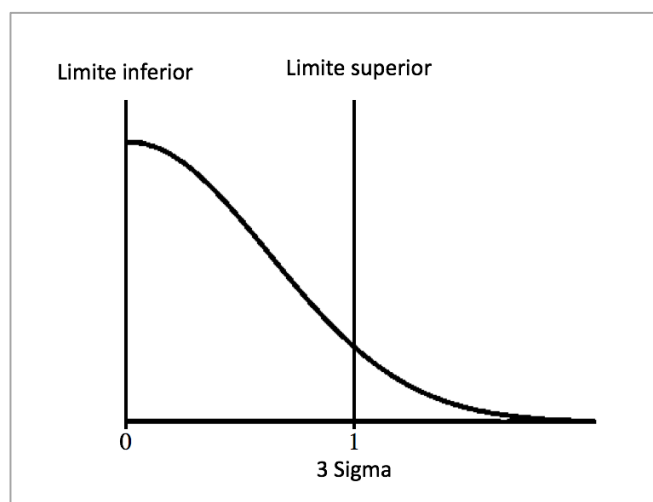


Figura 15 - Curva normal unilateral - comportamento esperado da perda física percentual

A análise de capacidade do processo em relação ao percentual de perda física foi feita usando o software Minitab. O resultado da análise está representado na Figura 16. Pode-se observar que o Cpk do processo analisado é de 0,05 e o DPMO é 172.043, o que representa um nível sigma de 2,45. Estes resultados indicam que o processo tem uma baixa capacidade de atender às especificações, ou seja, há uma grande chance de ocorrer defeito.

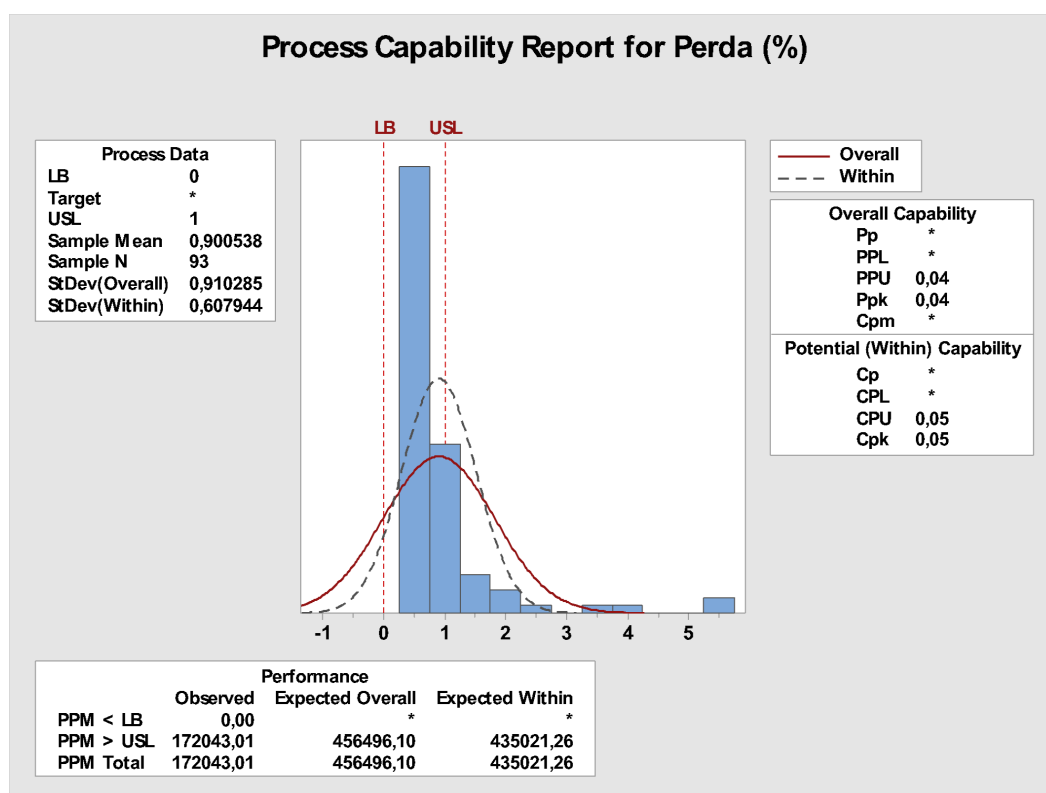


Figura 16 - Análise capacidade da perda física percentual do produto 2 na linha RH07

Além da capacidade do processo, foi construída a carta de controle dos dados históricos de perda física do produto 2, na linha RH07, para avaliar se o processo está estável ou instável. Os dados foram extraídos do PDA e a carta de controle foi feita no Minitab. A análise foi feita utilizando a Carta de Valores Individuais, pois os dados de percentual de perda física são dados contínuos e coletados individualmente. A carta está representada na Figura 17, onde se observa a presença de quatro pontos fora do limite de controle. A presença de pontos fora do limite de controle mostra que se trata de um processo instável.

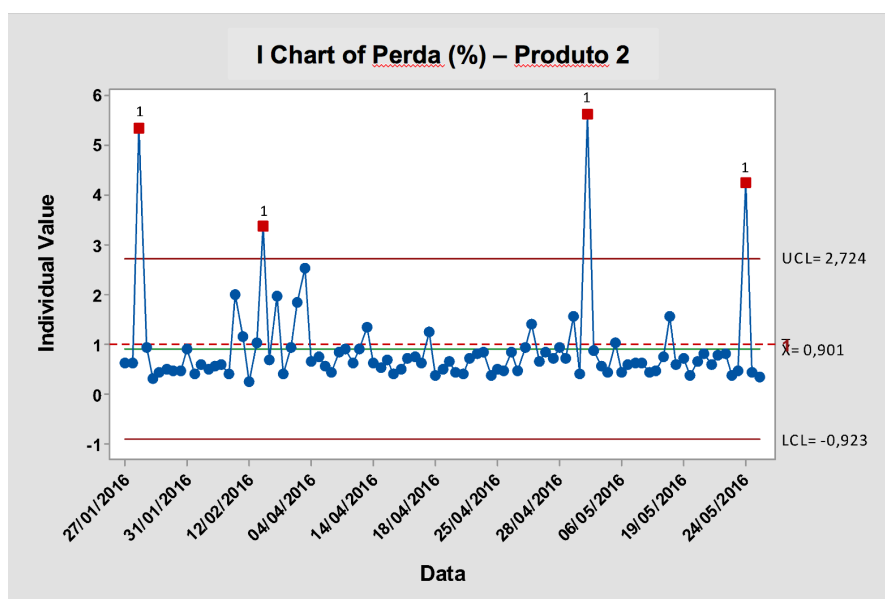


Figura 17 - Carta de controle da perda física percentual do produto 2 na linha RH07

3.3.2. ANÁLISE ECONÔMICA

O estudo do possível retorno financeiro levou em consideração o retorno referente aos dois problemas prioritários definidos na etapa anterior: *downtime* por falta de semi-acabado e perda de produto no processo, referentes ao produto 2 na linha RH07.

Estudos feitos pelo *black belt* da área determinaram que para o incremento de um ponto percentual de OEE há um potencial de redução de custo de R\$22.103 para a linha RH07 no período de um ano. Determinou-se então a quantidade de pontos percentuais de OEE a menos causado pela parada da máquina devido a falta de semi-acabado e, encontrou-se o valor de 1,37 pontos percentuais. Esse valor foi encontrado a partir da inserção dos valores de ITO(%), IPO(%) e IPA(%) coletados no PDA em um simulador desenvolvido pela engenharia de processo, em que se obtém qual a quantidade equivalente em pontos percentuais de OEE para cada um desses indicadores. Através do PDA também é possível

extrair o tempo de *downtime* total deste período analisado, bem como o tempo de *downtime* devido a parada de máquina por falta de semi-acabado. Fez-se então uma regra de três para encontrar o valor de ponto percentual de OEE equivalente a parada de máquina por falta de semi-acabado no período analisado. Desse modo, há uma oportunidade de redução de custo equivalente a R\$30.296 em um ano, caso a parada de máquina por falta de matéria-prima seja esgotada. No entanto, a meta da planta é que esta causa de parada de máquina tenha um impacto máximo de 0,30 pontos percentuais de OEE. Portanto, se a meta for alcançada, o impacto financeiro será equivalente a R\$23.650 em um ano.

Já para a análise de perdas, como vimos na Figura 12, o produto 2 apresenta uma perda de R\$10.827 acima do especificado (padrão). O gráfico apresenta o histórico de apenas cinco meses do produto 2, já que fabricação iniciou em janeiro de 2016. Portanto, como o volume do produto não varia consideravelmente mês-a-mês, pode-se dizer que ao anualizar proporcionalmente este valor, o produto 2 apresenta uma perda anual de aproximadamente R\$26.985 acima do valor de perda padrão.

Portanto, o escopo deste projeto possibilita uma redução de custo de R\$50.635 em um ano.

3.3.3. ESTUDO DOS PROBLEMAS PRIORITÁRIOS

Para verificar se o comportamento dos problemas prioritários é influenciado pela mudança do time operacional, fez-se um gráfico de *boxplot*. O time operacional tem três operadores, um para cada turno de produção, e essa análise vai comparar a performance entre eles.

O estudo foi feito somente com os dados de perda física, pois este é o único indicador que apresenta dados suficientes para uma análise efetiva dos dados históricos. Como a perda contábil só é controlada mês a mês e a produção do produto 2 estudado iniciou-se somente em janeiro, não possuímos dados históricos suficientes deste indicador para realizar as análises. Contudo, foi feita uma análise mês a mês comparando a perda física *versus* a perda contábil para avaliar se os comportamentos de ambas as curvas se encontram em sincronismo, conforme o esperado.

A Figura 18 faz a comparação da performance entre os diferentes operadores através do *boxplot*. Percebe-se que a performance do operador A é a melhor, possuindo apenas alguns pontos *outliers* fora do valor esperado (1%). Já o operador C apresentou a pior performance:

maior mediana, maior variação e mais pontos fora do especificado. Este resultado faz sentido uma vez que o operador A é o único com experiência avançada para operar a linha RH07, o operador B e C eram de outras linhas e foram transferidos para a RH07 neste ano. A diferença da performance dos operadores B e C pode ser justificada pela diferença nos horários em que eles operam, o operador C trabalha no turno da noite, caracterizado por uma equipe de suporte reduzida.

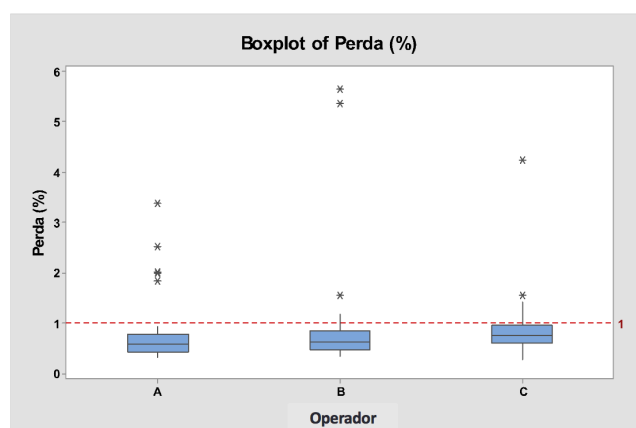


Figura 18 - *Boxplot* - Análise perda física percentual do produto 2 na linha RH07 em relação ao operador

A análise do sincronismo entre a perda física e a contábil pode ser observada na Figura 19. A partir desta análise foi possível perceber que o comportamento da perda contábil está em um nível superior ao da perda física. Além disso, percebeu-se que os comportamentos de ambas as curvas não estão em sincronismo, ou seja, o incremento da perda de um mês para outro na perda física não significa que a perda contábil também vai sofrer um incremento.

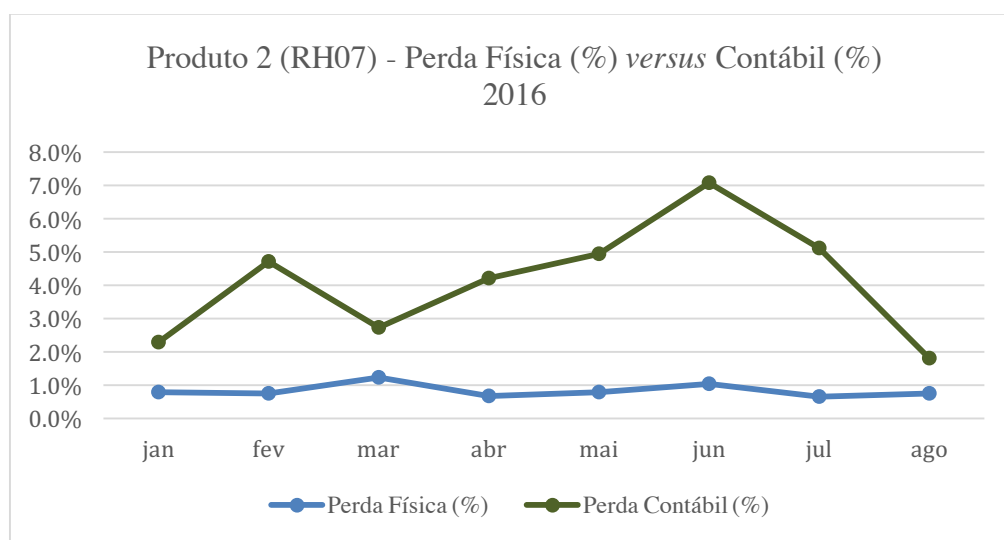


Figura 19 - Comparação mês a mês do percentual da perda física *versus* a contábil dos semi-acabados do produto 2

Além das análises acima, um diagrama de dispersão foi feito para avaliar a relação entre os indicadores de perda física percentual *versus* ITO (disponibilidade). Como foi explicado na introdução do problema, a disponibilidade está refletindo o tempo de máquina parada por *downtime*. Por consequência, a Figura 20 está avaliando qual a relação entre a perda de produto e *downtime*.

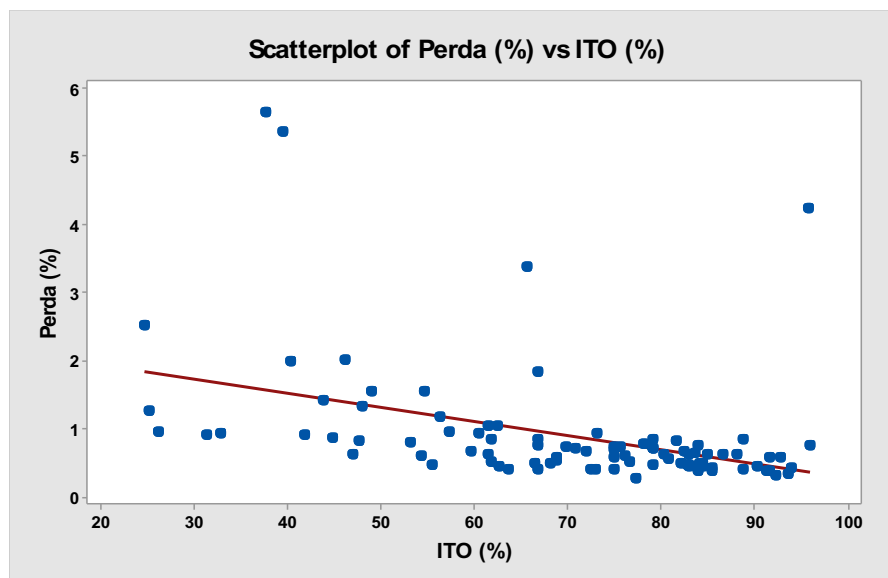


Figura 20 - Diagrama de dispersão do da perda física percentual *versus* a disponibilidade da linha RH07

Através desta análise percebeu-se que os indicadores sofrem uma correlação direta, ou seja, conforme o tempo de *downtime* diminui (ou, conforme ITO (%) aumenta), a perda física percentual também sofre queda.

3.4. ANALISAR

3.4.1. BRAINSTORMING – DEFINIÇÃO POTENCIAIS CAUSAS

A equipe do projeto foi reunida com o intuito de identificar as causas potenciais dos problemas prioritários: perda de material e parada de máquina por falta de semi-acabado. A Figura 19 mostrou que os dois problemas prioritários possuem uma relação direta, portanto a equipe decidiu analisar somente a questão de perda de eficiência por falta de semi-acabado. Esta escolha foi feita pela possibilidade de a perda de material ser uma das causas da falta de semi-acabado.

Como ferramenta de auxílio para a busca das causas raízes, fez-se uma rodada de *brainstorming* e, em seguida, as causas potenciais encontradas foram organizadas em um diagrama de causa e efeito, como pode ser observado na Figura 21.

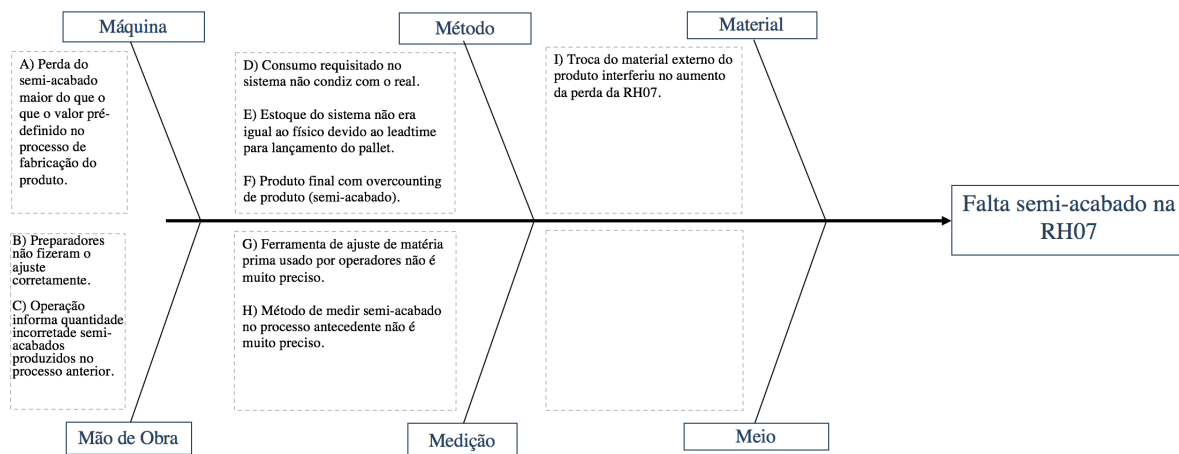


Figura 21 - Diagrama de causa e efeito – definindo potenciais causas da falta de semi-acabado da RH07

Foram encontradas nove causas potenciais do problema de falta de semi-acabado na linha RH07, então a equipe se dividiu para avaliar quais delas eram reais ou somente potenciais causas desse problema. Após análise percebeu-se que os itens “A”, “F” e “G” foram classificados como os únicos que atualmente ocorrem na RH07, sendo esses os possíveis causadores do problema.

O item “G”, está relacionado ao atual processo de ajuste de matéria-prima (semi-acabado), que é feito através de um gabarito que possui uma tolerância de 6%. A falta de precisão da ferramenta de ajuste já era um fator conhecido pela equipe e este item não será levado adiante neste projeto, pois já está sendo implementado na linha um novo sistema de medição de matéria-prima.

Posteriormente, a equipe do projeto investigou a fundo os itens “A” e “F”. Ambos os itens se referem a perda de semi-acabado. Analisando a Figura 19, faz sentido considerar o *overcounting* como sendo uma das causas da perda do semi-acabado ser maior do que a perda padrão. Isso ocorre uma vez que o *overcounting* é somente detectado analisando a perda contábil e não é possível detectá-lo pela análise da perda física.

Para comprovar a existência de *overcounting* na linha foram feitas duas auditorias de produto, que consistem em um processo da área da qualidade da empresa estudada. Na auditoria é feita uma contagem aleatória dos produtos contidos nas embalagens primárias, que

pode ser vista nos Anexos A e B. O resumo dos resultados encontrados nas auditorias foi organizado na Tabela 6.

Tabela 6 - Resultado auditoria produto 2 - Verificação de *overcounting*

	Semi-acabado 1	Semi-acabado 2	Semi-acabado 3	Semi-acabado 4
Quantidade correta por embalagem primária	14	30	34	2
Porcentagem de amostras com <i>overcounting</i> de produtos	38%	44%	52%	11%
Percentual de uso a mais de semi- acabado devido ao problema do <i>overcounting</i>	2,7%	1,5%	1,5%	5,5%

Através dos resultados encontrados pode-se concluir que o *overcounting* era realmente um problema encontrado na linha RH07. Vale ressaltar que para o problema de *downtime* por falta de material, o *overcounting* do semi-acabado 4 é o mais relevante. Por mais que a porcentagem de ocorrências seja menor, o número de produtos por embalagem primária é menor do que os outros, portanto o efeito de um produto a mais é maior, podendo interferir mais rapidamente na falta de semi-acabado. Matematicamente, 11% das embalagens com um semi-acabado 4 a mais reflete no uso de 5,5% a mais deste semi-acabado no total. Já para o semi-acabado 3, 52% das embalagens com um semi-acabado a mais reflete no uso de 1,5% a mais deste semi-acabado.

A partir das análises feitas, a equipe decidiu atuar na redução de *overcounting* dos semi-acabados. Como forma de “blindar” o processo, a equipe fez uma árvore de falhas para o problema analisado, que pode ser vista na Figura 22. A árvore de falhas é uma investigação mais aprofundada que apresenta todas as possíveis causas raízes do problema. Como foi analisado anteriormente, a maioria dessas causas levantadas não ocorrem atualmente na linha RH07. Porém, o mapeamento de todas as causas raízes é importante, já que algumas ações de melhoria podem ser sugeridas para garantir que esses fatores não afetem futuramente o processo.

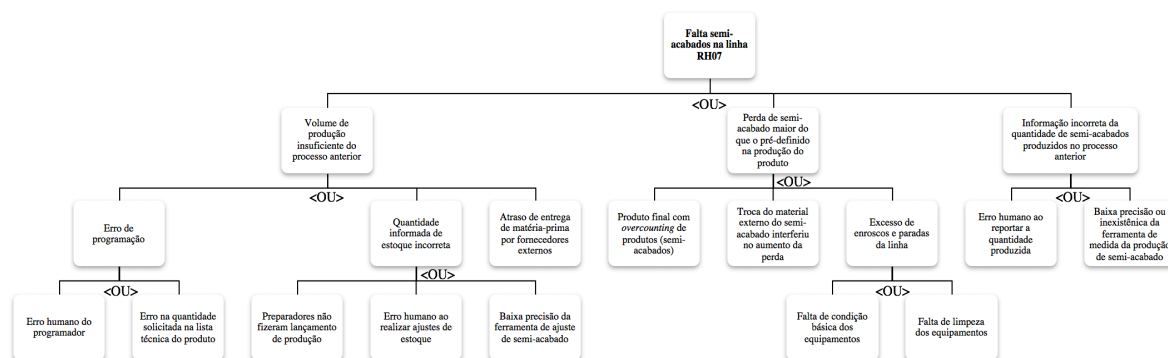


Figura 22 - Árvore de Falhas - falta de semi-acabado na RH07 (figura expandida no Anexo C)

3.5. IMPLEMENTAR – REDUÇÃO DO *OVERCOUNTING* DE PRODUTOS

Considerando todas as análises e estudos realizados, conclui-se que para atender o escopo e objetivo do projeto, é necessário acabar com a causa raiz encontrada: *overcounting* de produtos. O *overcounting* de produtos ocorre no momento do corte dos produtos, onde controla-se a quantidade cortada e enviada para a embalagem primária. Então, foi necessário atuar nos módulos de corte da linha. Como pôde ser observado no SIPOC (Figura 14), a linha RH07 possui dois módulos de corte: o *rotocut*, que é responsável por cortar os semi-acabados 1, 2 e 3, e o *single cutter*, responsável por cortar o semi-acabado 4.

3.5.1. SEMI-ACABADOS 1, 2 E 3

Devido à percepção da problemática do *overcounting* de produtos na RH07, outras linhas da mesma planta também foram investigadas e foram identificadas mais quatro que apresentavam a mesma problemática. Das cinco linhas com o problema, somente a RH07 apresentava dois módulos de corte. Nas demais linhas, o único módulo de corte existente é o *rotocut*.

Para o módulo *rotocut* a resolução do problema é simples e conhecida: um programador deve refinar o programa deste módulo de corte para que essas variações de sincronismo não ocorram mais. Ao apresentar os dados encontrados, a liderança da planta aceitou fazer o investimento no programador para eliminar este problema.

3.5.2. SEMI-ACABADO 4

Como afirmado acima, o semi-acabado 4 é cortado no módulo *single cutter*. Na Figura 23, pode-se observar o esquema da transferência do produto do módulo de corte *single cutter* até a saída para a embalagem primária. Os semi-acabados 4 cortados ficam verticalmente organizados em um dispositivo de armazenagem, então a esteira a vácuo puxa o produto e arrasta até a esteira de arraste, a qual irá arrastar o produto até a saída do módulo de corte. O sensor de passagem é programado para deixar passar dois produtos por embalagem primária. Quando passam dois produtos, a esteira de arraste para até que chegue a próxima embalagem. O dispositivo amortecedor de saída possui uma mola e uma borracha, e é responsável por travar o próximo produto quando a esteira de arraste estiver parada.

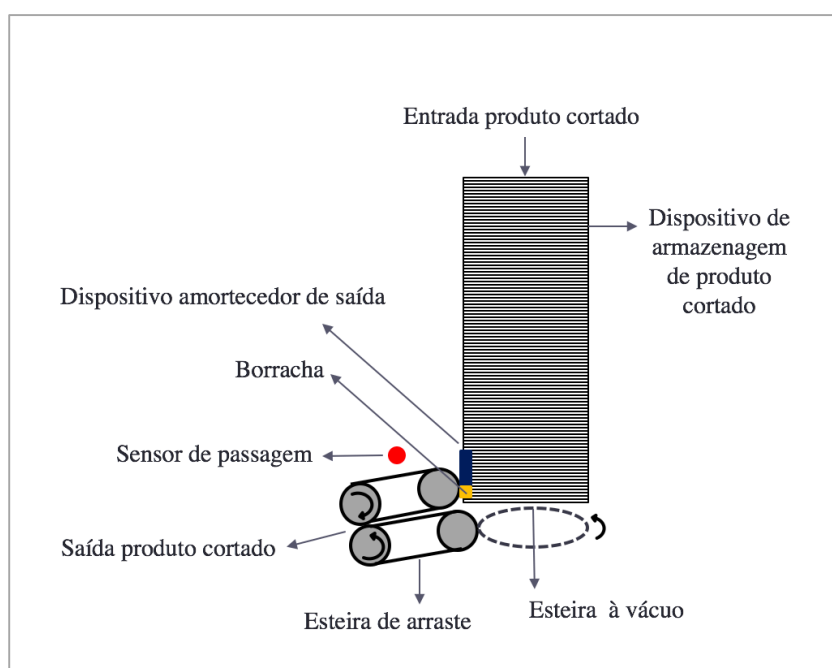


Figura 23 - Esquema funcionamento transferência do semi-acabado 1 no módulo *single cutter*

As variáveis deste módulo de corte não possuíam nenhuma parametrização de ajuste, não havendo método formal para controlar a quantidade de produtos enviados para a embalagem primária.

A equipe percebeu que para tratar o problema era necessário parametrizar as variáveis de ajuste do módulo de corte de uma forma que minimize a porcentagem de defeitos encontrados, ou, de forma que maximize o número de embalagens primárias com apenas duas unidades do semi-acabado 4. Para isso, inicialmente fez-se uma reunião para levantar as variáveis do processo do módulo *single cutter*, as quais foram listadas a seguir:

1. **Pressão do vácuo da esteira à vácuo** – variável contínua, que pode ser variada de 10 a 50psi. Os valores podem facilmente ser alterados pela operação;
2. **Velocidade da esteira de arraste** – variável discreta, controlada por um potenciômetro onde somente eletricitas podem mexer e somente dois valores podem ser usados para não gerar falta de sincronismo na linha, 90V e 150V;
3. **Altura da posição do dispositivo amortecedor de saída** – variável discreta, pode ser controlada pela operação, somente dois valores podem ser usados: 23,5mm e 24,0mm;
4. **Gramatura do semi-acabado 4** – variável discreta e incontrolável, depende da variação de matéria-prima do fornecedor;

3.5.2.1. Definição dos testes e amostragem – Parametrização

Inicialmente foi realizado um plano de experimento para avaliar as três variáveis controláveis do processo de corte da *single cutter*: pressão do vácuo da esteira à vácuo, velocidade da esteira de arraste e altura da posição do dispositivo amortecedor de saída. O plano de execução dos testes está representado na Tabela 7. Apesar da gramatura do produto não ser uma variável controlável, durante os testes foi monitorada a gramatura dos semi-acabados 4 para garantir que todos os testes estavam na mesma condição.

Tabela 7 - Desenho dos testes para parametrização módulo *single cutter*

Altura mínima do dispositivo amortecedor de saída			
	Pressão do vácuo mínima	Pressão do vácuo média	Pressão do vácuo máxima
Velocidade mínima da esteira de arraste	Teste 1	Teste 2	Teste 3
Velocidade máxima da esteira de arraste	Teste 4	Teste 5	Teste 6

Altura máxima do dispositivo amortecedor de saída			
	Pressão do vácuo mínima	Pressão do vácuo média	Pressão do vácuo máxima
Velocidade mínima da esteira de arraste	Teste 7	Teste 8	Teste 9
Velocidade máxima da esteira de arraste	Teste 10	Teste 11	Teste 12

Para definição de amostragem foi utilizada a norma ABNT NBR 5426 – Plano de amostragem e procedimentos na inspeção por atributos. Para o NQA (Nível de Qualidade Aceitável) e o nível geral de inspeção foram mantidas as mesmas condições já utilizadas pela empresa na avaliação de conformidade em relação a quantidade de produtos por embalagem. Mais especificamente, quando a embalagem apresenta uma quantidade menor de produto do que a especificada ela está não conforme e uma investigação é feita pela área da Qualidade da empresa para tratar a causa. Apesar de a presença de produtos extras na embalagem não ser uma não conformidade para a Qualidade, pelo olhar da equipe do projeto esta problemática deveria ser tratada com a mesma severidade devido aos seus danos à eficiência do processo.

Sabendo que NQA é 0,10, o tamanho do lote do produto 2 na linha RH07 é de 7.200 embalagens primárias e o nível considerado para a quantidade de produtos na embalagem é o Nível Geral de Inspeção I, o tamanho de amostragem necessário para garantir a qualidade desejada é de 125 amostras em cada um dos testes. Para o processo oferecer a qualidade esperada, todas as amostras analisadas não devem possuir defeitos. Se apenas uma das amostras tiverem defeito, este processo não apresentará a qualidade requerida por esta metodologia.

3.5.2.2. Resultado testes e DOE – Parametrização

Os testes foram realizados em diferentes dias e em todos eles a gramatura do produto se manteve com valor constante. Devido ao alto número de dados colhidos nos testes, para cada teste foram analisadas 125 amostras, os mesmos serão representados de forma resumida na Tabela 8. A tabela mostra a quantidade de amostras com defeito, ou seja, o número de embalagens primárias que tinham quantidades do semi-acabado 4 acima do especificado. Em nenhuma das amostras havia uma quantidade de semi-acabado 4 abaixo do especificado, portanto, todas estavam conformes. Nos testes 1 e 7, a velocidade de funcionamento do módulo *single cutter* se apresentou insuficiente para o sincronismo da linha.

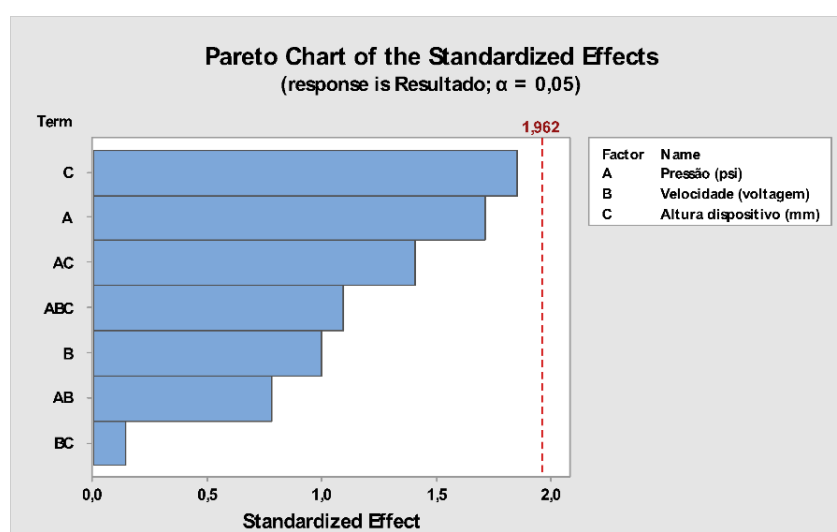
Tabela 8 - Resumo dos resultados obtidos nos testes de parametrização do módulo *single cutter*

Quantidade de amostras com defeitos (unidades)			
Altura do dispositivo amortecedor de saída = 23,5mm			
Velocidade / Pressão	10 psi	30 psi	50 psi
90 V	-	2	6
150 V	2	4	4

Quantidade de amostras com defeitos (unidades)			
Altura do dispositivo amortecedor de saída = 24 mm			
Velocidade / Pressão	10 psi	30 psi	50 psi
90 V	-	0	0
150 V	2	0	1

Para avaliar os dados coletados e definir qual é a melhor configuração do módulo de corte *single cutter*, fez-se uma análise DOE no Minitab. Além de obter configuração de fatores que otimizem o resultado, o DOE auxilia a entender como os fatores críticos de um processo interferem no resultado do mesmo.

Na Figura 24 podemos observar que a altura do dispositivo do amortecedor de saída é a variável que mais impacta o resultado, e a segunda variável mais relevante é a pressão do vácuo.

Figura 24 - Análise do impacto das variáveis de ajuste do módulo de corte *single cutter* em relação ao resultado do processo

A partir da análise de correlação das variáveis em relação ao resultado analisado (Figura 25), percebeu-se que se a altura do dispositivo amortecedor de saída for 23,5mm, quanto menor for a velocidade da esteira de saída e a pressão do vácuo, mais próximo ao resultado será. Caso a altura do dispositivo amortecedor for 24mm, o comportamento ideal encontra-se em uma situação mediana dos valores de velocidade da esteira de saída e pressão do vácuo. Como somente a pressão do vácuo é um dado contínuo, este é o único parâmetro que pode ser parametrizado em seu valor ideal.

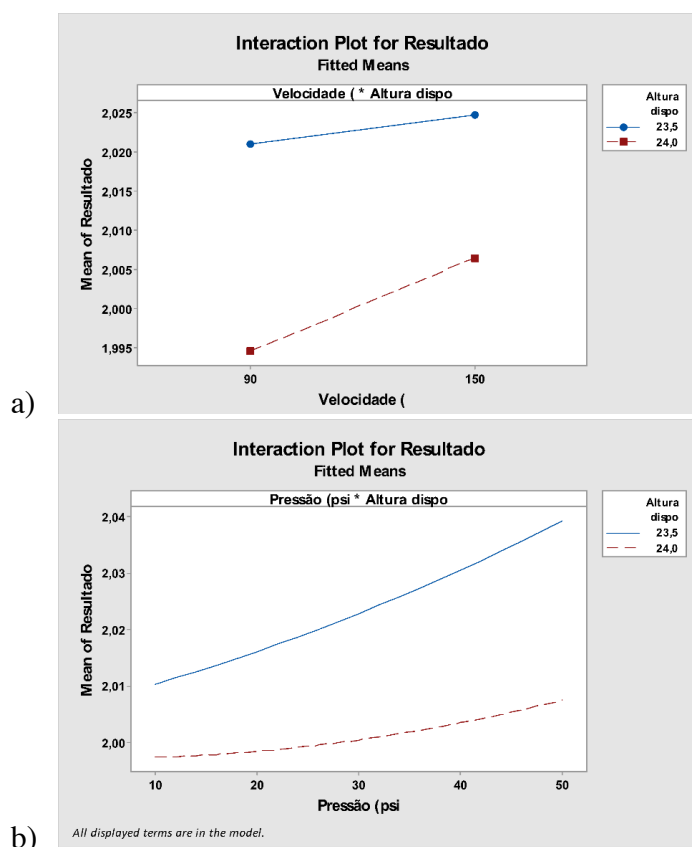


Figura 25 - Análise DOE - relação dos fatores velocidade (a) e pressão (b) em relação à altura do dispositivo amortecedor de saída

Ao analisar a Tabela 7 conclui-se que três configurações atenderiam as expectativas. Porém, somente após a análise do DOE podemos definir qual é a ideal. Isto pode ser observado na Figura 26.

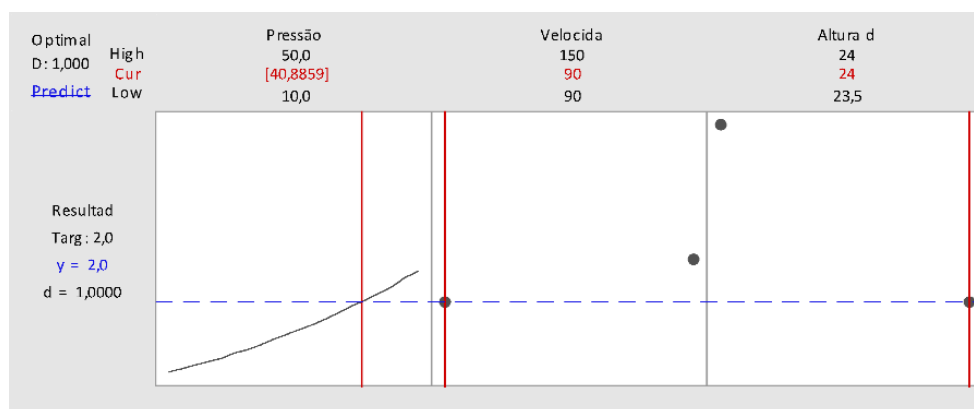


Figura 26 - Análise DOE - Configuração ideal para os fatores críticos analisados

Através da análise estatística foi possível definir os parâmetros de trabalho do módulo de corte *single cutter*:

- Pressão = 41 psi
- Velocidade = 90 V
- Altura do dispositivo amortecedor de saída = 24 mm

Os parâmetros definidos foram passados para a equipe de parametrização da planta, que irá instruir a operação para o novo processo bem como treiná-los a ficar sempre atentos às possíveis variações de resultados.

3.5.3. RECOMENDAÇÕES DE INICIATIVAS FUTURAS

O escopo do projeto realizado foi estreito devido ao tempo disponível para sua realização, dessa forma não foi possível realizar todas as ações necessárias para tornar o processo da linha RH07 estável e com a qualidade processual nível Seis Sigma. A seguir serão listadas algumas sugestões de melhoria que poderão contribuir para o aumento do nível sigma do processo desta linha.

1. Investigar quais as causas raízes da parada de máquina gerada por enrosco de torre e atacá-las, se possível, ou mapeá-las para no futuro serem tratadas.
2. Criar plano de contenção analisando todas as possíveis causas raízes da parada de máquina por falta de semi-acabado, as quais foram mapeadas na árvore de falhas.
3. Controlar a efetividade da parametrização do módulo *single cutter* e não esquecer que todos os testes foram realizados com produtos de mesma gramatura. Caso a gramatura sofra variação, é importante controlar a quantidade de saída dos

produtos, que pode ser afetada, e gerar novos parâmetros para atender a esta variação, se necessário.

3.6. CONTROLAR

Para uma conclusão de um projeto Seis Sigma é necessário que se faça o controle dos indicadores tratados após a implementação das melhorias, a fim de verificar se as atuações foram realmente efetivas. Esta fase não pôde ser realizada a tempo de ser exibido neste trabalho, devido ao curto tempo disponível de atuação na empresa. No entanto, a equipe envolvida no projeto ficou com a responsabilidade de controlar o processo e tomar as devidas ações corretivas, caso necessário.

4. CONCLUSÕES

O trabalho foi executado em uma linha de produção na fabricação de um produto específico. O projeto focou na redução de desperdício de materiais e de tempo devido a falta de matéria-prima. Percebeu-se que o desperdício de materiais era uma das causas do desperdício de tempo por falta de matéria-prima, portanto, apenas o último foi considerado problema prioritário.

Ferramentas de investigação e de estímulo de ideias foram usadas para encontrar soluções eficientes para tratar a principal causa do problema tratado. Foram encontradas três causas do problema: falta de precisão do equipamento de ajuste de matéria prima, existência de *overcounting* de produtos e perda real do processo maior do que a padrão especificada. A primeira não foi tratada neste trabalho pois já estava sendo tratada por outra equipe da fábrica.

Ao investigar a perda em excesso do processo, percebeu-se que o *overcounting* de produtos era uma das principais causas do problema. Com isso, ações de melhoria foram implementadas para reduzir o *overcounting*, sendo elas: o refinamento do programa de um módulo de corte e a parametrização de outro módulo de corte da linha. Além das ações implementadas, iniciativas futuras, como a criação de um plano de contenção analisando todas as possíveis causas raízes da parada de máquina por falta de semi-acabado, foram sugeridas para contribuir com o aumento do nível sigma do processo da linha estudada.

Devido ao tempo escasso para execução do projeto, a fase Controlar não foi executada e não foi possível contabilizar impacto das ações implementadas. No entanto, a equipe envolvida no projeto ficou responsável por realizar esta fase para entender a efetividade das melhorias. Análises financeiras foram efetuadas e estima-se que o escopo do projeto possui uma oportunidade de retorno de R\$50.635 em um ano.

Através deste estudo foi possível entender na prática os benefícios do programa Seis Sigma: facilidade de investigar e propor solução ao problema tratado. O uso da rota DMAIC permitiu entender a situação atual do processo e encontrar oportunidades de melhoria para alcançar um alto nível de qualidade de processo.

5. REFERÊNCIAS

AGUIAR, S. **Integração das ferramentas da qualidade ao PDCA e ao programa seis sigma**. Belo Horizonte: Editora de desenvolvimento gerencial, 2002.

AGUILAR-SAVÉN, R.S. **Business process modelling: review and framework**. International Journal of Production Economics, 90 (2), p.129–149. 2004.

AHMAD, M; BENSON, R. **Benchmarking in the process industries**. Institution of Chemical Engineers. United Kingdom, 1999.

ALDIN, L; CESARE, S. **A literature review on business process modelling: new frontiers of reusability**. Enterprise Information Systems, 2011. p.359-383.

ANTONY, J.; BANUELAS, R. **Key ingredients for the effective implementation of Six Sigma program**. Volume 6. Measuring Business Excellence, 2002. p. 20 – 27. MCB University Press Ltda.

BREYFOGLE, F.W. III. **Implementing Six Sigma: Smarter Solutions Using Statistical Methods**. 2ª Ed. New York, NY: John Wiley & Sons, 2003.

GALVANI, L.R. **Análise comparativa da aplicação do Programa Seis Sigma em processos de Manufatura e Serviços**, Dissertação EESC, 2010.

GEORGE, M. L. **Lean Six Sigma: Combining Six Sigma Quality with Lean Production Speed**. 2002.

HARRINGTON, H. J. **Performance Improvement: a total poor-quality cost system**. Volume 11. The TQM Magazine, 1999. p. 221 – 230. MCB University Press Ltda.

HARRY, M; SCHROEDER, R. **Six Sigma: the breakthrough management strategy revolutioning the world's top corporations**. New York: Currency 2000.

LINDERMAN, K.; SCHROEDER, R.G.; ZAHEER, S.; CHOO, A. **Six Sigma: a goal-theoretic perspective**. Journal Operations Management, 21, 2003. p. 193-203.

MIGUEL, P. A. C. **Outcomes from a descriptive survey of Six Sigma management practices in Brazil**. International Journal of Lean Six Sigma Volume 1, no 4. Emerald Group Publishing Limited, 2010. p.358 - 377.

PFEIFER, T.; REISSIGER, W., CANALES, C. (2004). **Integrating six sigma with quality management systems**. Volume 16. The TQM Magazine, Emerald Group Publishing Limited, 2004. p. 241 – 249.

RAISINGHANI, M. S. **Six Sigma: concepts, tools, and applications**. Industrial Management & Data Systems, Volume105. Emerald Group Publishing Limited, 2005. p. 491– 505.

SRINIVASAN, K.; MUTHU, S.; DEVADASAN, S. R.; SUGUMARAN, C. (2016) **Enhancement of sigma level in the manufacturing of furnace nozzle through DMAIC approach of Six Sigma: a case study**. Production Planning & Control, 27:10, 810-822, DOI: 10.1080/09537287.2016.1143130

VIJAYA, S. M.; ANTONY, J. (2015) **Six-sigma for improving Top-Box Customer Satisfaction score for a banking call centre**. Production Planning & Control, 26:16, 1291-1305, DOI: 10.1080/09537287.2015.1021879

WERKEMA, M.C.C. **Criando a Cultura Seis Sigma**. Volume 1. Nova Lima, MG: Werkema Editora, 2004.

WERKEMA, M.C.C. **Lean Seis Sigma: Introdução às Ferramentas do Lean Manufacturing**. 2ª Edição. Rio de Janeiro, RJ: Elsevier, 2011.

ZHANG, MIN; WANG, WEI; GOH, T. NGEE; HE, ZHEN. (2015) **Comprehensive Six Sigma application: a case study**. Production Planning & Control, 26:3, 219-234, DOI: 10.1080/09537287.2014.891058.

6. ANEXO A

Auditoria de PRODUTO -		Anexo 1 do PCP-BR-114-003 - Rev. 63															
RH # <u>07</u> Código do produto: <u>70150</u> Batch / Lote: <u>LOT21868</u> N° do Paleta ID: <u>570470</u>																	
Operador (Crachá/Nome): <u>Leandro / 673172</u> Data: <u>05 / 08 / 16</u> Turno: <u>A</u>																	
Contagem de unidades no cartucho		ATRIBUTOS															
Amostra / Encontrado: Considerar o resultado para cada produto (Tipo / Tamanho) em cada cartucho.	Produto	2" 1/4" 3/4" 5/8" 5/16"															
	Especificado	2 30 34 14															
	1	2 30 34 14															
	2	2 30 35 14															
	3	2 31 35 14															
	4	2 31 34 14															
	5	2 30 35 14															
	6	2 31 35 14															
	7	2 31 34 14															
	8	2 30 34 14															
	9	2 30 34 14															
	10	2 30 35 14															
	11	2 31 34 14															
	12	3 30 35 14															
	13	2 30 34 14															
	14	2 30 34 14															
	15	2 30 34 14															
	16	2 30 35 14															
	17	3 30 34 14															
	18	2 31 35 14															
	19	2 30 35 14															
	20	2 31 34 14															
	21	2 30 35 14															
	22	3 30 35 14															
	23	2 31 34 14															
	24	2 31 35 14															
	25	2 31 34 14															
	26	2 30 34 14															
	27	2 30 35 14															
	28	2 31 34 14															
	29	2 31 34 14															
	30	2 30 34 14															
	31	2 30 34 14															
32	2 30 34 14																
Resultado	A A A A																
Quantidade Inspeccionada <u>125</u> Quantidade de defeito <u>0</u> Código do defeito <u>-</u> Aceitação (NOA) <u>-</u> Resultado <u>A</u>		Quantidade Inspeccionada <u>32</u> Quantidade de defeito <u>0</u> Código do defeito <u>-</u> Aceitação (NOA) <u>-</u> Resultado <u>A</u>															
ATRIBUTOS: Conforme a lista de defeitos (Anexo 15 do SOP-000547). O critério de aceitação é definido conforme plano de amostragem Simples Normal, Nível de Inspeção S4, sendo que a quantidade mínima a ser inspeccionada é de 125 stripes e 32 cartuchos.																	
Selagem das abas dos cartuchos Conforme o MF-BR-311 Analisar 32 cartuchos (Ac.: 0 - Rec.: 1)		Quantidade de defeito <u>0</u> Resultado <u>A</u>															
Envoltório <table border="1" style="width: 100%; font-size: x-small;"> <thead> <tr> <th>Tamanho</th> <th>Especificado</th> <th>Encontrado</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>2 3/4"</td> <td>74,0 ± 2,5</td> <td>75,0</td> </tr> <tr> <td>3/4"</td> <td>35,0 ± 2,5</td> <td>35,5</td> </tr> <tr> <td>5/8"</td> <td>32,0 ± 2,5</td> <td>32,0</td> </tr> <tr> <td>5/16"</td> <td>38,0 ± 2,5</td> <td>38,0</td> </tr> </tbody> </table>			Tamanho	Especificado	Encontrado	2 3/4"	74,0 ± 2,5	75,0	3/4"	35,0 ± 2,5	35,5	5/8"	32,0 ± 2,5	32,0	5/16"	38,0 ± 2,5	38,0
Tamanho	Especificado	Encontrado															
2 3/4"	74,0 ± 2,5	75,0															
3/4"	35,0 ± 2,5	35,5															
5/8"	32,0 ± 2,5	32,0															
5/16"	38,0 ± 2,5	38,0															
Selagem esquerda <table border="1" style="width: 100%; font-size: x-small;"> <thead> <tr> <th>Tamanho</th> <th>Especificado</th> <th>Encontrado</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>2 3/4"</td> <td>Min 3,0</td> <td>4,5</td> </tr> <tr> <td>3/4"</td> <td>Min 2,5</td> <td>5,0</td> </tr> <tr> <td>5/8"</td> <td>Min 2,5</td> <td>5,5</td> </tr> <tr> <td>5/16"</td> <td>Min 2,5</td> <td>3,5</td> </tr> </tbody> </table>			Tamanho	Especificado	Encontrado	2 3/4"	Min 3,0	4,5	3/4"	Min 2,5	5,0	5/8"	Min 2,5	5,5	5/16"	Min 2,5	3,5
Tamanho	Especificado	Encontrado															
2 3/4"	Min 3,0	4,5															
3/4"	Min 2,5	5,0															
5/8"	Min 2,5	5,5															
5/16"	Min 2,5	3,5															
Selagem direita <table border="1" style="width: 100%; font-size: x-small;"> <thead> <tr> <th>Tamanho</th> <th>Especificado</th> <th>Encontrado</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>2 3/4"</td> <td>Min 3,0</td> <td>5,0</td> </tr> <tr> <td>3/4"</td> <td>Min 2,5</td> <td>4,5</td> </tr> <tr> <td>5/8"</td> <td>Min 2,5</td> <td>3,0</td> </tr> <tr> <td>5/16"</td> <td>Min 2,5</td> <td>5,0</td> </tr> </tbody> </table>			Tamanho	Especificado	Encontrado	2 3/4"	Min 3,0	5,0	3/4"	Min 2,5	4,5	5/8"	Min 2,5	3,0	5/16"	Min 2,5	5,0
Tamanho	Especificado	Encontrado															
2 3/4"	Min 3,0	5,0															
3/4"	Min 2,5	4,5															
5/8"	Min 2,5	3,0															
5/16"	Min 2,5	5,0															
Resultado <u>A</u>																	
Observações: 2 3/4" - Aborda 05/08/16																	
Legenda: A = Aprovado R = Reprovado NA = Não se Aplica																	
Auditoria realizada por: <u>Jose Ricardo</u>																	
Responsável QA:																	

7. ANEXO B

Auditoria de PRODUTO -		Anexo 1 do POP-BR-114-003 - Rev. 4.3	
RH # <u>07</u> Código do produto: <u>70150</u> Batch / Lote: <u>21368</u> N° do Paleta ID: <u>570472</u> Operador (Crachá/Nome): <u>Clerton, 673820</u> Data: <u>05/08/16</u> Turno: <u>B</u>			
Contagem de unidades no cartucho		ATRIBUTOS	
Produto	Especificado	Produto	Cartucho
1	2	Quantidade inspecionada	32
2	30	Quantidade de defeito	0
3	31	Código do defeito	-
4	30	Aceitação (NOA)	-
5	34	Resultado	A
6	35	Resultado	
7	14	A	
8	14	A	
9	14	A	
10	14	A	
11	14	A	
12	14	A	
13	14	A	
14	14	A	
15	14	A	
16	14	A	
17	14	A	
18	14	A	
19	14	A	
20	14	A	
21	14	A	
22	14	A	
23	14	A	
24	14	A	
25	14	A	
26	14	A	
27	14	A	
28	14	A	
29	14	A	
30	14	A	
31	14	A	
32	14	A	
Resultado	A	A	

Amostra / Encontrado: Considerar o resultado para cada produto (Tipo / Tamanho) em cada cartucho.

VARIÁVEIS (mm): Aceitação conforme o limite especificado para cada produto. Executado conforme o MF-BR-087.

Envoltório		
Tamanho	Especificado	Encontrado
2 1/4"	74,0 ± 2,8	74,0
3/4"	35,0 ± 2,5	34,5
5/8"	32,0 ± 2,5	32,0
5/8"	38,0 ± 2,5	37,0

Selagem esquerda		
Tamanho	Especificado	Encontrado
2 1/4"	Min 3,0	4,0
3/4"	Min 2,5	4,0
5/8"	Min 2,5	4,5
5/8"	Min 2,5	4,5

Selagem direita		
Tamanho	Especificado	Encontrado
2 1/4"	Min 3,0	6,0
3/4"	Min 2,5	4,0
5/8"	Min 2,5	5,0
5/8"	Min 2,5	4,0

Resultado: A

Observações: * 4,5 - Mínimo 05/08/16

Legenda: A = Aprovado R = Reprovado NA = Não se Aplica

Auditoria realizada por: Jose Ricardo

Responsável QA:

8. ANEXO C

