

**UNIVERSIDADE ESTADUAL DE CAMPINAS
FACULDADE DE ENGENHARIA MECÂNICA
COMISSÃO DE PÓS-GRADUAÇÃO EM ENGENHARIA MECÂNICA**

**Aplicação da Metodologia Seis Sigma na
Redução das Perdas de um Processo de
Manufatura**

Autor: ANDRÉ CELSO SCATOLIN
Orientador: ANTONIO BATOCCHIO

**UNIVERSIDADE ESTADUAL DE CAMPINAS
FACULDADE DE ENGENHARIA MECÂNICA
COMISSÃO DE PÓS-GRADUAÇÃO EM ENGENHARIA MECÂNICA
DEPARTAMENTO DE ENGENHARIA DE FABRICAÇÃO**

Aplicação da Metodologia Seis Sigma na Redução das Perdas de um Processo de Manufatura

Autor: ANDRÉ CELSO SCATOLIN
Orientador: ANTONIO BATOCCHIO

Curso: Engenharia Mecânica - Mestrado Profissional
Área de Concentração: Planejamento e Gestão Estratégica da Manufatura

Trabalho Final de Mestrado Profissional apresentado à comissão de Pós Graduação da Faculdade de Engenharia Mecânica, como requisito para a obtenção do título de Mestre Profissional em Engenharia Mecânica/ Planejamento e Gestão Estratégica da Manufatura.

Campinas, 2005
S.P. – Brasil

FICHA CATALOGRÁFICA ELABORADA PELA
BIBLIOTECA DA ÁREA DE ENGENHARIA - BAE - UNICAMP

Sca85a Scatolin, André Celso
Aplicação da metodologia seis sigma na redução das
perdas de um processo de manufatura / André Celso
Scatolin, SP: [s.n.], 2005.

Orientador: Antonio Batocchio
Dissertação (mestrado profissional) - Universidade
Estadual de Campinas, Faculdade de Engenharia
Mecânica.

1. Produtos industrializados. 2. Estudo de casos. 3.
Metodologia. 4. Seis Sigma (padrão de controle da
qualidade). 5. Gestão da qualidade total. I. Scatolin,
André Celso. II. Universidade Estadual de Campinas.
Faculdade de Engenharia Mecânica. III. Título.

RMS – BAE

Titulo em Inglês: Application of six sigma methodology in order to reduce waste of a
manufacturing process

Palavras-chave em Inglês: Six Sigma, Cases study, Methodology, Total quality
management, DMAIC, Green belt, Black belt, Master black
belt

Área de concentração: Planejamento e Gestão Estratégica da Manufatura

Titulação: Mestre em Engenharia Mecânica

Banca examinadora: Sergio Tonini Button e Luz César Ribeiro Carpinetti

Data da defesa: 28/09/2005

UNIVERSIDADE ESTADUAL DE CAMPINAS
FACULDADE DE ENGENHARIA MECÂNICA
COMISSÃO DE PÓS-GRADUAÇÃO EM ENGENHARIA MECÂNICA
DEPARTAMENTO DE ENGENHARIA DE FABRICAÇÃO

Trabalho Final de Mestrado Profissional

**Aplicação da Metodologia Seis Sigma na
Redução das Perdas de um Processo de
Manufatura**

Autor: ANDRÉ CELSO SCATOLIN
Orientador: ANTONIO BATOCCHIO

Prof. Dr. Antonio Batocchio, Presidente.
DEF-FEM / Unicamp

Prof. Dr. Sergio T. Button
DEMA-FEM / Unicamp

Prof. Dr. Luiz César R. Carpinetti
EESC / USP

Campinas, 28 de Setembro de 2005.

Dedicatória:

Dedico este trabalho à minha esposa Cláudia e ao meu filho Matheus.

Agradecimentos

Para que um trabalho deste porte termine no prazo e com o conteúdo planejado é necessário o suporte de muitas pessoas. Pela conclusão deste trabalho, agradeço e presto minha homenagem:

Aos meus pais, pelo exemplo de simplicidade e humildade que carregarei por toda minha vida e passarei a meus filhos.

Ao meu orientador, que com profissionalismo e praticidade me indicou e esclareceu os melhores caminhos para chegar à conclusão de mais esta etapa da minha carreira acadêmica.

Aos meus líderes Newton, Er e Ruas que acreditaram na minha proposta de executar este trabalho e vêm incentivando meu crescimento profissional.

A todos os professores e colegas da turma de Mestrado Profissional, que proporcionaram trocas interessantes de informação que se transformaram em conhecimento.

Aos amigos Chico, Favinha, Jefferson e Nádia, que com paciência e pragmatismo me passaram alguns detalhes importantes sobre um mestrado.

Aos amigos Cristiano, Hilário, Langbek e Alvarenga, que suportaram tecnicamente as informações necessárias para este trabalho.

E em especial à minha esposa, pelo carinho, compreensão, honestidade e por ter proporcionado e dividido os momentos mais felizes de minha vida.

Soneto da Fidelidade

*De tudo, ao meu amor serei atento
Antes, e com tal zelo, e sempre, e tanto
Que mesmo em face do maior encanto
Dele se encante mais meu pensamento.
Quero vivê-lo em cada vão momento
E em seu louvor hei de espalhar meu canto
E rir meu riso e derramar meu pranto
Ao seu pesar ou seu contentamento.
E assim, quando mais tarde me procure
Quem sabe a morte, angústia de quem vive
Quem sabe a solidão, fim de quem ama.
Eu possa me dizer do amor (que tive):
Que não seja imortal, posto que é chama
Mas que seja infinito enquanto dure.*

Vinicius de Moraes

Resumo

SCATOLIN, André Celso, *Aplicação da Metodologia Seis Sigma na Redução das Perdas de um Processo de Manufatura*, Campinas: Faculdade de Engenharia Mecânica, Universidade Estadual de Campinas, 2005. 137 p. Trabalho Final de Mestrado Profissional.

Este trabalho tem o objetivo de mostrar a eficiência da aplicação da metodologia Seis Sigma para a redução das perdas num processo de manufatura. O processo de fabricação de respiradores descartáveis foi escolhido para o estudo de caso porque gerava uma enorme quantidade de perda das fibras utilizadas como matéria-prima. As metodologias de melhorias até então aplicadas tinham reduzido significativamente o nível das perdas, porém se fazia necessária uma abordagem diferente para se reduzir ainda mais. Seguindo a metodologia Seis Sigma, uma equipe foi formada para focar a atenção na redução destas perdas e quebrar o paradigma que não se pode eliminar as perdas inerentes de um processo. Através da adição de uma fase de desfibramento da perda – fibra prensada que era descartada ao final do processo – recuperou-se toda esta fibra, deixando-a com características semelhantes à fibra virgem. Portanto, as perdas foram 100% eliminadas. O nível sigma, que era historicamente menor que 3, passou para maior que 6 ao final do trabalho. A aplicação de ferramentas estatísticas demonstrou qual o ponto otimizado da mistura de fibras virgens e fibras recuperadas, para que as propriedades finais do produto não sofressem alterações significativas sob o ponto de vista do usuário final. Este trabalho gerou um desenvolvimento técnico da equipe envolvida e preciosa economia de recurso não renovável.

Palavras Chave

- Seis Sigma, Manufatura, Perdas, DMAIC (Definir-Medir-Analisar-Implementar-Controlar), “Green Belt”, “Black Belt”, “Master Black Belt”.

Abstract

SCATOLIN, André Celso, *Application of Six Sigma Methodology in order to Reduce Waste of a Manufacturing Process*, Campinas: Faculdade de Engenharia Mecânica, Universidade Estadual de Campinas, 2005. 137 p. Trabalho Final de Mestrado Profissional.

This work aims to show the efficiency of Six Sigma Methodology application in reducing waste of a manufacturing process. The making process of disposable respirator was chosen to this case study because it generated an enormous amount of fiber scrap used as raw material. Improving methodologies applied every since had reduced significantly the waste level but a different approach was needed to reduce it even more. Following the Six Sigma Methodology, a team was formed to focus the whole attention on reducing this waste and breaking the paradigm which inherent waste of a process cannot be eliminated. Through an addition of a new process step in order to reprocess the waste – pressed fiber discharged by the end of this process - all of it was recovered, keeping the same characteristics of raw fiber. Therefore, the waste was 100% eliminated. Sigma level, which was historically lower than 3, became higher than 6 by the end of the work. The statistics tools applied demonstrated the optimized set point of the raw and recovered fiber mixture in order to maintain the final product properties under the point of view of end-users. This work resulted in team technical development and precious non-renewed raw material savings.

Key words:

- Six Sigma, Manufacturing, Waste, (DMAIC) Define-Measure-Analyze-Improve-Control, Green Belt, Black Belt, Master Black Belt.

Sumário

Lista de Figuras	iv	
Lista de Tabelas	vi	
Nomenclatura	viii	
1	Introdução	1
1.1	Contexto	1
1.2	Objetivo	2
1.3	Escopo e justificativa	2
1.4	Conteúdo da Dissertação	3
2	Revisão da Literatura	5
2.1	Definições Seis Sigma	5
2.2	Histórico Seis Sigma	10
2.3	Métricas Seis Sigma	11
2.4	Definição de Variação (causas especiais e causas comuns)	14
2.5	Fatores Críticos de Sucesso para a implementação do Seis Sigma	15
2.6	Equipes Seis Sigma	20
2.7	Treinamento na Metodologia Seis Sigma	27
2.8.	Princípios da Metodologia Seis Sigma	32
2.9	Responsabilidades da Alta Gerência na Implantação do Seis Sigma	33
2.10	Como e por onde se devem começar os esforços	34
2.11	Empresas que devem adotar o Seis Sigma	35
2.12	Seleção de Projetos Seis Sigma	40
3	Método e Ferramentas Seis Sigma	47
3.1	Definição do Modelo DMAIC	47

3.2	Ferramentas do Modelo DMAIC	50
3.3	Aplicação da Metodologia Seis Sigma em diferentes áreas	52
3.4	Detalhamento dos 5 Passos do DMAIC	54
3.4.1	Definição	55
3.4.1.1	Contrato do Projeto	55
3.4.1.2	Missão do projeto	56
3.4.2	Medição	56
3.4.2.1	Mapeamento do Processo	56
3.4.2.2	Análise de Envolvimento	58
3.4.2.3	Matriz de Priorização	59
3.4.2.4	Análise dos Sistemas de Medição	60
3.4.2.5	Capacidade Inicial	61
3.4.2.6	Análise de Impacto Financeiro	62
3.4.3	Análise	64
3.4.3.1	Análise do Modo e Efeito das Falhas	64
3.4.3.2	Análise Multi-vari	66
3.4.4	Implementação das Melhorias	68
3.4.4.1	Experimentação	68
3.4.5	Controle	68
3.4.5.1	Plano de Controle	68
3.4.5.2	Treinamentos	70
3.4.5.3	Capacidade Final	70
3.4.5.4	Aprovação do Proprietário do Processo	71
3.4.5.5	Relatório Final.	71
4	Análise Experimental	72
4.1	Definições do Processo e do Produto	72
4.2	Desenvolvimento dos 5 Passos do DMAIC	74
4.2.1	Definição	74
4.2.2	Medição	78
4.2.3	Análise	90
4.2.4	Implementação	92
4.2.5	Controle	101
5	Resultados	103

5.1	Capacidade Final	103
5.2	Resultado Financeiro	106
6	Conclusões e Sugestões para próximos trabalhos	108
6.1	Conclusões	108
6.1.1	Ganhos quantitativos	108
6.1.2	Ganhos qualitativos	108
6.1.3	Oportunidade/Dificuldades	109
6.2	Sugestões para próximos trabalhos	111
6.2.1	Verificar eficiência da aplicação da Metodologia Seis Sigma em outras áreas	111
6.2.2	Comparar a Metodologia Seis Sigma com outras metodologias	112
	Referências Bibliográficas	114
	Anexos	117
	Apêndices	135

Lista de Figuras

2.1	Os níveis de defeitos para os devidos níveis sigma	7
2.2	Gráficos de capacidade 3 Sigma - deslocado 1,5 sigma	9
2.3	Gráficos de capacidade 6 Sigma - deslocado 1,5 sigma	10
2.4	Exemplos de Estrutura Seis Sigma	24
3.1	Modelo de Cronograma de Controle do Projeto Seis Sigma	55
3.2	Modelo de Mapa do Processo	58
3.3	Modelo de Matriz da Análise de Envolvimento	59
3.4	Modelo de Matriz de Priorização	60
3.5	Modelo de FMEA - Análise do Modo e Efeitos das Falhas	65
3.6	Modelo de Plano de Controle	70
4.1	Modelo de Produto do Estudo de Caso	73
4.2	Cronograma do Projeto Respiradores	74
4.3	Mapa do Processo do Projeto Respiradores	79
4.4	Análise de Envolvimento do Projeto Respiradores – Inicial	80
4.5	Análise de Envolvimento do Projeto Respiradores - Final	81
4.6	Matriz de Priorização do Projeto Respiradores - Inicial	82
4.7	Matriz de Priorização do Projeto Respiradores - Priorizada	83
4.8	Gráfico da Capacidade Inicial das Perdas do Produto Concha	86
4.9	Gráfico da Capacidade Inicial das Perdas do Produto Concha Interna	86
4.10	Gráfico da Capacidade Inicial das Perdas Total	87
4.11	Gráfico da Resistência do Produto (gf/cm ³) - Inicial	88
4.12	Gráfico da Queda de Pressão do Produto (atm) - Inicial	88
4.13	Economia Prevista do Projeto Respiradores	89

4.14	FMEA do Projeto Respiradores – Principais Ações Priorizadas	91
4.15	Resultado do DOE para Resistência (gf/cm ³) – Concha	94
4.16	Resultado do DOE para Resistência (gf/cm ³) – Concha Interna	95
4.17	Resultado do DOE para Resistência (gf/cm ³) – Interação Concha	95
4.18	Resultado do DOE para Resistência (gf/cm ³) – Interação Concha interna	96
4.19	Resultado do DOE para Queda de Pressão (atm) – Concha	97
4.20	Resultado do DOE para Queda de Pressão (atm) – Concha Interna	98
4.21	Resultado do DOE para Queda de Pressão (atm) – Interação Concha	98
4.22	Resultado do DOE para Queda de Pressão (atm) – Interação Concha Interna	99
4.23	Plano de Controle do Projeto Respiradores	101
5.1	Gráfico do Plano de Controle das Perdas Total	103
5.2	Gráfico do Plano de Controle da Taxa de Reciclagem	104
5.3	Gráfico do Plano de Controle da Resistência (gf/cm ³)	105
5.4	Gráfico do Plano de Controle da Queda de Pressão do Produto (atm)	105
5.5	Gráfico da Economia Prevista e Real do Projeto Respiradores	107
I	Gráfico do Teste de Normalidade da Perda Concha - Inicial	131
II	Gráfico do Teste de Normalidade da Perda Concha Interna - Inicial	131
III	Gráfico do Teste de Normalidade da Perda Geral – Inicial	132
IV	Gráfico do Teste de Normalidade da Resistência – Inicial	132
V	Gráfico do Teste de Normalidade da Queda de Pressão – Inicial	133
VI	Gráfico do Teste de Normalidade da Perda Geral – Final	133
VII	Gráfico do Teste de Normalidade da Resistência – Final	134
VIII	Gráfico do Teste de Normalidade da Queda de Pressão – Final	134
A	Verificação de Calibração de Equipamento – Resistência	136
B	Verificação de Calibração de Equipamento – Queda de Pressão	136
C	Processo 3 Sigma – Teoria: curto prazo ou centralizado	137
D	Processo 6 Sigma – Teoria: curto prazo ou centralizado	137

Lista de Tabelas

2.1	Comparação do nível Sigma com DPMO num Processo de curto e longo prazo	8
2.2	A escalada da qualidade	12
2.3	Exemplo de Equipes Seis Sigma	24
2.4	Exemplo de Treinamento Ferramentas Seis Sigma	30
2.5	Exemplo de Grade de Treinamento Gerencial	31
2.6	Início dos esforços	35
2.7	Resumo de situações na escolha de Projetos	45
2.8	Considerações finais da Metodologia Seis Sigma	46
3.1	O modelo DMAIC	49
3.2	Pontuação do FMEA	66
4.1	Equipe do Projeto Respiradores	75
4.2	Métricas do Projeto Respiradores	76
4.3	Teste de Normalidade – Inicial	85
4.4	Planejamento do Experimento do Projeto Respiradores – Concha	92
4.5	Planejamento do Experimento do Projeto Respiradores – Concha Interna	92
4.6	Resultado do Experimento do Projeto Respiradores – Concha	93
4.7	Resultado do Experimento do Projeto Respiradores – Concha Interna	93
4.8	Rampa de Utilização da Fibra Reciclada	100
5.1	Teste de Normalidade da Perda Geral – Final	104
5.2	Teste de Normalidade das Contra-medidas – Final	106
I	Perdas do Processo de Manufatura de Respiradores - Inicial	117
II	Capacidade Inicial das Perdas do Produto Concha (2 partes)	118
III	Capacidade Inicial das Perdas do Produto Concha Interna	120

IV	FMEA Inicial (4 partes)	121
V	FMEA Priorizado (5 partes)	125
VI	Comparação do Nível Sigma com Perdas em DPMO e Perdas em %	130

Nomenclatura

Letras Latinas

s – desvio padrão (variação do processo)

X – variável de entrada

Y – variável de saída

.....

Letras Gregas

σ – desvio padrão

.....

Superescritos

⁻ – médio

.....

Subscritos

Não aplicado

.....

Abreviações

atm – unidade de pressão (atmosfera)

gf/cm³ – unidade de ‘pressão’ (grama força por centímetro cúbico)

Kg – kilogramo

.....

Siglas

COPQ – Custo da Baixa Qualidade (“Cost Of Poor Quality”)
Cp - Capacidade do Processo
Cpk – Centralização do Processo
CTQ – Crítico para Qualidade (“Critical-To-Quality”)
DFSS – “Design For Six Sigma”
DMAIC - Definir-Medir-Analisar-Implementar-Controlar (Define-Measure-Aalyze-Improve-Control)
DOE – Delineamento de Experimento (“Design Of Experiment”)
DPMO - Defeito por Milhão de Oportunidades (“Defects Per Million Opportunities”)
FMEA - Análise do Modo e Efeito das Falhas (“Failure Mode and Effect Analysis”)
GE – General Electric
LIE – Limite Inferior de Especificação
LCL – Limite Inferior de Controle (“Lower Control Limit”)
LSE - Limite Superior de Especificação
PDCA – Planejar-Executar-Checar-Atuar (“Plan-Do-Check-Act”)
PPM – Partes Por Milhão
QFD – Desdobramento da Função Qualidade (“Quality Function Deployment”)
RH – Recursos Humanos
RPN – Número de Prioridade de Risco (“Risk Priority Number”)
UCL – Limite Superior de Controle (“Upper Control Limit”)

.....

Relação dos termos* em inglês:

Baseline = Linha de Base;
Best in class = Melhor na classe ou Classe Mundial;
Black Belt = Faixa-Preta;
Brainstorming = reunião para geração de idéias;
Coach = treinador;
Champion = Patrocinador;
e-commerce = comércio eletrônico;
Entitlement = ideal, melhor possível;
Gaps = intervalos;
Green Belt = Faixa-Verde;
Lean Manufacturing = Manufatura Enxuta;
Master Black Belt = Mestre Faixa-Preta;
Mix = mistura;
Quick-hits = ações rápidas;
Top-down = de cima para baixo.

* Estes termos em inglês são usuais na linguagem Seis Sigma e portanto muitas vezes não estarão traduzidos durante este trabalho!

Capítulo 1 - Introdução

1.1. Contexto

As empresas brasileiras estão inseridas no contexto global e a necessidade de ter um produto competitivo que agrega valor ao negócio dos clientes internos e externos exige uma eficiência operacional cada vez maior. Durante as últimas décadas, muitas metodologias e ferramentas isoladas surgiram com a finalidade de melhorar o rendimento das linhas de produção. No entanto, nenhuma conseguiu prover o alinhamento total com a estratégia central das empresas ou o envolvimento total das áreas de manufatura, de suporte e comercial. A metodologia Seis Sigma é uma estratégia para maximizar a qualidade dos processos, produtos e serviços de uma empresa através do uso de análises quantitativas e de ferramentas estatísticas na tomada de decisão, visando acelerar seu crescimento. A correta aplicação da metodologia Seis Sigma gera retorno várias vezes maiores do que os investimentos necessários para implementá-la. Qualquer modalidade ou tamanho de empresa que atua em qualquer mercado pode utilizar as eficazes ferramentas de gestão para aumentar a participação no mercado, reduzir custos e melhorar seus processos. É um processo que permite às organizações incrementar seus lucros através da otimização de operações, melhoria da qualidade e eliminação de defeitos e erros. Esta abordagem ampla é que credita à metodologia Seis Sigma sua verdadeira importância na busca pela melhoria contínua e radical, e não apenas incremental. Por fim, uma unificação na comunicação entre todas as áreas em qualquer parte do mundo se torna possível com a adoção do Seis Sigma como forma única e efetiva de transferência de dados e estudos, quer seja dentro de um laboratório ou dentro de um fornecedor ou cliente. As fronteiras da aplicação da metodologia Seis Sigma são bastante amplas, atravessando qualquer barreira departamental ou empresarial. O foco no objetivo comum

de melhoria une fornecedores e clientes de forma definitiva. Esta é a justificativa do aprofundamento do estudo de um caso prático de aplicação desta metodologia.

1.2. Objetivo

O objetivo principal deste trabalho é mostrar a eficiência da aplicação da metodologia Seis Sigma para a redução das perdas num processo de Manufatura, através da apresentação de um estudo de caso. Num prazo de 6 meses buscou-se a redução em 90% das perdas de fibras gerada pelo processo de manufatura dos respiradores descartáveis. Atingindo esta meta, sem interferir significativamente nas características finais do produto (a saber: resistência e queda de pressão) sob o ponto de vista do usuário final, totalizaria uma economia anual de \$ 100.000. Como objetivo secundário tem-se a necessidade de desenvolvimento técnico em ferramentas estatísticas dos membros da equipe participante, a fim de que a partir deste projeto eles tenham habilidade para liderar uma equipe num projeto de melhoria Seis Sigma.

1.3. Escopo e justificativa

Este projeto não detalhará as aplicações da metodologia em outras áreas, como Logística por exemplo, onde se busca a redução de pedidos entregues incompletos ou fora do prazo acordado com o cliente, ou ainda na área Comercial onde, por exemplo, pode-se aplicar a metodologia para reduzir atrasos ou demoras no gerenciamento de preços. Portanto, o foco do trabalho é a área de Manufatura e o processo escolhido para o caso é o de fabricação de respiradores descartáveis, o qual gerava uma perda inerente relativamente alta das fibras, principal material utilizado na fabricação. As metodologias de melhorias até então aplicadas não conseguiam mais reduzir o nível das perdas. Seguindo a metodologia Seis Sigma, uma equipe foi formada para focar a atenção na redução destas perdas e quebrar o paradigma que não se pode eliminar as perdas inerentes de um processo. Outro fator que priorizou a área de respiradores nesta implantação foi o fato de utilizar um material fabricado a partir de recurso natural não renovável, derivado do petróleo. Qualquer economia de um recurso como este vem fortalecer um dos maiores valores da empresa estudada que é: respeitar e preservar o meio-ambiente e melhorar a vida da comunidade em que está inserida. Uma vez reduzida a utilização de material virgem, conseqüentemente se obtém uma vantagem competitiva, otimizando o custo do produto final. Este fator, apesar de não ser objetivo do trabalho, de certa forma aumenta o interesse e apoio de

toda a direção da empresa para fortalecer outro de seus valores: dar retorno financeiro aos seus acionistas. Por último, os clientes usuários dos respiradores teriam que no mínimo ter um produto igual ao produzido sem fibra reciclada, pois também um dos valores da empresa em estudo é: ter ética inflexível e tornar a vida dos clientes mais fácil e segura.

Finalmente, as áreas impactadas por este trabalho descritas acima o tornaram muito importante e se justificou a dedicação parcial de toda uma equipe, com o objetivo principal de se demonstrar que o trabalho em equipe e o constante estímulo da supervisão em desafiar o “*status quo*” (ou zona de conforto), neste caso as perdas inerentes de um processo, podem gerar resultados surpreendentes. Os ganhos em habilidades na utilização de ferramentas estatísticas, além dos atributos de liderança tão necessários aos colaboradores nos dias atuais, é mais um dos resultados imensuráveis deste projeto. A base técnica para desdobramento do aprendizado em outros processos ficou estabelecida por todos os participantes da equipe.

1.4. Conteúdo da Dissertação

• Capítulo 2

No capítulo 2 tem-se a Revisão da Literatura baseada em artigos e livros publicados basicamente a partir do ano 2000 e com idoneidade acadêmica através da consulta de fontes oficialmente recomendadas, para que se faça uma metódica e abrangente fundamentação teórica do projeto em estudo. As consultas foram feitas as seguintes bases de dados:

- www.ingenta.com
- www.periodicos.capes.gov.br
- www.sciencedirect.com
- www.scirus.com
- www.scielo.com.br
- www.isiknowledge.com

São apresentados neste segundo capítulo: a definição da Metodologia Seis Sigma, como se forma uma equipe, a importância da seleção correta dos projetos, sugestão de modelo de treinamento, a definição e abrangência de um “Black Belt”, além dos Fatores Críticos de Sucesso para a implementação do Seis Sigma.

- **Capítulo 3**

No capítulo 3 tem-se a descrição do Método utilizado na aplicação da Metodologia Seis Sigma, que nada mais é que a abordagem DMAIC e suas ferramentas:

1. Define = Definir = Definição
2. Measure = Medir = Medição
3. Analyze = Analisar = Análise
4. Improve = Implementar a Melhoria = Implementação da Melhoria
5. Control = Controlar = Controle.

Neste capítulo são expostas as vantagens da aplicação do DMAIC, o detalhamento de cada um dos passos, com a descrição das principais ferramentas comumente empregadas.

- **Capítulo 4**

No capítulo 4 tem-se a Análise Experimental onde são apresentadas a aplicação das ferramentas separadas nos 5 passos do DMAIC. Neste capítulo são apresentadas particularidades da aplicação de cada ferramenta, as dificuldades e algumas dicas práticas.

- **Capítulo 5**

No capítulo 5 tem-se a apresentação dos resultados numéricos:

- a redução das perdas;
- a pequena interferência nas características do produto após início da utilização da fibra reciclada no processo de manufatura dos respiradores descartáveis;
- os ganhos financeiros reais, comparando-os com os ganhos estimados no início do projeto.

- **Capítulo 6**

Por fim, no capítulo 6 tem-se as conclusões demonstrando a eficiência da aplicação da Metodologia Seis Sigma, onde estão apresentados os ganhos qualitativos e quantitativos, além de dicas práticas no processo de implementação da Metodologia Seis Sigma. Algumas sugestões para próximos trabalhos e alguns comentários finalizam esta dissertação.

Capítulo 2 - Revisão da Literatura

2.1. Definições Seis Sigma

“Seis Sigma é a inflexível e rigorosa busca da redução da variação em todos os processos críticos para alcançar melhorias contínuas e quânticas que impactam os índices de uma organização e aumentam a satisfação e lealdade dos clientes. É uma iniciativa organizacional projetada para criar processos de manufatura, serviço ou administrativo que gerem no máximo 3,4 defeitos por milhão de oportunidade (DPMO). A ferramenta de melhoria empregada na implantação dos projetos Seis Sigma é o DMAIC: acróstico que representa: Definir-Medir-Analisar-Implementar-Controlar” (Rasis, 2002).

“A razão para o nome Seis Sigma foi porque ‘sigma’ é a medida estatística relacionada com a capacidade de um processo, ou a habilidade deste processo em produzir peças sem defeitos. No jargão estatístico, sigma é a medida da variação do processo ou o desvio padrão” (Klefsjo, 2001).

No entanto, não se pode aceitar a ilusão de que Seis Sigma é a salvação para toda empresa. Deve-se fazer uma análise crítica e verificar se é a metodologia mais adequada dependendo do momento em que a empresa vive. Mais a frente este assunto será abordado mais profundamente.

De forma ampla, a aplicação da Metodologia Seis Sigma não se prende apenas a área de qualidade, mas a todos os processos de uma empresa. Seis Sigma visa fortalecer as necessidades de uma empresa em melhorar seus processos de forma contínua e sustentável. Através de um forte foco na capacitação de seus colaboradores, as empresas que implementam esta Metodologia têm a finalidade de impactar de maneira bastante agressiva nos lucros, provocar grandes evoluções nos seus processos internos, incentivar o crescimento e melhorar o aproveitamento dos seus funcionários. Portanto, essa estratégia de melhor desempenho de processos, melhor aproveitamento de recursos materiais e melhor atendimento ao cliente, reforçada por elevados

investimentos em treinamento de pessoal incentivando a criatividade, faz do Seis Sigma uma metodologia que consegue promover o atendimento dos objetivos perseguidos pela empresa que o implementa, desde que uma análise crítica de custo x benefício seja realizada previamente.

A metodologia Seis Sigma tem a finalidade de melhorar os processos, reduzindo variabilidade. A variabilidade é tratada como se fosse uma falha intrínseca ao processo, e desta forma, através de projetos de melhoria contínua e sustentável, se objetiva reduzi-la a níveis baixíssimos, visto que não existe processo sem variação (Rath & Strong, 2001).

Segundo Harry (2000), Seis Sigma é primariamente uma iniciativa de negócios, e não apenas um programa de qualidade. O maior propósito é a redução do risco do negócio mais do que a simples idéia de redução de defeitos. Focando as fontes de risco comumente associadas com as operações ou processos internos, o risco de falhas que os clientes estarão expostos quando adquirem um produto ou serviço serão minimizados. Ao mesmo tempo, os fornecedores destes produtos ou serviços se beneficiam da redução dos riscos de falhas das suas operações e processos. Concluindo, ambos, clientes e fabricantes reconhecem as vantagens de adotar a metodologia Seis Sigma. Em outras palavras, quando a metodologia Seis Sigma é aplicada para reduzir os riscos de falhas, aumenta-se a confiança de atingir o desempenho da qualidade de classe mundial em tudo que se produz ou se processa. Assim como o desempenho é melhorado, qualidade, capacidade, tempo de ciclo, nível de estoque e outros fatores também são melhorados num ciclo virtuoso: todos ganham. Muitos profissionais da qualidade têm inadvertidamente reduzido o poder e potencial da metodologia Seis Sigma devido ao desinteresse em aprofundar neste assunto. É necessário perceber que Seis Sigma está mais alinhado com a linguagem de negócios, como risco, tempo de ciclo ou custo, do que com a linguagem de qualidade como defeito ou erro. À medida que estes profissionais da qualidade vão se aprofundando no conhecimento estratégico do Seis Sigma, o convencional dará lugar para inovação. E inovação conduzirá ao sucesso do negócio. A insistência em tentar que os executivos pensem em termos de defeitos e falem a linguagem da qualidade é ultrapassada. Agora é a hora do mundo da qualidade começar a pensar em termos de risco do negócio e falar a linguagem de negócios. Quando isso acontecer, os líderes executivos darão o devido valor aos profissionais da qualidade, os quais detêm o conhecimento técnico da metodologia. Seis Sigma possui parâmetros claros de comparação e posicionamento de uma empresa em relação aos seus competidores: este parâmetro é o nível sigma. Muitas vezes, as empresas acreditam que reduzindo em 10% ou 20% seu nível de

perdas seria o suficiente para competir com vantagens no mercado atual. Porém, o que diferencia as empresas com alta performance muitas vezes é um fator de 100 ou até mais de 1000 vezes melhor. Medindo o nível sigma, descobre-se o tamanho da oportunidade que se tem e até que ponto isso é possível de maneira econômica. A maioria das melhores empresas estão localizadas abaixo de 4 no padrão sigma.

Para Linderman (2003), um processo deve objetivar o nível sigma 6, apenas se isto for importante para o cliente e desde que o investimento para o salto em nível sigma não seja tão alto a ponto de inviabilizar economicamente este processo. É evidente que melhorar do nível 2 ou 3 para 4 é exponencialmente mais fácil do que melhorar do nível 4 para 5 ou 6.

Segundo Rath & Strong (2001), uma comparação entre uma visão clássica da Qualidade e uma visão Seis Sigma apresenta uma gigantesca diferença entre níveis de aceitação do que é qualidade. Na visão Clássica, um processo extremamente otimizado atinge 99% de eficiência, enquanto para uma visão Seis Sigma, um processo só é considerado adequado quando a eficiência deste atinge 99,99966%. A Figura 2.1, baseada em Rath & Strong (2001) mostra os níveis de erro considerando uma variação natural na média dos processos contínuos ao longo do tempo em até 1,5 sigma. Portanto, é usual que a estimativa de números de defeitos esperados seja feita considerando-se o processo deslocado em até 1,5 sigma ($6 - 1,5 = 4,5$ sigma), pois se avalia a pior condição. Sendo assim, um processo 6 sigma, ao longo do tempo permitiria 3,4 defeitos em 1 milhão de oportunidades.

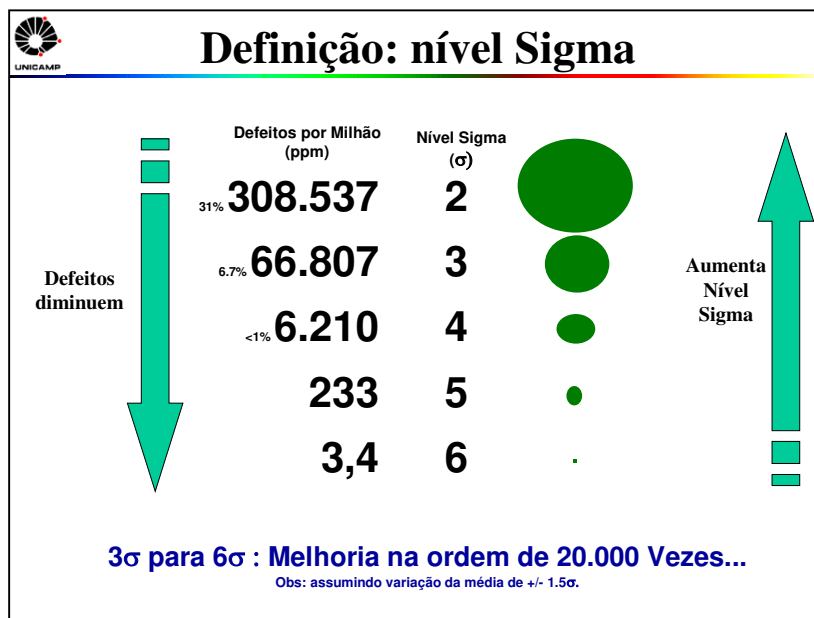


Figura 2.1 - Os níveis de defeitos para os devidos níveis sigma (Fonte: Rath & Strong, 2001)

A tabela completa da comparação do nível sigma com as perdas está na Tabela VI dos Anexos.

Veja abaixo na Tabela 2.1 (Goh, 2003), a comparação do nível de defeitos de um processo teórico de curto prazo ou centrado (sem deslocamento de 1,5 sigma ao longo do tempo) com um processo real, de longo prazo ou deslocado 1,5 sigma do valor central (Figura 2.1). Como este trabalho foi focado na implementação prática, todos os valores de nível sigma serão baseados na Figura 2.1 ou no DPMO de longo prazo.

Tabela 2.1: Comparação nível Sigma com DPMO - Processo de curto e longo prazo (Fonte: Goh, 2003)

Nível Sigma	DPMO (curto prazo) Processo centralizado	DPMO (longo prazo) Processo descentralizado 1,5 sigma
1	317.400	691.462,0
2	45.600	308.537,0
3	2.700	66.807,0
4	63	6.209,7
5	0,57	232,7
6	0,002	3,4

Outro ponto importante a ser mencionado é o forte controle num processo Seis Sigma. Um processo Seis Sigma estabelece controle muito mais rígido para se obter o resultado esperado. Nos gráficos das Figuras 2.2 e 2.3 estão exemplificados outra forma de comparação dos objetivos do Seis Sigma em relação à visão clássica de processos. Enquanto num processo no longo prazo (média deslocada até 1,5 sigma) de capacidade 3 Sigma apenas 93,3% das oportunidades estão dentro dos limites de especificação, num processo Seis Sigma, essa porcentagem se eleva para 99,99966%. As barras estão limitando a especificação desejada: LIE = Limite Inferior de Especificação e LSE= Limite Superior de Especificação. Em outras palavras, enquanto em um processo Clássico (Figura 2.2) era razoável se ter 66.807 defeitos a cada um milhão de oportunidades (nível sigma 3 = 6,7% de defeitos), um processo Seis Sigma deve apresentar apenas 3,4 defeitos, ou seja, cerca de 20.000 vezes menor (Figura 2.3). As fórmulas do desvio padrão (sigma), da Capacidade do Processo (Cp) e da Centralização do Processo (Cpk) estão apresentadas na Figura 2.2. Em termos práticos, se o Cp é igual a 1, o processo tem capacidade

de entregar exatamente dentro dos limites de especificação, sem folga. Se o C_p é igual a 2, o processo tem o dobro da capacidade de entregar dentro da especificação. As 2 afirmações acima são válidas se o processo estiver centrado, ou seja, C_p é igual ao C_{pk} (a média está equidistante dos limites de especificação). Nas Figuras C e D dos Apêndices estão apresentados respectivamente um processo 3 e 6 sigma de curto prazo (sem o deslocamento de 1,5 sigma da média). Mais uma vez, como este trabalho foi focado na implementação prática, todos os valores de nível sigma serão baseados no processo de longo prazo (deslocamento de 1,5 sigma da média).

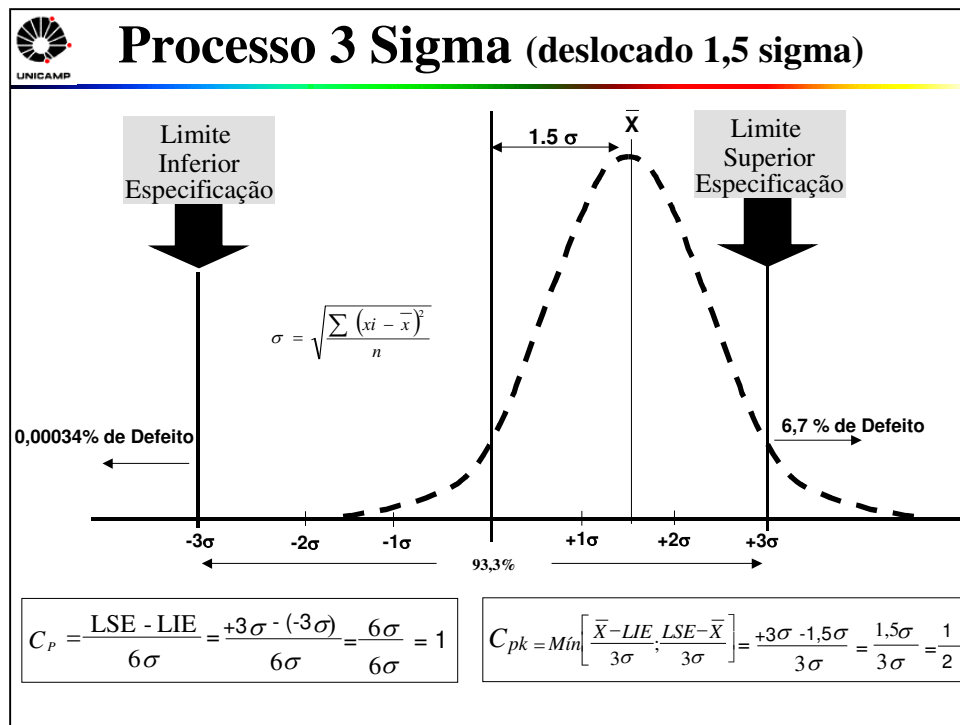


Figura 2.2 - Gráficos de capacidade 3 Sigma - deslocado 1,5 sigma (Fonte: o próprio autor)

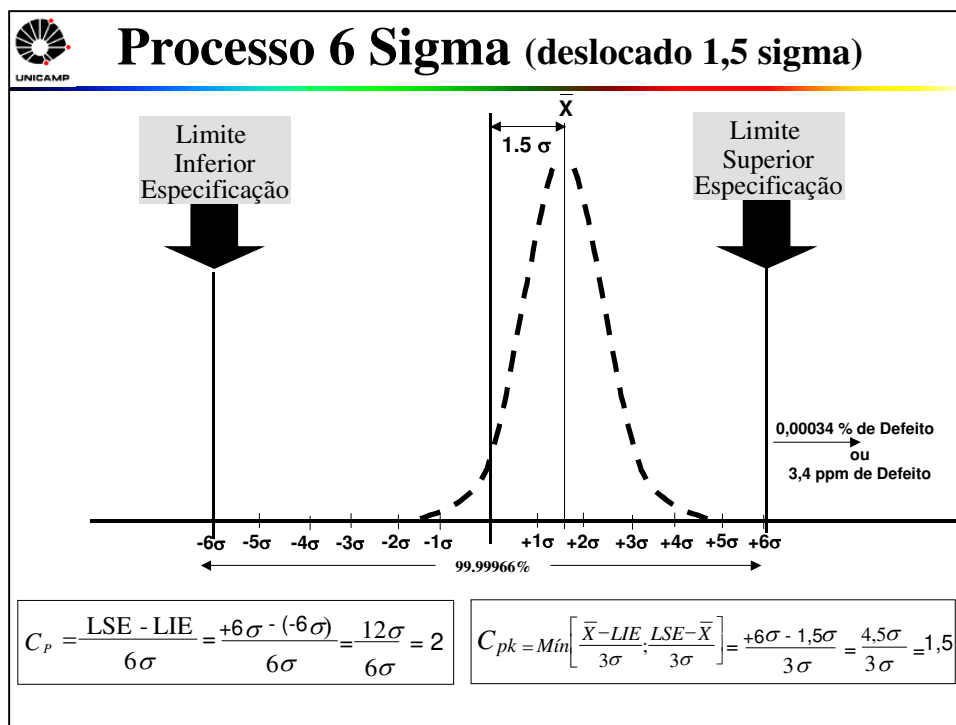


Figura 2.3 - Gráficos de capacidade 6 Sigma - deslocado 1,5 sigma (Fonte: o próprio autor)

2.2. Histórico Seis Sigma

Coronado (2002) reporta que a abordagem Seis Sigma foi desenvolvida pela empresa Motorola, na década de 80, com o objetivo de reduzir a taxa de falhas em seus produtos eletrônicos no processo de manufatura. Seis Sigma foi apresentado como uma filosofia operando segundo os princípios da Gestão da Qualidade Total com uma intensa utilização de métodos estatísticos e ferramentas da qualidade. O objetivo do programa era desafiar o desempenho com zero defeito, melhorando a confiabilidade do produto final e a redução de perda ou sucata. Naquela época, a Motorola fez comparações entre os resultados internos de pedidos, pagamentos de fatura e ordens de pagamento, por exemplo, com os índices de perda de bagagem aérea, de contas de restaurante e de prescrição de medicamentos. Em adição, foram pesquisadas empresas reconhecidas como de alta qualidade e níveis elevados de satisfação do cliente ("best-in-class") e comparadas com empresas de desempenho médio. Os dados das empresas médias foram desenhados num gráfico e o seu nível de falha associado a um nível sigma. As empresas médias tinham taxas de falhas numa faixa de 3.000 a 10.000 por milhão de oportunidades, o que é equivalente a um nível sigma entre 3 e 4. Os resultados das melhores empresas, as tais "best-in-class", foram próximos a 3,4 falhas por milhão, que é equivalente ao nível de Seis Sigma. A

partir desta constatação, a Motorola estabeleceu como meta de qualidade a obtenção do Seis Sigma em 1993. Foi então que muitas outras empresas começaram a aplicar o Seis Sigma com o objetivo de reduzir custos, como a Allied Signal e Dow Chemical.

A popularização do Seis Sigma ocorreu na década de 90 e teve como líder John F. Welch, então presidente da empresa General Electric (GE). Interessante ressaltar que até conhecer a metodologia, ele desacreditava em qualquer programa de qualidade, pois dizia ser apenas custo e não investimento. Segundo Welch, Seis Sigma tem sido "a mais importante iniciativa que a General Electric já empreendeu". Tanto que a partir de 1995, todo processo da GE, desde turbinas de aviões até as empresas financeiras, trabalharam para obter o desempenho Seis Sigma.

Muitas empresas atualmente utilizam a metodologia Seis Sigma.

Abaixo alguns exemplos:

- Manufatura: GE, Motorola, Allied Signal, Sony, Ford, Hitachi, Nokia, Bombardier, Toshiba e Samsung.
- Empresas de Serviço: Chase Manhattan, GE Capital, American Express, Citigroup, Carlson School of Management.
- Indústrias Químicas: Allied Signal, GE Plastics, DuPont, Dow, LG Chemical, Polaroid, FMC, OSRAM Sylvania e Johnson & Johnson.

2.3. Métricas Seis Sigma

• Definição das Métricas

As métricas ou o foco dos projetos Seis Sigma nunca são os resultados financeiros, porém aplicando-se a metodologia sempre se tem retorno sobre o investimento como consequência.

Segundo Einset (2002), estima-se que a média das indústrias opera em um nível de qualidade de 3 sigma, e que isso custa em torno de 20% de seu faturamento em desperdícios como retrabalho, inspeções, testes, perdas, desgaste da imagem e por fim, até mesmo perda de clientes. Com a abordagem Seis Sigma esses gastos são minimizados. A estimativa dos analistas de mercado é de que, em curto prazo, as indústrias de transformação que não estiverem com um nível de qualidade Seis Sigma estarão sem capacidade competitiva. Ter nível Seis Sigma significa operar em classe mundial.

Rudisill (2004) sugere que as métricas mais comuns em um projeto Seis Sigma são:

- DPMO (Defeitos Por Milhão de Oportunidades): equação definida pelo número de defeitos vezes 1.000.000 dividido pelo número de unidades vezes número de oportunidades por unidade;
- Cpk: distância entre a média do processo e o mais próximo limite de especificação dividido por 3 sigma, onde sigma representa o desvio padrão do processo;
- COPQ (Cost of Poor Quality ou Custo da Baixa Qualidade): uma porcentagem das vendas; custos da qualidade baixa são aqueles associados com perdas ou desperdício, retrabalho, testes de avaliação;
- Nível Sigma: número de desvio padrão, sigma, entre a média do processo e o mais próximo dos limites de especificação.

A Tabela 2.2, baseada no gráfico de Einset (2002), apresenta o impacto financeiro em relação aos diversos níveis sigma, considerando o processo descentralizado em 1,5 sigma. As implicações das falhas podem ser aplicadas a qualquer produto, processo ou serviço.

Tabela 2.2: A escalada da qualidade (Fonte: Einset, 2002)

Nível Sigma	Defeitos por milhão (DPMO)	Custo da Baixa Qualidade (% das vendas)
6 sigma	3,4	< 5
5 sigma	233	5 a 10
4 sigma	6.210	10 a 15
3 sigma	66.807	15 a 20
2 sigma	308.537	20 a 25
1 sigma	691.462	> 25

Observa-se na tabela acima que a cada variação de 1 nível sigma aumenta em 5% o Custo da Baixa Qualidade uma vez que os defeitos vão agregando custo ao longo das fases do processo e potencializam o prejuízo conforme se demora para serem detectados. O impacto nas vendas de um defeito descoberto internamente num teste de liberação é bem menor que o defeito descoberto no cliente (custos adicionais de frete, retrabalho, potencial problema gerado pelo defeito no

processo do cliente, e finalmente, efeito irremediável na imagem da empresa perante o cliente). O método padrão de se determinar o Defeito por Milhão de Oportunidades (DPMO = Defects Per Million Opportunities) é: utilizando os dados reais do processo contar quantos defeitos/oportunidades estão fora dos limites de especificação do cliente, e então colocar na escala de milhões de oportunidade (mais sensível que porcentagem). Importante ressaltar que no processo deste estudo de caso, toda a perda (defeito) era descartada internamente e, portanto, não havia nenhum risco de produto defeituoso ser vendido, desde que o plano de controle fosse seguido à risca. Portanto, não havia este impacto potencializado nas vendas ou no cliente.

- **Importância da determinação das metas**

Linderman (2003) descreve a importância de se determinar uma meta desafiadora (porém atingível) para se conseguir um desempenho melhor. Também a determinação de metas específicas (ou seja, focadas) gera desempenhos ainda maiores. Portanto, estes são os princípios básicos na determinação das metas do Seis Sigma:

- Desafiadoras;
- Focadas.

Linderman (2003) detalha ainda mais a importância da determinação de metas desafiadoras e específicas (focadas) que permitem as seguintes 10 premissas:

- Projetos Seis Sigma que empregam metas específicas e desafiadoras resultam em melhores desempenhos que projetos que não as utilizam. Porém, cuidado com metas desafiadoras demais, pois pode desmotivar a equipe. Treinamentos são focados para reduzir a ansiedade da equipe e acreditar em desafios como agente de mudanças;
- Treinamento em Seis Sigma aumenta o comprometimento da equipe com as metas porque a linguagem é uniforme e não se têm diferentes interpretações;
- Projetos Seis Sigma que não têm metas focadas acabam com resultados dispersos: se a linha de base não é claramente definida podem-se ter resultados além ou aquém do realmente necessário, não otimizando a relação recurso/benefício;
- O uso de um método estruturado como Seis Sigma aumenta o desempenho diante de tarefas complexas: uma vez que o treinamento é realizado concomitantemente com um projeto, a ênfase está na aplicação das ferramentas aprendidas;

- Empregados que recebem treinamento Seis Sigma têm melhor desempenho diante de problemas complexos: o princípio do Seis Sigma é detalhar o problema, transformando-o em vários problemas mais simples;
- Treinamento diferenciado baseado no grau de envolvimento na implementação da melhoria aumenta o desempenho: módulos específicos de “Green Belt”, “Black Belt”, dependendo da complexidade do projeto;
- Exigência da liderança aumenta o comprometimento com as metas por parte da equipe: ligação das metas dos projetos com as metas de avaliação de desempenho;
- Especialistas em melhoria (“Champions”, “Black Belts”, “Master Black Belts”) servem como exemplo aumentando o comprometimento com as metas: o Seis Sigma institui incentivos e reconhecimento com o atendimento das metas;
- Empresas que têm incentivos especiais aos profissionais que trabalham com o Seis Sigma têm um maior comprometimento com as metas;
- Metas Seis Sigma específicas resultam maior persistência da equipe em alcançá-las;

Concluindo, Linderman (2003) esclarece que projetos de melhoria Seis Sigma freqüentemente utilizam metas explícitas para motivar desempenho. Deve-se tomar cuidado especial para que estas metas não criem a ilusão de que sua determinação é apenas uma atividade técnica. O fator comportamento também é importante. Os líderes têm que indicar metas que os membros da equipe tecnicamente acreditem e se desafiem a atingi-las.

2.4. Definição de variação (causas especiais e causas comuns)

Baseado em Rath & Strong (2001), nunca 2 eventos são exatamente iguais:

- Como um processo é composto, variará de um dia para outro;
- Medidas coletadas de um processo variarão ao longo do tempo;
- Quantificar o quanto varia um processo é um passo crítico para a melhoria;
- Entender quais as causas da variação auxilia a decidir que tipos de ação são mais prováveis para conduzir a uma melhoria perene.

O quanto um processo varia revela o quanto ele é realmente capaz. As especificações demonstram o quanto se deseja que um processo seja capaz. Tradicionalmente, qualquer valor dentro das especificações era visto como aceitável. Na nova visão, qualquer variação de uma

característica em relação ao alvo, é considerada uma perda. Quanto maior a variação, maior a perda. Abaixo a definição de causa especial e causa comum:

- **Causa especial:** significa que algum evento diferente aconteceu em um certo momento ou lugar. A estratégia para minimizar esta variação é:
 - Obter dados identificando o tempo da coleta;
 - Tomar ações imediatas para consertar o estrago;
 - Imediatamente investigar a causa (o que ocorreu de diferente) e isolá-la;
 - Desenvolver uma ação corretiva de longo prazo para prevenir que esta causa especial não ocorra novamente. Por outro lado, se o efeito é bom, retenha esta lição.
- **Causa comum:** está sempre presente em alguma etapa do processo. A estratégia para minimizar esta variação é:
 - Melhorar a capacidade do processo: o processo é estável, porém não no nível desejado pelo cliente. Neste caso, o uso do DMAIC é aconselhável!

2.5. Fatores Críticos de Sucesso para a implementação do Seis Sigma

Coronado (2002) afirma que várias organizações adotaram a metodologia Seis Sigma, porém nem todas estão tendo sucesso. Analisando estas organizações alguns fatores foram críticos para determinar o sucesso ou fracasso. Este resultado contrastante é gerado pela diferença entre estas organizações em dar a devida importância para os ‘Fatores Críticos de Sucesso’ para a implementação da metodologia Seis Sigma. “Fatores Críticos de Sucesso são os fatores fundamentais para o sucesso de uma organização, sendo que, se os objetivos associados a estes fatores não são atingidos, a organização falhará e muitas vezes, catastróficamente”. No contexto da implementação de projetos Seis Sigma, os ‘Fatores Críticos de Sucesso’ representam os ingredientes essenciais, sem os quais os projetos não têm a mínima chance de ter sucesso. Abaixo estão descritos os 12 principais ‘Fatores Críticos de Sucesso’ para a implementação da metodologia Seis Sigma, segundo Coronado (2002):

- **Envolvimento e Comprometimento da Alta Gerência:** todas as empresas que adotaram a metodologia Seis Sigma concordam que dentre os Fatores Críticos de Sucesso, o mais importante é o contínuo apoio e entusiasmo da alta gerência. “Os 3 principais fatores para o sucesso na implementação da Metodologia Seis Sigma é:

comprometimento da alta gerência, comprometimento da alta gerência, comprometimento da alta gerência.” (Challener, 2004). Os presidentes, diretores e gerentes de alto escalão devem dar o exemplo e medir o desempenho de seus subordinados através dos indicadores de sucesso do Seis Sigma. Jack Welch, último presidente da GE, participava pessoalmente de todas as revisões semanais e mensais de acompanhamento dos projetos e fazia visita às plantas para verificar o quanto os gerentes operacionais e colaboradores estavam engajados na cultura Seis Sigma. Sem o envolvimento e suporte da alta gerência, a verdadeira importância da iniciativa será questionada e a energia por trás da implementação será enfraquecida. Qualquer gerente achará muito fácil dizer que está envolvido com a implantação da metodologia Seis Sigma. Entretanto, estar envolvido com ações isoladas é uma coisa, mas para o sucesso da implementação os gerentes devem obrigatoriamente estar comprometidos, através da criação e participação do sistema de gerenciamento, além de participar e liderar seus próprios projetos. Seis Sigma tem que ser parte da função, da rotina diária de cada gerente, tanto de alto escalão quanto operacional.

- **Mudança Cultural:** a metodologia Seis Sigma é considerada uma estratégia de ruptura ou quebra de paradigma porque envolve ajustes nos valores e cultura da organização, para sua implementação. Também pode envolver substancial mudança na estrutura da organização. Frequentemente quando mudanças profundas ocorrem, as pessoas envolvidas ficam com receio do desconhecido e se tornam um obstáculo, com frases típicas: “já tentamos isto antes e não funciona na nossa organização” ou “esta é a maneira que sempre trabalhamos”. Para eliminar esta imensa barreira, os líderes têm que conduzir a implementação demonstrando, através do seu exemplo, que defeitos não devem ser escondidos por medo de punição, mas sim, são oportunidades para desenvolvimento, além da elevação técnica dos participantes, que será abordada num fator adiante. Continuando, Coronado (2002), descreve as 4 razões para resistência das pessoas envolvidas nesta mudança:

- **Técnica:** dificuldade de entender as ferramentas estatísticas. Treinamento se faz imprescindível, com exemplos do dia-a-dia para facilitar.

- **Política:** crença que a implementação da solução causará mais perdas de material. A estratégia, neste caso, é demonstrar a necessidade da melhoria e os efeitos benéficos de sua implementação.
- **Individual:** resultado de colaboradores altamente estressados com excesso de trabalho. Há a necessidade de se demonstrar o quanto a solução auxiliará na execução de tarefas repetitivas o que resultará em tempo para participar em mais projetos de melhoria no futuro.
- **Organizacional:** esta é a barreira mais difícil de ser removida porque a cultura de toda a organização foi formada pelo discurso dos seus gerentes. Neste caso, uma intensa comunicação dos benefícios da mudança tem que ser passada pelos próprios gerentes formadores de opinião.
- **Comunicação:** um plano de comunicação é importante para envolver as pessoas na iniciativa Seis Sigma, esclarecendo como funciona, como interferirá na sua rotina de trabalho e principalmente os benefícios de sua implementação. Esta é a melhor maneira de diminuir ou até eliminar qualquer fonte de resistência. Uma clara definição de quem fará a comunicação e com que frequência é fundamental. Um exemplo de comunicação foi o distintivo utilizado pelos colaboradores da Sony com o “slogan: mostra-me os dados”, comunicando o novo estilo de gerenciamento baseados em fatos e dados e não mais em intuição. Outra forma de comunicação muito eficiente é a publicação de projetos e seus resultados, principalmente se evidenciam as lições aprendidas: prevenção para futuros projetos.
- **Infra-estrutura da organização:** para a implantação da metodologia Seis Sigma com sucesso, algumas características organizacionais são necessárias. Como exemplo, habilidades de transparência na comunicação, estratégia de longo prazo e principalmente trabalho em equipe, além de suficiente investimento e recursos para embarcar na metodologia Seis Sigma. O trabalho em equipe é muito importante por causa do senso de propriedade de processo de seus membros, da comunicação fácil e da visão geral da organização. As organizações que tiveram sucesso com a aplicação do Seis Sigma fizeram um substancial investimento inicial para seu lançamento. Neste investimento inclui folha de pagamento direta (promoções, nomeações, contratações) e indireta (consultoria), treinamentos internos e externos, além de financiamento em

planos de implementações de ações de melhoria originada dos projetos. Exemplos de estrutura Seis Sigma serão detalhados à frente, ainda dentro deste capítulo.

- **Treinamento:** é um fator crítico importantíssimo. Quanto antes se treinar e comunicar o ‘porquê’ e o ‘como’ da implementação do Seis Sigma, melhor. Esta atitude diminuirá a ansiedade dos participantes e sessões intensivas de treinamento, quer seja de “green belt” ou “black belt”, será a fonte de conhecimento teórico que embasará toda a aplicação das ferramentas estatísticas a serem empregadas. Normalmente as sessões de treinamento se iniciam com a alta gerência executando o treinamento de “champion” e em seguida se iniciam as sessões de treinamento dos “belts”. A seleção das pessoas para serem “green” e “black belts” será tratada a frente. Embora o treinamento formal seja passado apenas para os “belts” isto não significa que apenas estas pessoas são responsáveis pelo Seis Sigma dentro da organização. Os “belts” são os agentes da mudança e devem disseminar a filosofia Seis Sigma por todas as áreas. Os operadores, colaboradores que melhor conhecem os detalhes de cada fase de cada processo devem também estar familiarizados com o Seis Sigma uma vez que são os principais contribuidores na consistência de qualidade dos produtos ou serviços. Exemplo de conteúdo de treinamento será exposto mais à frente.

- **Ligação da metodologia Seis Sigma com a estratégia do negócio:** o Seis Sigma não pode ser tratado como mais uma outra atividade paralela. É requerida aderência total a filosofia e não apenas ao uso de algumas ferramentas isoladas. Os projetos devem estar diretamente ligados a melhoria de produto e processo que impactarão significativamente nos objetivos operacionais e financeiros da organização, e também afetarão positivamente os negócios dos clientes.

- **Ligação do Seis Sigma com o cliente:** o Seis Sigma deve iniciar e terminar com o cliente. Projetos devem iniciar com a determinação dos requisitos dos clientes. Um ponto importante é a identificação das características críticas de qualidade para os clientes, também conhecida como CTQs (“Critical-to-Quality”). Antes do início de qualquer projeto Seis Sigma, os CTQs devem ser determinados quantitativamente e poderão ser métricas primárias ou contra-medidas do projeto. Contra-medida são as métricas que precisam ser no mínimo mantidas durante a implementação das melhorias. Muitas vezes, a quantificação dos CTQs é uma tarefa bastante difícil, especialmente

quando os requisitos são ambíguos, subjetivos ou pobremente definidos. Entretanto, é necessário se eliminar ambigüidades através de priorização, implantar alguma maneira de quantificar a subjetividade através de escala numérica, por exemplo, e por fim, utilizar ferramenta para se esclarecer a real importância de um CTQ. Uma ferramenta bastante conhecida e amplamente utilizada neste caso é a QFD (“Quality Function Deployment”), ou seja, uma matriz de Desdobramento da Função Qualidade.

- **Ligação do Seis Sigma com Recursos Humanos:** mudança de comportamento profunda à curto e longo prazo requer que os objetivos Seis Sigma sejam internalizados no nível individual. Portanto, a área de RH da organização deve ser envolvida para promover a correta preparação das pessoas para as mudanças. Incorporando os resultados do Seis Sigma à parcela variável dos colaboradores é uma ótima maneira de se obter total engajamento de todos. Por exemplo, na GE 40% do salário dos executivos estão atados aos resultados dos projetos Seis Sigma.
- **Ligação do Seis Sigma com os fornecedores:** as organizações precisam expandir a filosofia Seis Sigma além de suas ‘fronteiras’. Uma excelente maneira de expandir a metodologia rapidamente é envolvendo fornecedores chave, tornando-os parceiros dividindo os ganhos atingidos pelos projetos em conjunto. O resultado é duplicado (relação ganha-ganha), pois fideliza a relação e se reduz drasticamente a variabilidade dos insumos, comparado com materiais com fontes múltiplas de fornecimento.
- **Entender as ferramentas e técnicas inseridas na metodologia Seis Sigma:** durante o treinamento, os “belts” aprendem 3 conjuntos de ferramentas: liderança, processo, time. Como a abordagem da implementação Seis Sigma pode variar de organização para organização, os “belts” têm que ser hábeis na condução do projeto para se chegar à meta desejada. A abordagem mais comum é a metodologia de resolução de problemas DMAIC, utilizada no estudo de caso deste projeto, que será descrita no próximo capítulo. Qualquer que seja a abordagem, a utilização de ferramentas estatísticas é fortemente recomendada. Entretanto, em muitos casos, ferramentas estatísticas avançadas não são necessárias. É muito importantes o acompanhamento e suporte técnico de “belts” experientes na utilização das ferramentas. Em alguns casos, treinamentos específicos ou de reciclagem são necessários, pois se não

há a aplicação imediata dos conceitos, é comum que os membros das equipes esqueçam como se aplicam estas ferramentas corretamente.

- **Habilidades de Gerenciamento de Projetos:** os líderes, podendo ser “green” ou “black belts”, devem possuir conhecimentos práticos em gerenciamento de projetos. Muitos projetos falham devido à fraca habilidade do líder no gerenciamento do projeto, na determinação de agenda de atividades, regras da equipe e das reuniões, e principalmente na determinação de papéis e responsabilidades de cada membro da equipe. Tempo, custo e qualidade são elementos chave do gerenciamento de projetos. Definindo-os, a equipe se concentrará em determinar os recursos para aumentar os ganhos, até mesmo reduzindo o tempo e custos de implementação.
- **Seleção e priorização de projetos:** como o Seis Sigma é uma metodologia direcionada pela execução de projetos, é essencial selecionar os projetos que proverão o máximo benefício para a organização. Os projetos são escolhidos conforme eles impactam positivamente os objetivos de negócio da organização. Como este é um dos principais fatores crítico para o sucesso do Seis Sigma, mais a frente se apresentará em detalhes a importância e as maneiras de se priorizar projetos.

Finalmente, segundo Coronado (2002), todos estes 12 fatores descritos acima são essenciais e devem ser considerados para otimização do retorno financeiro e do conhecimento técnico dos colaboradores na implementação da metodologia Seis Sigma. A negligência em algum destes fatores determinará a diferença entre a implementação com sucesso e a completa perda de dinheiro, tempo e esforço, muitas vezes irremediável.

2.6. Equipe Seis Sigma

Para que uma empresa trabalhe com alto desempenho é necessário que se forme uma equipe de trabalho muito comprometida e competente. Uma equipe de trabalho deve conter membros muito bem treinados, com responsabilidades e papéis muito bem definidos.

a. Formação da Equipe

Nos capítulos 9 e 10 do livro Estratégia Seis Sigma de Pande (2001) os papéis-chave numa Organização Seis Sigma estão assim detalhados:

- **Conselho ou Grupo de Liderança:** Executivos devem ter um fórum onde possam discutir, planejar, orientar e aprender com a iniciativa. A Equipe de Liderança Seis

Sigma ou Conselho de Qualidade é de modo geral a mesma equipe da alta gerência já existente. Responsabilidades:

- Todas as funções de planejamento e marketing;
- Estabelecer os papéis e a infra-estrutura da iniciativa Seis Sigma;
- Selecionar projetos específicos e alocar adequadamente os recursos necessários;
- Rever, periodicamente, o progresso dos projetos e oferecer idéias e auxílio;
- Servir (individualmente) como “*champions*” de projetos Seis Sigma;
- Auxiliar a quantificar o impacto dos esforços Seis Sigma nos resultados da empresa;
- Avaliar o progresso e identificar pontos fortes e fracos do esforço;
- Compartilhar melhores práticas com toda a empresa;
- Compartilhar melhores práticas com fornecedores e clientes (quando for o caso);
- Agir como removedor de barreiras quando equipes identificarem bloqueios aparentes;
- Aplicar as lições aprendidas a seus estilos pessoais de gerência.

Reuniões mensais podem ser suficientes, mas sessões mais curtas e frequentes podem funcionar melhor para manter o passo e energia por trás das melhorias.

- **Patrocinador (“Champion”):** é o gerente sênior que supervisiona um projeto de melhoria. Responsabilidades:
 - Determinar e manter metas amplas para projetos de melhoria sob sua responsabilidade;
 - Determinar o caminho lógico do Projeto;
 - Assegurar que estejam alinhados com prioridades de negócios;
 - Aprovar mudanças no direcionamento e escopo do projeto (quando for o caso);
 - Encontrar e negociar a obtenção de recursos para projetos;
 - Representar a equipe perante o Grupo de Liderança;
 - Resolver questões ou sobreposições entre equipes ou com pessoas fora da equipe;
 - Aplicar seu conhecimento de melhoria de processos a próprias tarefas de gerência;
 - Trabalhar com Proprietários de Processos para assegurar perfeita transição de responsabilidade ao final de um projeto de melhoria.

- **Líder de Implementação:** a menos que um de seus altos executivos existentes planeje adicionar a administração dos esforços Seis Sigma a suas responsabilidades (que podem exigir muito tempo e energia), será necessário dedicar recursos à gestão do progresso e à logística do dia-a-dia. Um líder de implementação ou diretor de Seis Sigma poderá ser o suficiente. Responsabilidades:

- Apoiar o grupo de liderança, incluindo comunicação, seleção e análise de projetos;
- Identificar e recomendar indivíduos/grupos para preencher papéis-chave na estrutura das equipes, incluindo consultoria e suporte de treinamento externos;
- Preparar e executar planos de treinamento, incluindo programa, cronograma;
- Ajudar “champions” a desempenhar o papel de estimuladores de equipes;
- Documentar o progresso geral e suscitar questões que necessitem de atenção;
- Executar o plano de marketing interno para a iniciativa.

O talento e as energias exigidas para este papel podem ser enormes. Embora mais generalista do que especialista em Seis Sigma, este líder pode ter impacto muito maior no sucesso geral do que qualquer outro indivíduo.

- **“Coach” de Seis Sigma:** é um treinador ou consultor. Em muitos casos, os *Faixas-Preta* (“Black Belts”) e os *Mestres-Faixas-Preta* (“Master Black Belts”) se encaixam nesta descrição. Uma questão chave para o sucesso é definir acordos claros quanto aos papéis das pessoas e a extensão do envolvimento direto em projetos e processos. Existe linha tênue entre ajudar e interferir. O “coach” oferece conselhos e assistência especializados aos *Proprietários de Processos* e equipes de melhoria Seis Sigma. O “Coach” é um especialista em estatística e ferramentas Seis Sigma, embora o nível de especialização possa variar de empresa para empresa com base em como os papéis estejam estruturados e no nível de complexidade dos problemas. Responsabilidades:

- Auxiliar o Líder da Implementação na preparação e execução dos treinamentos;
- Estabelecer comunicação direta com o “champion” e o grupo de liderança;
- Estabelecer e cumprir um cronograma firme para o projeto;
- Lidar com resistências ou falta de cooperação das pessoas na organização;
- Estimar potencial e validar resultados efetivos dos projetos;

- Resolver desentendimentos ou conflitos entre membros de equipe;
 - Coletar e analisar dados sobre atividades de equipe;
 - Suportar equipes no reconhecimento e celebração de seus sucessos.
-
- **Líder de Equipe ou Líder de Projeto:** Indivíduo que assume a responsabilidade primária pelo trabalho e pelos resultados de um Projeto Seis Sigma. Focaliza em melhoria ou projeto/reprojeto de processos, mas também pode assumir esforços ligados a sistemas de Voz do Cliente, medição ou gestão de processos. O líder de equipe é crítico para a manutenção do projeto em seus trilhos e para assegurar que o progresso continue. Em muitas empresas, os líderes em projetos mais simples são os *Faixas-Verde* (“Green Belts”). Se a abrangência do projeto é multi-departamental ou o projeto tem uma alta complexidade técnica ou ainda, alto impacto financeiro o líder do projeto pode ser um *Faixa-Preta* (“Black Belt”).
Responsabilidades:
 - Rever e esclarecer o caminho lógico do projeto com o “champion”;
 - Desenvolver e atualizar a missão do projeto e seu plano de implementação;
 - Selecionar ou ajudar a selecionar os membros da equipe do projeto;
 - Identificar e procurar recursos e informações;
 - Definir e suportar o uso de ferramentas Seis Sigma, bem como técnicas de gerência de equipes e de reuniões;
 - Manter o cronograma do projeto em direção a soluções e resultados finais;
 - Apoiar a transferência de novas soluções ou processos para operações em andamento, ao mesmo tempo em que trabalha com gerentes funcionais e/ou proprietários de processos;
 - Documentar resultados finais e criar uma história do projeto.
 - **Membro de Equipe:** fornecem o cérebro e os músculos adicionais para a medição, análise e melhoria de um processo. Também ajudam a disseminar informações sobre ferramentas e processos Seis Sigma e se tornam parte da força reserva para projetos futuros.

- **Proprietário do Processo:** assume uma nova responsabilidade transfuncional para gerenciar um conjunto de passos de ponta-a-ponta que fornecem valor a um cliente interno ou externo. Recebe a transferência das responsabilidades do líder do projeto Seis Sigma, após seu fechamento, e é responsável por garantir que o plano de controle seja cumprido à risca. Também se torna o proprietário de processos novos e recém-projetados. Observe que o líder do projeto e o proprietário do processo podem ser a mesma pessoa. Assim como neste projeto, o proprietário do processo e o “Green Belt” era o Supervisor de Produção.

A Tabela 2.3 é um resumo das 7 funções descritas acima por Pande (2001).

Tabela 2.3: Exemplo de Equipes Seis Sigma (Fonte: Pande, 2001)

Papel Genérico	“Belts” ou Outros Títulos
1. Conselho de Liderança	Conselho da Qualidade, Comitê de Gestão Seis Sigma, Comitê Gerencial da Empresa.
2. Patrocinador	Champion, Proprietário de Processo.
3. Líder de Implementação	Diretor Seis Sigma, Líder da Qualidade, “Master Black Belt”.
4. “Coach”	“Master Black Belt”, “Black Belt”.
5. Líder de Equipe	“Black Belt”, “Green Belt”.
6. Membro de Equipe	“Green Belt”, Membro de Equipe.
7. Proprietário de Processo	“Champion”, “Green Belt”.

A Figura 2.4 define 2 opções de estrutura hierárquica.

Opção A	Opção B	
Champion	Master Black Belt — Champion	Supervisionar/ Guiar Projeto(s)
Master Black Belt	Black Belt	Dar “Coaching” / Suporte ao Líder do Projeto
Black Belt ou Green Belt	Green Belt ou Líder de Equipe	Levar o Projeto ao Sucesso
Equipe de Melhoria	Equipe de Melhoria	Analisar e Implementar a Melhoria

Figura 2.4 – Exemplos de Estrutura Seis Sigma (Fonte: Pande, 2001)

Kunes (2002) escreve que existe a necessidade de 1 “Master Black Belt” para suportar 10 “Black Belts”. Esta proporção é importante para que o “Master Black Belt” realmente dedique o tempo necessário para revisão e suporte da implementação dos projetos.

b. Questões de Clareza de Papéis

Para Pande (2001), responsabilidades sobrepostas e confusão quanto aos papéis podem criar desafios significativos, mesmo numa estrutura aparentemente clara. Um “champion” ávido, comparecendo a todas as reuniões de equipe, pode estar deixando o líder de equipe pouco à vontade e fazendo com que se sinta sem importância. Um “coach” que adota uma abordagem de distanciamento com a equipe que enfrenta dificuldades pode gerar frustração e desilusão na equipe. É importante tanto estabelecer diretrizes claras para cada papel quanto encorajar comunicação sobre como indivíduos podem adaptar seus papéis a seus estilos individuais. Outro ponto de conflito: quando funções existentes parecem se sobrepor às da estrutura Seis Sigma. Algumas empresas têm utilizado auditores de negócios e departamentos em seus esforços de melhoria. Incluir as responsabilidades atuais dessas pessoas no “mix” de atividades Seis Sigma é importante; ignorá-las apenas aumentará a probabilidade de confusão, ou mesmo de ressentimento. Não há qualquer resposta pronta quanto à melhor maneira de resolver questões de papéis, mas o objetivo mais importante é assegurar que todos os papéis potencialmente em duplicata sejam eliminados.

c. Considerações quanto à definição do Papel de “Black Belt” (Pande, 2001)

- **Desenvolvimento de habilidades gerenciais:** a finalidade do desenvolvimento de “Black Belts” é a de aprimorar as habilidades de gerentes e líderes. São selecionados internamente na empresa e designados para liderar projetos de melhoria.
 - Prós:
 - Pessoas já com experiência direta na organização e nos processos para trabalhar em oportunidades de melhoria;
 - Gerentes de nível médio diretamente no esforço Seis Sigma;
 - Possuem familiaridade com políticas e pessoas da organização, o que significa poderem suportar a seleção de membros de equipe;

- Quando conhecidos e respeitados, podem ajudar a convencer outros funcionários da empresa sobre a eficiência da metodologia Seis Sigma;
- Adiciona conhecimento e habilidades do Seis Sigma no talento gerencial.
 - **Contras:**
 - Pode desviar talento gerencial das operações do dia-a-dia;
 - Pode prolongar tempo na rampa de acesso necessário para treinar e familiarizar “Black Belts” com métodos Seis Sigma.
- **Construir especialização técnica:** estabelecer “Black Belts” como cargo permanente e caminho de carreira. Tenderão a contratar ou selecionar e treinar pessoas com habilidades e aptidões focalizadas em Seis Sigma. Embora possa liderar projetos, encaixa melhor como “coach” e seu avanço seria dentre as fileiras do grupo especialista em Seis Sigma.
 - **Prós:**
 - Permite conhecimento especializado em Seis Sigma aplicado imediatamente.
 - Permite elevar nível do rigor do treinamento.
 - Mantém recursos focalizados, ao invés de dispersá-los pela organização.
 - Pode permitir maior número de projetos.
 - **Contras:**
 - “Black Belts” tecnicamente orientados podem possuir menores conhecimentos ou experiência organizacionais.
 - Não ‘semear’ as fileiras gerenciais e profissionais com líderes de projetos Seis Sigma experimentados e treinados.
- **Abordagem híbrida:** mistura das duas abordagens pode funcionar melhor: selecionar “Black Belts” dos grupos gerenciais existentes e selecionar outros de fora especificamente para serem os músculos técnicos do Seis Sigma. No modelo híbrido, você teria a escolha de denominar o grupo temporário de “Green Belts” e os especialistas técnicos de “Black Belts” ou “Master Black Belts”.

Segundo Gross (2001), o “Black Belt” deve implementar pelo menos 2 projetos com sucesso para ganhar a sua certificação. O “Green Belt” deve liderar com sucesso pelo menos 1 projeto para a certificação. Entende-se como sucesso, a aplicação de ferramentas estatísticas e

fechamento do projeto com os resultados demonstrando o objetivo atingido ou superado. Idealmente, após o treinamento e certificação de suficiente número de “Green Belts”, deve ser instituída uma política requerendo que todos os candidatos a “Black Belt” devem ser “Green Belts” certificados. Esta política estabelece uma motivação à certificação bem como eleva o nível dos “Black Belts”, devido a pré-experiência na liderança de um projeto Seis Sigma.

Projeto de alto risco, de longo prazo, de alto retorno ou com muitos departamentos envolvidos deve ser liderado pelo “Black Belt” mais experiente da organização, uma vez que experiência será crucial para o sucesso de um importante projeto Seis Sigma (Lynch, 2003).

d. Seleção de Membros de Equipes de Projetos

Segundo Pande (2001), atenção especial deve ser dada para que a equipe não seja sobrecarregada com membros em demasia. É comum se exagerar nos primeiros projetos incluindo na equipe toda pessoa cuja habilidade ou contribuição possa vir a ser necessária durante algum momento do projeto. Equipes grandes movem-se vagarosamente e seus membros tendem a ser menos engajados e entusiasmados. Um número bom está entre 5 a 8 pessoas, apesar de não existir regra fixa. Acima disso, a comunicação tende a ser excessivamente complicada, as decisões mais difíceis de serem tomadas e a coesão fraca.

Baseado em Pande (2001), as perguntas-chave para seleção de membros de equipe são:

- Quem tem o melhor conhecimento do processo que está sendo melhorado?
- Quem tem o maior conhecimento do problema e/ou o melhor acesso aos dados?
- Quais as habilidades-chave que serão necessárias ao longo do decurso do projeto?
- Que grupos ou funções serão mais diretamente afetados pelo projeto?
- Que grau de representação gerencial/de linha de frente será provavelmente necessário?
- Que habilidades, funções ou níveis organizacionais podem ser obtidos durante o projeto, quando se fizerem necessárias?

2.7. Treinamento na Metodologia Seis Sigma

Para Bigelow (2002), para se atingir eficiência operacional, tem-se que providenciar para o maior ativo de todas as empresa – as pessoas ou os colaboradores – as ferramentas e treinamentos

adequados para que cada função seja executada de maneira correta na primeira vez. O atendimento da excelência operacional envolve um ciclo com:

- Claro estabelecimento,
- Efetiva comunicação e
- Constante avaliação dos requisitos dos clientes.

Muitas empresas acabam não controlando quantas vezes um colaborador foi treinado no mesmo assunto e, portanto não faz nenhuma investigação de qual a causa raiz da inabilidade do aprendizado. Uma vez que na implantação do Seis Sigma, o aprendizado na utilização das ferramentas é fundamental, fica como sugestão quanto ao treinamento, segundo Bigelow (2002):

- Seja ministrado por treinador plenamente qualificado (“Master Black Belt”, “Black Belt” ou “Coach” Seis Sigma);
- Seja medida a eficiência do treinamento:
 - a. Relatório formal com pontos positivos e oportunidades levantadas anonimamente pelos participantes (com plano de ação para melhorias);
 - b. Material para estudo antes do treinamento com avaliação da absorção inicial;
 - c. Avaliação teórica imediatamente após o treinamento com reorientação específica, caso necessário;
 - d. Acompanhamento intensivo do primeiro projeto, no uso das ferramentas.

Gross (2001) apresenta 3 níveis de treinamento Seis Sigma, aumentando o nível de treinamento em ferramentas estatísticas, de resolução de problemas e de gerenciamento de mudanças, conforme aumenta a graduação análoga as artes marciais:

- “Green Belt”: todos os mensalistas de uma organização devem passar por este treinamento, com a aplicação em pelo menos 1 projeto para que o treinamento não fique apenas na teoria e o funcionário tenha que ser retreinado no momento da participação ou liderança de 1 projeto;
- “Black Belt”: treinamento técnico e pequeno foco em gerenciamento de mudanças;
- “Master Black Belt”: treinamento técnico e de gerente de mudanças.

a. Princípios Básicos do Treinamento Seis Sigma

Hahn (2001) descreve 7 dicas de boas práticas envolvidas no treinamento Seis Sigma:

- **Mapa Rodoviário (“Roadmap”):** a integração das ferramentas no tradicional DMAIC permite que o treinando aprenda como as ferramentas se encaixam no processo de melhoria. Isto contrasta com treinamentos tradicionais com aprendizado ‘solto’ das ferramentas estatísticas;
- **Teoria versus aplicação:** ensinar as ferramentas com suas aplicações na ‘vida real’ e omitir a maçante fundamentação matemática das mesmas;
- **Premissas envolvidas:** não omitir as premissas por trás das ferramentas para saber como proceder se alguma premissa é violada;
- **Treinadores:** devem ser entusiastas, normalmente experientes “Black Belts” ou “Master Black Belts” que conhecem sobre aplicações e negócios, além de conhecer princípios básicos de treinamento para adultos;
- **Implementação:** as ferramentas devem estar inseridas em programas estatísticos computadorizados ‘amigáveis’, de fácil utilização, como Excel e Minitab;
- **Ligação com projeto:** o aprendizado teórico do treinamento deve ser aplicado simultaneamente com a execução de projetos, com bom senso das ferramentas que são adequadas a específicos projetos;
- **Treinamento personalizado:** adaptar o material à audiência: exemplo: engenheiros, administradores ou vendedores;

b. Modelos de Conteúdo de Treinamento do Seis Sigma

Hahn (2001) sugere o seguinte treinamento técnico (ferramentas) do Seis Sigma, conforme mostrado na Tabela 2.4:

Tabela 2.4: Exemplo de Treinamento Ferramentas Seis Sigma (Fonte: Hahn, 2001)

Semana	Escopo	Ferramentas
1	Definir e Medir	Visão Geral do Seis Sigma
		DMAIC roadmap
		Mapa do Processo
		Matriz Causa e Efeito
		Capacidade do Processo
		Estatística Básica em Minitab
		Desenvolvimento de Equipes
		Análise do Sistema de Medição
2	Analisar	FMEA
		Pensamento Estatístico
		Teste de Hipótese
		Análise de Correlação
		Regressão
		Análise Multivari
3	Implementar	Análise de Variância
		DOE fatorial completo
		DOE fatorial fracionado
		DOE blocos
		DOE superfície de resposta
4	Controlar	Plano de Controle
		Mecanismo à prova de erros
		Aplicações especiais
		Exercício prático final

Pande (2001) sugere um modelo de treinamento gerencial do Seis Sigma (Tabela 2.5), com uma programação total de 20 a 44 dias, dependendo do aprofundamento desejado em cada um dos componentes do treinamento. Entre as semanas de treinamento normalmente existem semanas de ‘folga’, quando os treinandos trabalham nos seus projetos Seis Sigma. As dificuldades são trazidas para o próximo módulo durante a revisão dos projetos. Não está se sugerindo que todos os grupos mencionados necessitam de todos os elementos de treinamento indicados. Devem ser selecionados de acordo com habilidades e prioridades atuais. Por outro lado, os líderes de empresa não podem esperar delegar toda a responsabilidade de aprender novas habilidades e conceitos a outras pessoas da organização. Treinamento em Seis Sigma, com o tempo, vai se tornar como uma habilidade de liderança empresarial à medida que essas práticas e ferramentas se tornarem uma parte importante da expansão de uma excelente organização.

Tabela 2.5: Exemplo de Grade de Treinamento Gerencial (Fonte: Pande, 2001)

Componente de Treinamento	Conteúdo-Chave	Público	Tempo
Orientação aos conceitos Seis Sigma	Princípios básicos Seis Sigma; revisão da necessidade da empresa para o Seis Sigma.	Todos	1-2 dias
Esforços Principais e Champions Seis Sigma	Exigências do papel e das habilidades para o Conselho de Liderança e Patrocinadores, seleção de projeto; revisão de projetos de equipe.	Líderes de empresas; Líderes de implementação.	1-2 dias
Processos Seis Sigma e Ferramentas para Líderes	Instrução condensada e adaptada da medição e dos processos/ferramentas de análise do Seis Sigma	Líderes de empresas; Líderes de implementação.	3-5 dias
Mudança Principal	Conceitos e práticas para estabelecer direção, promoção e orientação para a mudança organizacional.	Líderes de empresas; Líderes de implementação; Master Black Belts; Líderes de equipe; Black Belts.	2-5 dias
Treinamento de Habilidades Básicas para a Melhoria do Seis Sigma	Melhoria do processo, projeto/reprojeto, medição essencial e ferramentas de melhorias.	Líderes de equipe; Black Belts; Gerentes/Green Belts; Membros da equipe; Champions de projeto.	6-10 dias
Colaboração e Habilidades de Liderança da Equipe	Habilidades e métodos para desenvolver consenso, discussões principais, condução de reuniões, administrando desavenças.	Líderes de empresa; Master Black Belts; Líderes de equipe; Gerentes/Green Belts; Membros de equipe.	2-5 dias
Intermediar a Medição Seis Sigma e as Ferramentas Analíticas	Habilidades técnicas para desafios de projetos mais complexos: amostragem e coleta de dados; controle estatístico de processo - testes de significância estatística; correlação e regressão; planejamento de experimentos básico.	Master Black Belts; Líderes de equipe; Black Belts;	2-6 dias
Ferramentas Avançadas Seis Sigma	Módulos em habilidades de especialização e ferramentas: utilização do QFD; análise estatística avançada; DOE avançado; métodos Taguchi, etc.	Master Black Belts; Consultores internos.	Varia por tópico
Princípios e Habilidades do Gerenciamento de Processos	Definir um processo essencial ou de apoio; identificar resultados, exigências e medidas críticas; planos para monitoramento e resposta.	Proprietários do processo; Líderes de empresa; Gerentes funcionais.	2-5 dias

2.8. Princípios da Metodologia Seis Sigma

Existem 6 temas que são princípios, sustentados por muitas das ferramentas e Metodologia do Seis Sigma. São eles, segundo Pande (2001):

- **Foco genuíno no cliente:** no Seis Sigma o foco no cliente torna-se a prioridade principal. As melhorias Seis Sigma são definidas pelo seu impacto sobre a satisfação e valores dos clientes.
- **Gerenciamento Dirigido para Dados e Fatos:** o Seis Sigma leva o conceito de ‘gerenciamento de fatos’ a um novo e mais poderoso nível. A disciplina Seis Sigma começa esclarecendo que mediadas são chave para avaliar o desempenho de negócios, depois ela aplica dados e análises de modo a construir um entendimento de variáveis-chave e a otimizar os resultados. Em um nível mais ‘pé no chão’, o Seis Sigma ajuda os gerentes a responderem duas perguntas essenciais para apoiar decisões e soluções dirigidas por fatos:
 - a. De que dados/ informações eu realmente preciso?
 - b. Como usamos estes dados/ informações para benefício máximo?
- **Foco em Processo, Gestão e Melhoria:** no Seis Sigma, processos são onde estão as ações. Projetando produtos e serviços, medindo desempenho, melhorando a eficiência e a satisfação do cliente, o Seis Sigma posiciona o processo como o veículo chave para o sucesso.
- **Gestão Pró-ativa:** o Seis Sigma engloba ferramentas e práticas que substituem hábitos reativos por um estilo de gerenciamento dinâmico, receptivo e pró-ativo. Considerando o ambiente competitivo atual, de estreitamento da margem de erro, ser pró-ativo é a única ‘maneira de voar’.
- **Colaboração sem Fronteiras:** o Seis Sigma expande as oportunidades de colaboração já que as pessoas aprendem como seus papéis se encaixam na ‘imagem geral’ e podem reconhecer e medir a interdependência das atividades em todas as partes de um processo. A colaboração sem fronteiras no Seis Sigma não significa sacrifício pessoal, mas exige uma compreensão das necessidades dos usuários finais e também do fluxo de trabalho ao longo de um processo ou cadeia de fornecimento. Além disso, ela exige uma atitude que se compromete a usar o conhecimento do cliente e do processo para beneficiar todas as partes. Logo, o sistema Seis Sigma pode

criar um ambiente e estruturas de gestão que auxiliem um verdadeiro trabalho em equipe.

- **Impulso á Perfeição, Tolerância ao Fracasso:** nenhuma empresa chegará nem um pouco perto do seis Sigma sem lançar novas idéias e métodos, o que sempre envolve algum risco. Desta forma, qualquer empresa que fizer do Seis Sigma seu objetivo terá constantemente que se forçar ser cada vez mais perfeita estando, ao mesmo tempo, disposta a aceitar e controlar obstáculos ocasionais.

2.9. Responsabilidades da Alta Gerência na Implantação do Seis Sigma

Pande (2001) sugere as 8 mais importantes responsabilidades da alta gerência na implementação da Metodologia Seis Sigma:

- **Desenvolver um raciocínio forte das razões:** dos porquês que uma iniciativa Seis Sigma é importante para a companhia.
- **Planejar e participar ativamente da implementação:** nunca implicitamente delegarem a responsabilidade por decisões sobre um plano e metas amplas a algum ‘gerente Seis Sigma’ ou consultor. O jogo acabaria aí. Isso porque serão eles que terão que vender a idéia e defendê-la; terão que ser capazes de mudar o plano à medida que as necessidades e o conhecimento evoluírem; são os mais bem posicionados para equilibrar todas as prioridades e todos os desafios do negócio com o processo Seis Sigma.
- **Criar uma visão e um plano de marketing:** ter um tema ou visão ou até mesmo um slogan e nome para o plano. Sua promoção do Seis Sigma deve se encaixar com sua implementação. O desafio é o de desenvolver um plano de marketing para o Seis Sigma que seja atraente e desafiador, mas realista. Evite alarde excessivamente otimista.
- **Tornarem-se defensores poderosos da iniciativa:** pode parecer paradoxal que executivos liderem algo a respeito do qual ainda estão aprendendo, mas é isso mesmo.
- **Determine objetivos claros:** em qualquer caso, devem ser compreensíveis, desafiadores, significativos e não impossíveis.
- **Responsabilizem a vocês mesmos e a outros:** a responsabilidade do Seis Sigma começa com os próprios líderes. Um dos aspectos mais ousados, mais eficazes e mais

comentados do esforço Seis Sigma da GE foi a ligação de 40% da remuneração variável ou gratificações de todos os executivos a esforços de Seis Sigma bem sucedidos. Aquele incentivo ‘pé na fogueira’ enviou uma forte mensagem a todos na GE a respeito da importância do Seis Sigma – e certamente ajudou a evitar que projetos Seis Sigma fossem varridos pela enxurrada de outras prioridades.

- **Exigir medições concretas dos resultados:** a questão de como julgar resultados deve ser muito menos ambígua. O envolvimento de especialistas para quantificar e validar a realização pode atingir dois objetivos: ajudar a assegurar que os resultados que você alcançar são reais; impulsionar confiança em que você está realmente sério quanto a buscar e manter melhorias Seis Sigma. Os impactos diretos na linha de resultados Seis Sigma podem ser diretamente ligados a medições como reduções de defeitos, melhoria de tempo de ciclo e custos mais baixos. Menos concretas, mas financeiramente mais significativas no longo prazo, são margens de lucro, fidelidade de clientes, índices de retenção, vendas de novos produtos, etc.
- **Comunicar resultados e contratempos:** divulgar apenas sucessos prejudicará sua credibilidade ao dar a impressão que você está dourando os resultados, pois as pessoas acabarão por saber dos insucessos, de qualquer jeito.

2.10. Como e por onde se devem começar os esforços

Elliott (2003) explica que há 2 passos de preparação para uma séria implementação da Metodologia Seis Sigma:

1. Assegurar que todas as pessoas que têm um real nível de influência sobre um processo (profissionais de projeto, de processo, de produção e de manutenção) possuem o que Deming chamaria de ‘profundo conhecimento do processo’, que é um nível de conhecimento que inclui uma experiência detalhada teórica e prática sobre o que, como e o porquê de cada fase deste processo. As fontes deste profundo conhecimento estão com as empresas que criaram um processo, com os técnicos especialistas de cada empresa e com consultores externos;
2. Usar este profundo conhecimento para liderar a organização na sustentação da estabilidade deste processo (‘corrida’).

“A preparação para a jornada Seis Sigma é tão difícil quanto se quer fazê-la. Comece apenas com um processo, então todo um departamento, e finalmente toda a operação. A maioria das empresas encontra dificuldades na implementação por causa da falta desta preparação e impaciência para iniciar a corrida. Enfim, a jornada visando o Seis Sigma é exatamente o que somos pagos para fazer. É atingir a mesma coisa que os gurus da qualidade vêm falando nas últimas décadas. Portanto, nas tentativas sem sucesso, o que faltou foi a preparação, ou o comprometimento cultural para profundo conhecimento e vontade de usá-lo” (Elliott, 2003).

Para Pande, busca-se um dos 3 objetivos abaixo, quando se implementa o Seis Sigma:

Tabela 2.6 – Início dos Esforços (Fonte: Pande, 2001)

Objetivo da Implementação	Descrição
Transformação do Negócio	Uma mudança importante em como a organização funciona, ou seja, ‘mudança de cultura’. Exemplos: • Criar uma atitude focalizada no cliente; • Desenvolver maior flexibilidade; • Abandonar a antiga estrutura ou forma de fazer negócios.
Melhoria Estratégica	Objetiva fraquezas ou oportunidades estratégicas fundamentais. Exemplo: • Acelerar o desenvolvimento de produtos; • Intensificar eficiências da cadeia de suprimento; • Desenvolver capacidades de “e-commerce”.
Solução de Problemas	Determina áreas específicas de altos custos, retrabalho ou atrasos. Exemplos: • Diminuir o tempo de ciclo de produção; • Reduzir o custo de fabricação de peças;

Neste projeto, o objetivo da implementação foi a Solução de Problemas (alto custo devido ao alto nível de perda).

2.11. Empresas que devem adotar o Seis Sigma

Segundo Gross (2001), qualquer empresa, independente do porte ou do ramo de negócio em que atua, pode adotar a metodologia, uma vez que ela é de domínio público. Porém, é importante atentar para alguns pontos quanto à sua aplicação:

- Seis Sigma não é um ‘Salva-Vidas’ para empresas com problemas financeiros, mas sim uma forma de cortar custos e fortalecer sua posição competitiva no mercado;
- Seis Sigma demanda investimentos iniciais, como em todos projetos de melhoria, destinados, por exemplo, à implantação da infra-estrutura de suporte, treinamento de especialistas, planejamento das ações, aquisição de softwares de estatística e consultorias. Verificar a relação custo/benefício quando for utilizar um consultor: o resultado pode ser bem mais rápido;
- O sucesso do Seis Sigma está diretamente relacionado com a maneira pela qual o conselho diretor conduz o processo de mudança da empresa e os colaboradores se comprometem com a execução do planejamento estratégico da implementação da metodologia. Em resumo, como toda grande empresa que implementa a Metodologia Seis Sigma, mantendo-se o foco na redução de perdas e da variação, o benefício sempre será lucro adicional nos resultados da empresa, independente do porte.

Muitas empresas pequenas estão erradamente tomando a atitude de ‘esperar para ver’ com relação à Metodologia Seis Sigma, bem como a Metodologia da Manufatura Enxuta (“Lean Manufacturing”). Manufatura Enxuta nada mais é que ‘fazer mais com menos’, uma metodologia popularizada como Sistema Toyota de Produção que visa identificar e eliminar toda espécie de perdas de um processo, onde perdas são atividades que não agregam valor sob a ótica dos clientes. Existe uma grande sinergia entre estas duas metodologias e muito mais que contraditórias, elas são complementares. O que diferencia a implementação da metodologia Seis Sigma de uma grande para uma pequena empresa é apenas o montante do recurso aplicado, porém em percentual de vendas esta diferença não deve existir. Recomenda-se começar com pequeno investimento e os benefícios dos primeiros projetos devem financiar os seguintes num ciclo virtuoso (Connor, 2003).

A Metodologia Seis Sigma é de fato uma metodologia de Engenharia Industrial Avançada devido à unificação das ferramentas num mesmo pacote e utilização maciça de análise estatística. “Infelizmente, muitos departamentos de Engenharia Industrial clamam sua pequena parcela de responsabilidade em vez de tomar a liderança na implantação da metodologia Seis Sigma” (Jing, 2003). A metodologia Seis Sigma alcança resultados que a Engenharia Industrial não alcança o que sugere que o Seis Sigma deve ser utilizado para alavancar os objetivos da Engenharia

Industrial. “Seis Sigma se popularizou por uma questão psicológica, porque algo novo tem que aparecer de tempo em tempo e agora é o momento do Seis Sigma”. Muitos engenheiros clamam durante o treinamento Seis Sigma que as ferramentas são as mesmas da Engenharia Industrial. De fato, as ferramentas são as mesmas, porém a interligação que o DMAIC proporciona é inédita. Se a Metodologia dos Sete Passos ou o PDCA (Plan-Do-Check-Act) for comparada com o DMAIC verifica-se que há apenas pequenas variações, com maior ênfase em uma ou outra etapa de cada metodologia. Este tópico daria uma nova dissertação comparando-se as diferentes metodologias. Adverte Jing (2003): “apenas fica como alerta aos departamentos de Engenharia Industrial que devem tomar as seguintes atitudes:

1. Quando sua organização adota a metodologia Seis Sigma:
 - Primeiramente, tornar-se um membro ativo e cooperativo;
 - Auxiliar na parte técnica da fase de medição, onde Engenharia Industrial tem muito conhecimento;
 - Promover a utilização das ferramentas de Engenharia Industrial como parte da metodologia Seis Sigma.
2. Quando a organização não está implementando Seis Sigma;
 - Adquirir ativamente conhecimento sobre Seis Sigma;
 - Publicar e promover Seis Sigma dentro da organização;
 - Utilizar a metodologia Seis Sigma quando apropriado para comprovar sua força.”

Finalizando, segundo Jing (2003), agindo desta maneira, a Engenharia Industrial naturalmente estará na liderança de qualquer metodologia.

Segundo Sharma (2004), muitos engenheiros se irritam, e com razão, quando se afirma que Seis Sigma é uma ferramenta nova e revolucionária. Na verdade, realmente a metodologia Seis Sigma não é uma ferramenta nova, é apenas uma ligação lógica e racional destas antigas ferramentas. Além do mais, o Seis Sigma foca intensivamente no controle financeiro dos projetos, o que de certa forma vinha sendo o ponto fraco de muitos engenheiros tradicionais. Isto faz com que os gerentes admirem o Seis Sigma.

Olexa (2003) apontou que a metodologia Seis Sigma aplicada na GE Aircraft não foi para salvar a vida da empresa. Na verdade, a empresa era bastante lucrativa e havia muita cultura e consciência de qualidade, bem como várias metodologias, como “Lean Manufacturing” estava

sendo fortemente aplicada. Quando se anunciou que a empresa implantaria Seis Sigma houve certa resistência do pessoal porque pensavam que seria mais uma metodologia. Levou-se algum tempo para se perceber que o Seis Sigma não concorria com nenhuma outra metodologia. A grande diferença estava em 2 pontos:

- A demanda da alta gerência, com grandes incentivos e, portanto, a média gerência não delegou a liderança;
- A aplicação da metodologia não apenas na manufatura, mas também na área de negócios o que proporcionou um ótimo alinhamento para a manufatura trabalhar nos projetos estratégicos, sob o ponto de vista do cliente.

Muitas empresas adotam o Seis Sigma como um programa e delegam a liderança para outros departamentos. Estas empresas até conseguem um pequeno sucesso, porém, o real poder do Seis Sigma está no alinhamento com a área de negócios e para isso é preciso que a alta gerência da empresa esteja na liderança. Todo processo tem pontos em comum e a linguagem Seis Sigma unifica conhecimento sobre variação, variáveis-chave de entrada e saída, clientes, entre outros. Portanto, “não trate o Seis Sigma como um programa, mas como um valor, uma maneira de fazer negócios” (Olexa, 2003).

Motwani (2003) cita que muitas empresas de classe mundial, após ter uma excelente base em qualidade com a implantação do TQM (“Total Quality Management”) vêm obtendo resultados surpreendentes com a implantação do Seis Sigma. No caso específico citada, a empresa Dow Chemical obteve aproximadamente US\$ 300 milhões de economia por ano, a partir do início de sua implementação em 1999. As lições aprendidas na implementação do Seis Sigma na Dow, que envolveu planejamento, esforço e flexibilidade, estão descritas abaixo:

- Manter constância nos propósitos: a Dow fez uma abordagem ‘de cima para baixo’ (“top-down”), ou seja, a direção da empresa determinou claramente que o Seis Sigma era a estratégia a ser adotada nas expectativas de longo prazo;
- Rigor financeiro: equipe de finanças foi montada para suportar os cálculos dos benefícios para se obter inquestionável credibilidade do resultado;
- Um Banco de Dados foi estruturado para suportar toda a implantação e acompanhamento da Metodologia Seis Sigma;
- Seis Sigma se tornou a maneira de se trabalhar e não algo adicional: isto ficou muito claro para todos quando as avaliações de performance ficaram atreladas aos objetivos Seis Sigma;

- Relação Priorizada de projetos aguardando recursos para início: mantendo esta relação viva, ou seja, sempre se preocupando em reabastecer esta lista à medida que projetos vão se iniciando (saindo da lista) é uma ótima maneira de garantir a continuidade do Seis Sigma.

Segundo Pande (2001) há três perguntas-chave que devem ser respondidas se uma organização pretende adotar uma iniciativa Seis Sigma:

1. A mudança (seja ela abrangente ou direcionada) é uma necessidade crítica para o negócio, baseada em necessidades de linha de resultados, culturais ou competitivas?
2. Podemos criar alguma lógica estratégica forte aplicando o Seis Sigma a todo o nosso negócio? Vai adquirir e manter o compromisso da liderança da empresa?
3. Os nossos sistemas e métodos de melhoria existentes serão capazes de alcançar o grau de mudança necessário para nos manter como uma organização bem-sucedida, competitiva?

Se as respostas são: sim, sim e não, a empresa está pronta para adotar o Seis Sigma.

- Benefícios Potenciais:

1. Conduza uma avaliação detalhada do benefício financeiro de diversas oportunidades representativas de melhoria.
2. Projete quantas oportunidades semelhantes existem dentro da organização.

- Prazo para Resultados: primeira onda de projetos DMAIC – 6 a 9 meses, normalmente. Caso a urgência seja grande, você também pode gerenciar seus custos para que a necessidade de um resultado não seja tão grande e imediata.

- Custos de Implementação:

1. Folha de pagamento direta.
2. Folha de pagamento indireta.
3. Treinamento e consultoria.
4. Custos de implementações de melhoria.
5. Viagens e acomodações.
6. Instalações para treinamento.
7. Espaço físico para escritórios e reuniões de equipes.

Custos dependerão de sua velocidade de implementação, escala dos esforços e perfil de risco geral quando chegar a hora de investir nos ganhos potenciais da iniciativa.

2.12. Seleção de Projetos Seis Sigma

a. Importância da seleção dos projetos para o sucesso da implementação

Para Pande (2001), todas empresas que implantaram a metodologia Seis Sigma e outras iniciativas de melhoria de processos afirmam que a seleção de projetos é a atividade mais crítica e geralmente a mais mal planejada e executada ao se lançar o Seis Sigma. Projetos de melhoria bem selecionados e bem definidos geram resultados melhores e mais rápidos. Por outro lado, projetos de melhoria mal selecionados e mal definidos geram resultados retardados e frustração. Seguir os passos certos descritos abaixo pode ser uma excelente opção nesta situação, mas a escolha de projetos está cheia de armadilhas.

b. Princípios Básicos para a Seleção de Projetos

Segundo Pande (2001), abaixo estão os princípios básicos para a seleção adequada de Projetos de melhoria Seis Sigma:

- **Treinamento de Executivos/Liderança:** é muito importante ensinar à equipe sênior como escolher projetos.
- **Lançando um número razoável de projetos:** as pessoas e as organizações só conseguem se concentrar em um número limitado de coisas de uma só vez. Uma onda muito grande de projetos no início pode sufocar a capacidade de líderes de monitorar e orientar. Projetos em demasia dispersam a atenção das pessoas e sugam a sua capacidade de implementá-los bem. A GE admite, por exemplo, que foi um erro exigir que cada gerente que estivesse aprendendo os métodos Seis Sigma completasse um projeto de melhoria pessoal. Muitos foram improvisados, até mesmo triviais, reduzindo na essência o benefício total do esforço Seis Sigma. Outro fator importante é não deixar para fazer as tarefas na última hora porque o tempo para a tarefa é muito mais do que suficiente. O líder deve avaliar e reduzir o tempo em relação ao planejamento inicial.
- **Avalie o Escopo dos Projetos adequadamente:** ‘Não tente resolver o problema da fome do mundo’. O ideal é alcançar um equilíbrio entre dois critérios amplos: significativo e controlável. Isso poderá manter as tarefas pequenas e bem focalizadas.

Precisamos examinar e tentar mudar a realidade daquilo que está sobre nossa área de influência. Fora disso, apenas uma proteção adequada pode impedir que a variabilidade e o caos nos atinjam. Lynch (2003) declara que o escopo do projeto é a parte vital no passo da definição do DMAIC e terá impacto decisivo no sucesso da implementação do Seis Sigma. Projetos com escopo muito amplo resultarão em um alongamento do prazo de fechamento do projeto e poderão gerar frustração e perda de confiança dos executores do projeto. Mais uma vez, a clara definição do escopo do projeto, com seus limites bem delineados, com as métricas e principalmente estimativa de prazos é fundamental para o sucesso. Finalmente, o primeiro projeto de um “Black Belt” deve:

- Ser fechado entre 3 e 6 meses;
 - Seguir estritamente o processo DMAIC;
 - Utilizar várias ferramentas da Metodologia Seis Sigma;
 - Ganhar autoconfiança – o mais importante.
- **Foco:** tanto em eficiência operacional quanto em benefícios para o cliente: a meta é obter lucros grandes e rápidos. A maioria das empresas acredita que o lucro rápido somente vem através de redução de custo e melhorias na eficiência. Isso é bom, mas deve-se balancear com atividades de muito mais potencial através de melhorias da posição competitiva e força de mercado, mesmo que o lucro leve mais tempo. O compromisso de fazer com que os clientes sejam o único foco da seleção do seu projeto é raro e requer disciplina executiva. Melhor conselho, novamente: equilibrar projetos para que eles incluam tanto oportunidades de melhorias externas quanto internas.
- **Escolhendo Fontes para Idéias de Projetos.** Podem incluir:
- Fontes externas: Voz do Cliente, Voz do Mercado e Comparação com Concorrentes. Fontes de informações são artigos comerciais e sobre a empresa, pesquisas sobre concorrentes e mercado, informação da equipe de vendas, etc.
- Perguntas:
1. Onde estamos errando ao atender necessidades dos clientes?
 2. Onde estamos mais atrasados do que nossos concorrentes?

3. Como o mercado está evoluindo? Estamos prontos para uma adaptação?
 4. Que novas necessidades despontam no horizonte para os clientes?
- Fontes Internas/Externas: algumas das melhores oportunidades de melhoria surgem dessas perguntas porque elas têm um valor claro tanto para a empresa como para o seu posicionamento tendo em vista o mundo exterior. Perguntas:
 1. Quais são as barreiras entre nós e nossos objetivos estratégicos?
 2. Quais novas aquisições precisam ser integradas para que sejam lucrativas e alinhadas com nossa imagem ideal de mercado?
 3. Quais novos produtos, serviços, locais, ou outras habilidades espera lançar, para poder oferecer um valor melhor aos clientes e acionistas?
 - Fontes Internas: Voz do Processo e Voz do Funcionário. Perguntas:
 1. Quais atrasos importantes retardam nosso processo?
 2. Onde existe um volume alto de defeitos e/ou retrabalho?
 3. Onde estão aumentando os custos da baixa qualidade?
 4. Quais preocupações ou idéias os funcionários ou gerentes levantaram?

O objetivo é balancear as maneiras pelas quais processos podem ser melhorados em benefício da empresa, dos clientes, dos acionistas e dos funcionários.

c. Qualificação para um Projeto de Melhoria Seis Sigma (Pande 2001)

- Há lacuna entre desempenho atual e desempenho desejado ou necessário.
- A causa do problema não é claramente compreendida.
- Normalmente é problema crônico com causas complexas e comuns (não especiais).
- A solução não é predeterminada, nem é a solução ótima aparente.
- Necessita comprometimento significativo de recursos.

d. Definindo Critérios para Seleção de Projetos (Pande 2001)

O importante é concordar não somente quanto ao que fazer, mas também quanto ao que não fazer. É importante saber dizer não. A palavra-chave é: Prioridade: identificação de quais problemas ou oportunidades terão que ser resolvidos primeiramente.

Três categorias para priorização de projetos de melhoria:

▪ **Resultados ou benefícios da empresa:**

- Impacto nos clientes externos e nas necessidades. Qual o benefício ou a importância deste problema/oportunidade para nossos clientes ou públicos externos chave (acionistas, reguladores, parceiros da cadeia de suprimento)?
- Impacto na estratégia empresarial, posição competitiva. Qual valor este projeto potencial terá para nos auxiliar a perceber a visão de nossa empresa, implementar a nossa estratégia de mercado ou melhorar a nossa posição competitiva?
- Impacto nas competências essenciais. Como este possível projeto do Seis Sigma afetará nosso “mix” e nossas habilidades nas competências essenciais? Poderia envolver o reforço de uma competência essencial ou desfazer-se de uma atividade que não mais fosse vista como uma habilidade interna chave.
- Impacto financeiro (redução de custos, melhoria na eficiência, aumento de vendas, ganho de fatia de mercado). Qual o lucro provável em curto prazo? Em longo prazo? Quão precisamente podemos calcular esses números? Tenha cuidado para não inflar os ganhos possíveis além do que for realista.
- Urgência: quais tipos de prazo se têm para resolver este problema ou capitalizar em cima desta oportunidade? Urgência é diferente de impacto; um pequeno problema pode ser urgente e um grande problema pode ter um prazo maior.
- Tendência: o problema, o assunto ou a oportunidade está ficando maior ou menor com o tempo? O que acontecerá se não fizermos nada?
- Seqüência ou Dependência. Outros projetos ou oportunidades possíveis são dependentes da resolução deste assunto primeiro? Este assunto depende de que outros problemas sejam resolvidos primeiro?

• **Viabilidade:**

- Recursos necessários. Quantas pessoas, quanto tempo, quanto dinheiro este projeto deve precisar?
- Habilidade disponível. Quais tipos de conhecimento ou habilidades técnicas serão necessários para este projeto? Isso está disponível e acessível para nós?

- Complexidade. Quão difícil ou complicado estimamos que será desenvolver a solução de melhoria? E para implementá-la?
- Probabilidade de sucesso. Baseados no que sabemos, qual a probabilidade deste projeto ser bem-sucedido (dentro de um prazo razoável)?
- Apoio ou engajamento. Quanto apoio para este projeto nós calculamos obter de grupos-chave dentro da organização? Teremos como justificar este projeto?
- **Impacto Organizacional**
 - Benefícios da aprendizagem. Quais novos conhecimentos – sobre nosso negócio, nossos clientes, processos e/ou sistemas Seis Sigma – podemos obter com este projeto?
 - Benefícios transfuncionais. Até que ponto este projeto vai poder ajudar a quebrar barreiras entre grupos na organização e criar uma gerência melhor de todo o processo?

Não se deve usar todos esses fatores na seleção de projetos. Deve se escolher entre cinco a oito itens que sejam mais relevantes para a organização atualmente. Melhor ficar com itens para os quais se tenha resposta factual. Quando existem muitos projetos, uma priorização com os critérios ideais, como a Matriz de Priorização que será descrita adiante, pode ajudar a estruturar a comparação de projetos.

Tabela 2.7 - Resumo de situações na escolha de Projetos (Fonte: Pande, 2001)

Certo	Errado
1. Calque sua seleção em critérios sólidos. Equilibre resultados, viabilidade e impacto organizacional. Boa seleção de projetos pode ser chave para um sucesso rápido.	1. Escolher projetos demais. Melhoria requer cuidados e alimentação por líderes e especialistas, especialmente no início. É tentador estender recursos e capacidades além dos limites usuais.
2. Equilibre eficiência/redução de custos com valor para clientes, focalizados externamente. O tema foco no cliente é fonte da força Seis Sigma. Colocar todas as energias em economias de curto prazo somente envia sinal errado e reduz a chance de promover satisfação e lealdade do cliente.	2. Criar projetos do tipo ‘fome mundial’. Projetos grandes demais. Melhor fazer projetos pequenos demais rapidamente – contato que tenham resultados significativos – do que ter projetos grandes demais se arrastando por meses.
3. Prepare-se para transferência eficaz à equipe de melhoria. A definição da Missão pode fornecer um bom começo para um projeto, definindo assuntos e objetivos claros.	3. Deixar de explicar a lógica por trás de projetos escolhidos. Todos têm problemas aparentemente de prioridade máxima. Garantir apoio para seus projetos escolhidos significa fornecer uma boa lógica para suas prioridades.

Tabela 2.8 - Considerações finais da Metodologia Seis Sigma (Fonte: Pande, 2001)

Seis Sigma
○ Ligações com a 'Base' Pessoal e de Negócios. ○ DNA da empresa. ○ Parte das responsabilidades diárias especialmente de seus gerentes operacionais. ○ Aplicação em processos administrativos e de serviços (grande potencial de ganho).
○ Liderança na vanguarda. ○ Paixão e crença no Seis Sigma como forma de mudança para garantir o sucesso contínuo, sem falar na sobrevivência.
○ Uma mensagem simples, mas consistentemente repetida. ○ Definição: "O Seis Sigma é um sistema empresarial para alcançar e manter o sucesso com foco no cliente, no Gerenciamento e Melhoria de Processo e o bom uso de fatos e dados".
○ Determinar uma meta ambiciosa que faça sentido. ○ Diferente das campanhas de zero defeito possuem uma meta desafiadora, mas crível, 6 Sigma. Além disso, define-se um sistema de medição onde as metas devem ser periodicamente revisadas.
○ Adaptar ferramentas e grau de rigor às circunstâncias. ○ Usar ferramentas/métodos que cheguem a resultados com maior facilidade e simplicidade.
○ Prioridade em Gerenciamento de Processo com cruzamento de funções.
○ Mudança exponencial e não incremental. ○ Tanto pequenas mudanças quanto grandes mudanças são parte essencial da sobrevivência e do sucesso das empresas do século XXI.
○ Black Belts, Green Belts e Master Black Belts. ○ Profissionais com muitas horas de treinamento. ○ Porém, não basta apenas treinar. ○ É necessário colocar em prática no dia-a-dia e isto está sendo feito através da cobrança, das medições e de formas mais arrojadas de ensino.
○ Atenção a todos os processos de negócios. ○ Seis Sigma não só trabalha em processos de serviço ou transacionais, mas provavelmente oferece grandes oportunidades nestes processos, além da manufatura.

Capítulo 3 – Método e Ferramentas Seis Sigma

3.1 Definição do Modelo DMAIC

Segundo Rath & Strong (2001), a metodologia Seis Sigma utiliza como ferramenta de condução o D-M-A-I-C, que é o acróstico que representa: Definir-Medir-Analisar-Implementar-Controlar. Também pode ser entendido como os substantivos destes verbos. Então o DMAIC é uma estruturada, disciplinada e rigorosa abordagem para alcançar a melhoria do processo composta pelos 5 passos ou fases descritos abaixo, onde cada passo está logicamente ligado com o passo anterior assim como o posterior.

Segundo Lynch (2003) o DMAIC é análogo a um funil. Uma ampla oportunidade de uma empresa ter seu escopo progressivamente estreitado, inicialmente utilizando as definições de projeto Seis Sigma e posteriormente as ferramentas Seis Sigma. O resultado é um problema que pode facilmente ser entendido e rapidamente endereçado com um foco de mira “laser”.

A razão para se seguir esta metodologia rigorosamente é para garantir que as desafiantes metas Seis Sigma sejam atingidas. Reforçando:

1. “Define” = Definir = Definição
2. “Measure” = Medir = Medição
3. “Analyze” = Analisar = Análise
4. “Improve” = Implementar a Melhoria = Implementação da Melhoria
5. “Control” = Controlar = Controle.

- **Porque adotar o DMAIC**

Muitos modelos de esforços de melhoria baseiam-se no PDCA (Planejar-Executar-Checar-Agir: ciclo de melhoria Shewart), com seus pontos fortes e fracos. Existe a opção de se manter o modelo atual de esforço de melhoria da empresa ou mudá-lo. Neste caso, o DMAIC será o modelo devido às vantagens listadas a seguir, segundo Pande (2001):

- **Vantagens do DMAIC:**

- **Começando de novo:** se o modelo atual é percebido como parte de iniciativas de qualidade fracassadas ou desacreditadas.
- **Dando novo contexto a ferramentas conhecidas:** nova oportunidade de aprender e praticar ferramentas conhecidas e acrescentar algumas novas.
- **Criando uma abordagem consistente:** a existência de modelos de melhoria diferente dentro da mesma empresa não é positiva. Uma decisão de escolher um modelo e ficar com ele pode ser uma forma importante de usufruir a força do Seis Sigma.
- **Colocando prioridade em Medição e Controle:** outros modelos não incorporam a validação das necessidades dos clientes (internos e externos), tal qual faz o DMAIC num sub-passo importante da fase Definir. E nenhuma outra ferramenta se mostrou tão eficaz no estabelecimento do plano de controle das variáveis-chave do processo a fim de garantir a longevidade dos ganhos. Esta garantia vem da perfeita troca de responsabilidade entre líder do projeto e proprietário do processo, no momento do fechamento do projeto.
- **Determinação eficaz do “entitlement”:** é um conceito chave para o Seis Sigma. É a melhor resposta possível de um processo em termos de rendimento, qualidade, velocidade e desempenho. Entitlement define o que é o melhor possível; fornece o melhor nível de desempenho para o qual devemos nos orientar: ‘Quão bem isto pode ser feito?’. Conforme o conhecimento do processo vai se aprofundando naturalmente o entitlement vai aumentando. Existem 3 maneiras de se determinar o valor de entitlement:
 - Foco tecnológico: a resposta do processo segundo os fabricantes dos equipamentos, isento de qualquer defeito;

- Foco histórico: a melhor resposta do processo ao longo dos anos;
- Foco externo: a melhor resposta do processo, comparando-se com o melhor desempenho de processos semelhantes dos concorrentes.

Tabela 3.1 - O modelo DMAIC (Fonte: Pande, 2001)

Passos	Melhoria de Processo	Projeto/Reprojeto de Processo
1. Definição	• Identifique a oportunidade • Defina recursos • Estabeleça métricas • Estabeleça metas e <i>entitlement</i>	• Identifique problemas específicos ou amplos • Defina objetivo/Mude a visão • Esclareça o escopo e as exigências do cliente
2. Medição	• Valide oportunidade/metras • Faça o Mapa com variáveis de entrada e saída por fase do processo • Redefina problema/objetivo • Meça passos-chave/entradas	• Meça desempenho em relação às exigências • Colete dados sobre eficiência do processo
3. Análise	• Desenvolva hipóteses causais • Identifique causas-raiz ‘poucas e vitais’ • Valide hipóteses	• Identifique ‘melhores práticas’ • Avalie projeto do processo • Com ou sem valor agregado • Gargalo do processo ou desconexões • Caminhos alternativos • Redefina exigências
4. Implementação da Melhoria	• Desenvolva idéias para remover causas-raiz • Teste soluções • Padronize solução/meça resultados	• Projete novo processo • Desafie suposições • Aplique criatividade • Princípios de fluxo de trabalho • Implemente novos processos
5. Controle	• Estabeleça medidas-padrão para manter desempenho • Corrija problema quando necessário	• Estabeleça medidas e revisões para manter desempenho • Corrija problema quando necessário

Conforme exposto na Tabela 3.1 (Pande, 2001) o DMAIC é uma ferramenta que tem por finalidade identificar, quantificar e minimizar as fontes de variação de um processo, assim como sustentar e melhorar o desempenho deste processo após seu aperfeiçoamento.

3.2 Ferramentas do Modelo DMAIC

Baseado em Chowdhury (2001), abaixo está a descrição superficial com a inserção de principais ferramentas de cada um dos passos que devem ser percorridos por um projeto que utiliza esta ferramenta:

- **Definição:** primeiramente na Definição, os dados preliminares do projeto devem ser estabelecidos: a missão, o escopo, as métricas, o time, o tempo e o impacto financeiro estimados. Enfim, definir o projeto, os marcos iniciais e finais, os membros com respectivas responsabilidades da equipe, as métricas que indicarão se o projeto teve sucesso ou não e qual a estimativa de retorno que a empresa terá com a execução deste projeto.
- **Medição:** o passo da Medição tem o objetivo de determinar a situação do processo até o momento do início do projeto, ou seja, determinar a situação atual ou situação corrente. Neste instante o processo é mapeado com suas respectivas etapas, identificando-se todas as variáveis de entrada e saída. Então, começa-se uma primeira priorização das variáveis de entrada utilizando a ferramenta Matriz de Priorização ou o Gráfico de Pareto. A verificação do sistema de medição também é realizada para garantir que os resultados sejam confiáveis. Também neste passo coleta-se o maior número de dados para que seja estabelecida a capacidade inicial do processo ou a linha de base, utilizando-se gráficos de controle. Segundo Breyfogle (2002), quando uma empresa está implementando Seis Sigma, ela necessita alinhar suas métricas e atividades de melhoria com as necessidades de negócios. Um desdobramento das métricas principais de negócios para as métricas departamentais deve ser definido de modo que os colaboradores foquem os esforços naquilo que realmente é importante. Muitas empresas que atualmente enfrentam problemas financeiros estariam com resultados melhores se seguissem às estratégias de negócios, em vez de ‘brincar com números’, ou seja, utilizar as métricas que lhes agradam internamente ou projetos com melhorias que não são reconhecidas pelos clientes.
- **Análise:** após a Medição, vem o passo da Análise, onde se continua a priorização das variáveis de entrada através do entendimento das relações entre as causas e os efeitos do processo e potenciais fontes de variabilidade. Normalmente neste passo se utiliza a ferramenta Análise do Modo e Efeito das Falhas (“Failure Mode and Effect Analysis”

= FMEA). Quando se dispõe de dados históricos do processo, pode-se utilizar também a ferramenta Análise Múltipla da Variância (“Multi-vari”) para se priorizar ainda mais as variáveis (já anteriormente priorizadas) e focar em apenas algumas variáveis os experimentos para a coleta de informação ativa. Muitas pequenas idéias de melhoria de rápida e fácil implantação, geralmente chamadas de “Quick Hits”, são também saídas deste passo.

- **Implementação:** no passo 4, Implementação da Melhoria, são priorizadas as ações a serem implementadas com os prazos e responsáveis. Também neste passo, continua-se a entender ainda mais o efeito das (agora algumas poucas) variáveis-chave de entrada nas variáveis de saída do processo. Este estudo final é normalmente auxiliado pela ferramenta de Delineamento de Experimentos (“Design of Experiments” = DOE), onde antes de se iniciar qualquer processo de melhoria por ‘tentativa e erro’, faz-se um detalhado planejamento a fim de se otimizar a quantidade de experimentos (que significa custo). Neste planejamento se determinam quais são os limites inferiores e superiores que serão aferidos às variáveis de entrada, a fim de determinar a amplitude do impacto nas variáveis-resposta do processo. Portanto, após a realização dos experimentos, define-se quais os valores otimizados das variáveis de entrada resultarão nas melhores variáveis de saídas.
- **Controle:** finalmente, com as poucas variáveis de entrada críticas para o processo determinadas, bem como seus valores otimizados para se obter os valores desejados das variáveis de saída, um austero plano de Controle deve ser estipulado para que o processo seja previsível e consistente e, portanto, para que os ganhos conquistados pelo projeto sejam mantidos. O plano de controle é um documento formal (normalmente uma planilha) que estabelece e monitora a capacidade final do processo no longo prazo. Por fim, com a filosofia de sempre buscar o “entitlement”, determina-se os futuros projetos para se ‘construir a ponte’ visando o melhor desempenho possível, num processo contínuo.

3.3 Aplicação da Metodologia Seis Sigma em diferentes áreas

- **Aplicação do Seis Sigma na Manufatura:**

Atualmente é muito comum relacionar a metodologia Seis Sigma a mais uma ferramenta da Gestão da Qualidade. No entanto, devido a facilidade de comunicação dentro e fora da empresa que a implementa, a metodologia Seis Sigma é uma ferramenta gerencial, muito mais que uma ferramenta de qualidade. Seis Sigma é conduzido com uma sensata inter-relação de passos com adequadas ferramentas, com a finalidade de atacar e controlar fortemente a causa raiz do problema e conseqüentemente reduzir o número de defeitos, utilizando dados reais e análises estatísticas. Desta maneira, a metodologia Seis Sigma, que também é interpretada como uma filosofia, pode ser usada para gerenciar todas as áreas de uma organização, tanto na manufatura como em serviços. A área de manufatura de uma empresa tem uma distância natural dos clientes externos e por muitas vezes, até mesmo do cliente interno. Esta distância que antigamente era vista como proteção, atualmente a põe em risco de isolamento das movimentações do mercado, causando uma obsolescência acelerada. A metodologia Seis Sigma implantada como uma direção estratégica, entretanto, exige comunicação e relacionamento entre todos os processos da empresa, desde a aquisição de insumos até o pós-venda, derrubando as barreiras entre a manufatura e o mercado. De maneira prática, colocando o impacto no cliente como uma das métricas de todos os projetos Seis Sigma aplicados na manufatura, consegue-se entender e aproximar estas áreas tão distantes no Processo de Atendimento do Cliente (“Supply Chain”). Concluindo, a metodologia Seis Sigma tem um importante papel no desenvolvimento de projetos na manufatura, e este será o foco do desenvolvimento deste trabalho.

- **Aplicação do Seis Sigma na área de Logística**

Segundo Witt (2002), assim como na área de Manufatura, pode-se aplicar a Metodologia Seis Sigma na área de Logística para não apenas obter sucesso, mas também mantê-lo. O objetivo é obter menos que 3.4 defeitos, ou praticamente ‘pedidos perfeitos’. Atendimento perfeito de pedidos significa um pedido entregue:

- Na hora certa e sem material danificado;
- Com a correta adição de valor previamente acordada;
- Na quantidade correta e sem substituições não autorizadas;

- Finalmente, cobrança no valor e maneira acordada.

Ultimamente, uma série de sistemas integrados vem auxiliando no gerenciamento de toda a cadeia de suprimento, o que tornou possível redução do dinheiro empatado em estoques, aumentando a saúde financeira das empresas que os adotam. O processo de atendimento sem defeitos se tornou tão importante quanto um produto ou serviço perfeito, porém este assunto deve ser tratado num outro projeto devido à riqueza de fatos a serem abordados.

- **Aplicação do Seis Sigma na prevenção de acidentes**

Sznaider (2000) afirma que quando os Gerentes de Segurança começarem a agir como os Gerentes de Qualidade, eles deixarão de culpar os operadores pelos acidentes e passarão a atacar a verdadeira causa dos problemas, que na maioria das vezes está no processo ou nos equipamentos. Interessante notar que para cada 1 acidente sério que ocorre, já ocorreram 10 acidentes menores, 30 quebras de equipamento correlacionadas, 600 quase-acidentes (invisíveis porque não geram desperdício relatado) e finalmente, 1800 erros. Na linguagem Seis Sigma, 1800 erros (ou 1 acidente grave) equivale a um nível 4,4 sigma. Uma empresa com 100 acidentes graves terá um nível sigma menor que 2,5. Na busca pelo zero acidente (meta difícilima de praticamente todas as empresas) fica a sugestão para um futuro projeto Seis Sigma nesta área.

- **Aplicação do Seis Sigma em Laboratório**

Koban (2004) apresenta um estudo de caso interessante da aplicação do DMAIC em um laboratório, onde o objetivo era a avaliação da dispersão de 4 pigmentos diferentes numa formulação. Foi apresentado com muita clareza, como definir quais parâmetros são importantes para medir, como desempenhar as medidas e a análise dos dados, e tomar decisões referentes às relativas diferenças em dispersão entre 4 pigmentos testados. As ferramentas apresentadas foram: Mapa do Processo, Matriz de Priorização e Análise de Variância (comum para determinar se estaticamente os resultados são iguais ou diferentes). Na área de laboratório é mais comum a utilização do DFSS (“Design For Six Sigma”) em vez do DMAIC. O DFSS é empregado quando ainda não se tem um processo estabelecido, ou quando as necessidades dos clientes não estão claramente definidas. Como o objetivo deste projeto é a aplicação do DMAIC, fica o DFSS como sugestão para um futuro projeto.

- **Aplicação do Seis Sigma em uma fazenda de produção de leite**

A metodologia Seis Sigma tem se popularizado de tal forma que se pode comprovar a sua eficiência até mesmo em aplicações totalmente diferentes de uma indústria. Segundo Tylutki (2002), uma fazenda leiteira é um sistema complexo e altamente integrado considerando alto investimento em maquinaria, pessoas e gerenciamento. Como os proprietários de pequenas fazendas não estão familiarizados com ferramentas estatísticas, estão contratando consultores como “Black Belts” para reverter um processo de lucros cada vez menores, e evitar a falência. Por causa da agressividade na obtenção das metas, o Seis Sigma foi escolhido como a metodologia mais adequada para minimizar os desperdícios na alimentação do gado que proporciona o leite (matéria-prima na produção de todos os produtos derivados). A equipe foi formada, sendo os gerentes da fazenda recebendo o papel de “Champion”, os alimentadores como “Green Belts”. Com um grande suporte dos proprietários das fazendas, no final da implementação do Seis Sigma ficou comprovado que as fazendas passaram a obter mais lucros reduzindo o desperdício da ração, através:

- Da determinação das causas de variação na mistura da ração,
- De um forte controle de padrões de receitas e
- De treinamento dos alimentadores (pessoas responsáveis por preparar a ração e alimentar os gados) nestas receitas padronizadas.

3.4. Detalhamento dos 5 Passos do DMAIC

Normalmente se utiliza um ‘Cronograma’ do DMAIC com a finalidade de se unificar a comunicação entre todos os colaboradores da situação de cada projeto individualmente. Neste Cronograma (conhecido também como “Project Tracking”) todas as ferramentas mais comuns do DMAIC são apresentadas e se faz um monitoramento do andamento do projeto, facilitando o entendimento de cada passo e permitindo que os atrasos sejam identificados e recursos redirecionados para se recuperar o tempo perdido. No início do projeto se estima a data de início e fim de cada fase, conforme mostrado na Figura 3.1. A duração total do projeto vai depender da habilidade e tamanho da equipe e da complexidade do projeto.



Cronograma de Controle - Modelo

Cronograma	Mês 1	Mês 2	Mês 3	Mês 4	Mês 5	Mês 6
Definir (previsão de data)						
Contrato do Projeto						
Missão						
Medir (previsão de data)						
Mapa do Processo						
Análise Comprometimento						
Matriz de Priorização						
Análise Sistema Medição						
Capacidade Inicial						
Analisar (previsão de data)						
FMEA						
Implementar (previsão de data)						
DOE						
Controlar (previsão de data)						
Plano de Controle						
Treinamento						
Capacidade Final						
Passagem Responsabilidade						
Relatório Final						

Figura 3.1: Modelo de Cronograma de Controle do Projeto Seis Sigma (Fonte: o próprio autor)

Abaixo, as ferramentas de cada passo do DMAIC serão descritas detalhadamente, de acordo com o desenvolvimento deste projeto, baseadas em Rath & Strong (2001):

3.4.1. Definição

3.4.1.1. Contrato do Projeto (“Project Charter”): é o contrato entre a equipe de liderança da empresa e a equipe Seis Sigma. Contém a proposta do projeto, com as principais informações preliminares deste projeto a ser desenvolvido. Abaixo são descritas as principais informações que deve conter num contrato de projeto:

1. Nome do projeto;
2. Responsável ou líder do projeto (“Green Belt” ou “Black Belt”);
3. Equipe do projeto;
4. Impacto dos benefícios;

5. Métricas primária, secundárias e contra-medidas;
6. Cronograma: datas previstas de início e fim de cada passo;
7. Identificação do processo a ser melhorado;
8. Descrição do problema / projeto;
9. Escopo ou Limites do projeto;
10. Suporte requerido – recursos necessários, entre outros.

3.4.1.2. Missão do projeto (“Elevator Speech”): é a declaração resumida do projeto. Para se determinar a missão de um projeto, normalmente se utiliza a ferramenta 5W1H. Respondendo as 6 perguntas rapidamente se define o projeto e em alguns segundos (tempo que se passa dentro de um elevador) se comunica o objetivo do projeto:

1. Who (quem)
2. What (o que)
3. Why (por que)
4. Where (onde)
5. When (quando)
6. How (como = plano de ação)

Na condução de um projeto Seis Sigma, estrutura-se uma equipe que atua como agente de mudanças. Esta equipe é formada por pessoas treinadas para disseminar o conhecimento Seis Sigma e dar assistência aos colaboradores que ainda não executaram um projeto, viabilizando a aplicação dos métodos estatísticos necessários. Esses agentes de mudança são os “Master Black Belts”, “Black Belts” e os “Green Belts”.

3.4.2. Medição

3.4.2.1. Mapeamento do Processo (“Process Map”): o Mapa do Processo deve ser constantemente atualizado e revisado. Esta ferramenta é a fonte de informações para alimentar a Matriz de Priorização, e posteriormente o FMEA, a Análise Multi-vari e o Plano de Controle. O mapa do processo é uma excelente ferramenta de visualização e fundamental para alinhar o conhecimento de todos os membros da equipe e esclarecer seus problemas e avaliar o escopo do projeto. Para sua elaboração é necessário um grande

esforço da equipe, através do uso de “*brainstorming*”, (reunião onde todos têm liberdade para dar sugestões) documentação existente, experiência dos proprietários do processo, supervisores, operadores, e em alguns casos até mesmo dos clientes e fornecedores. O Mapa do Processo consiste em descrever:

- Os sub-processos ou etapas do processo;
- Os limites do processo;
- As principais atividades;
- As variáveis de entrada, denominadas como os “Xs” do processo;
- As variáveis de saída, conhecidas como “Ys” do processo.

As principais etapas a serem seguidas nos mapeamentos das variáveis do processo são:

- Identificar o processo, suas entradas dos fornecedores e saídas para o cliente;
- Identificar todas as etapas do processo: cada etapa é um sub-processo e representa uma mudança de estado para o produto ou serviço;
- Listar as variáveis-chave de saída para cada etapa: as saídas devem ser substantivos e não verbos;
- Listar e classificar as variáveis de entrada como não controladas (NC ou I) ou controladas (C): entradas devem ser substantivos, sendo que algumas entradas são as saídas de passos anteriores;
- Adicionar especificações do processo para as variáveis de entrada e adicionar os requisitos e objetivos para as variáveis de saída, caso existam.

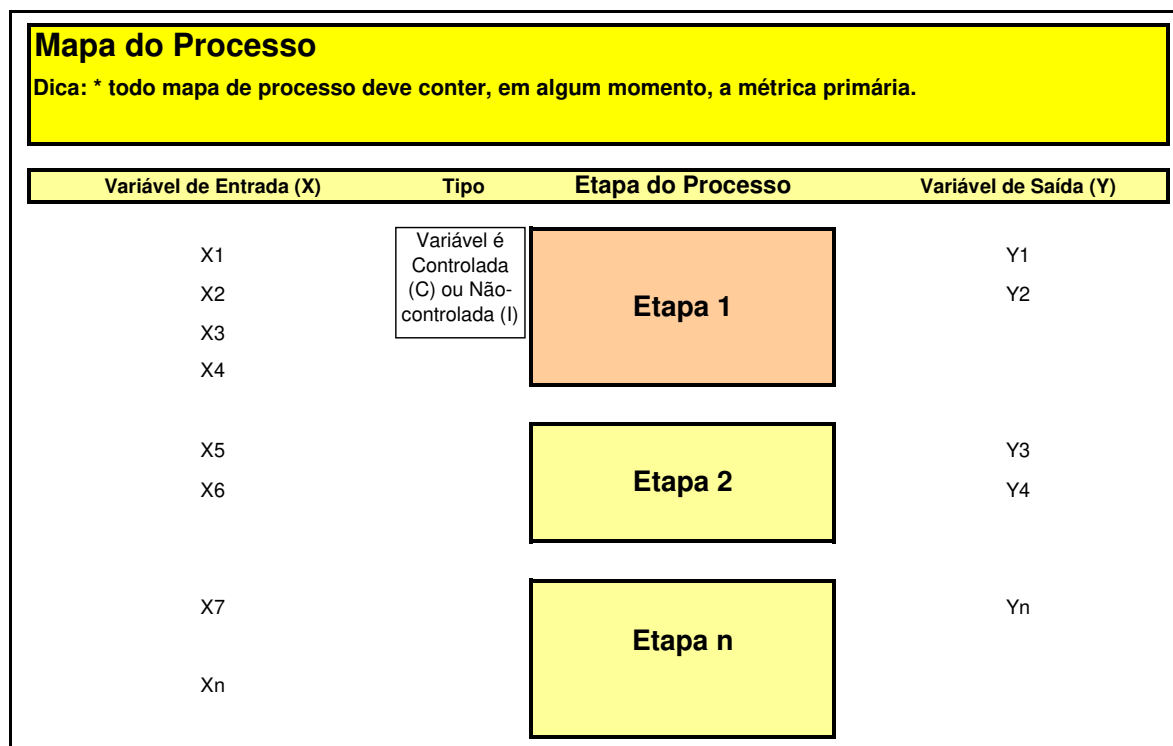


Figura 3.2 – Modelo de Mapa do Processo (Fonte: Rath & Strong, 2001)

3.4.2.2. Análise de Envolvimento (“Stakeholder Analysis”): nesta ferramenta se identifica como está o nível de envolvimento ou comprometimento de cada um dos membros da equipe ou cada um dos departamentos envolvidos no projeto. O envolvimento destes é de fundamental importância para um bom andamento do projeto principalmente por se tratar de mudança de cultura. Na Análise de Envolvimento, determina-se o nível de comprometimento mínimo necessário dos membros da equipe para sucesso do projeto, e verifica-se onde este nível está atualmente. Caso o nível de comprometimento esteja abaixo do esperado, o líder de projeto deve agir imediatamente para incentivar a equipe e efetuar as mudanças necessárias.

Análise de Envolvimento						
Equipe	Nível de Suporte			Comentários		Tática para atingir Envolvimento
(Máximo 10)	A = Nível atual N = Nível Necessário			Pontos Positivos	Oportunidades	Plano necessário para atingir ou manter nível
	Contra	Neutro	Favorável			

Figura 3.3 – Modelo de Matriz da Análise de Envolvimento (Fonte: Rath & Strong, 2001)

3.4.2.3. Matriz de Priorização (“Prioritization Matrix”): é uma ferramenta de ‘afunilamento de variáveis’ que relaciona as entradas ‘X’s’ com as saídas-chave ‘Y’s’, usando o Mapa do Processo como fonte de informação. As saídas-chave são pontuadas conforme sua importância para o processo ou para o cliente. As entradas-chave são pontuadas conforme suas relações com as saídas-chave. Através da priorização da Matriz de Priorização se determinam as entradas que alimentarão o FMEA. Existem dois métodos para construir a Matriz de Priorização:

- Método Geral: quando o número de variáveis de entrada é controlável. Examina todas as variáveis de entrada de uma vez.
- Método Focado: quando o número de variáveis da entrada se tornar demasiadamente grande para controlar de forma eficaz. Foca-se as etapas do processo, passando rapidamente pelas variáveis dos passos mais importantes.

As etapas da Matriz de Priorização:

- Identificar os principais variáveis de saída (requisitos do processo ou dos clientes) a partir do mapa do processo;
- Estabelecer um fator de prioridade para cada saída (Y): usualmente usa-se uma escala de 1 a 10;
- Identificar todas as variáveis de entrada (X's) a partir do mapa do processo;
- Avaliar a correlação entre cada entrada e cada saída: Quanto menor for a pontuação, menor a correlação entre elas. Usualmente se utiliza:
 - 0 = nenhuma correlação;
 - 1 = correlação fraca;
 - 3 = correlação média;
 - 9 = correlação forte;
- Multiplicar os valores de correlação e fatores de prioridade de cada saída e somar os resultados para cada variável de entrada.

Matriz de Priorização						
Finalidade: priorizar os Xs que mais impactam nas métricas do processo.						
Utilize os passos e entradas do mapa do processo.						
		Taxa de Importância (1 a 10)				
Etapas do Processo	Variável de Entrada (x)	Variável de Saída (Y)	Métrica Primária	Métrica Secundária	Contra-medida	Total
		9 - impacto significativo				0
		3 - impacto moderado				0
		1 - baixo impacto				0
		0 - sem impacto				0
Total			0	0	0	

Figura 3.4 - Modelo de Matriz de Priorização (Fonte: Rath & Strong, 2001)

3.4.2.4. Análise dos Sistemas de Medição (MSA = MeaSurement System Analysis): a variação do processo afeta como os produtos e serviços aparecem aos seus clientes. A variação de medida afeta a percepção da variação do processo. Portanto, a Análise dos Sistemas de Medição busca responder a duas questões:

- Estamos coletando os dados corretamente para responder as questões que estamos perguntando? Diz respeito à integridade dos dados;
- O sistema de medição está produzindo dados bons? Diz respeito ao sistema de medição.

Quanto à integridade dos dados, busca-se com o MSA:

- Validade: os dados podem ser provenientes de um método ou uma fonte confiável, mais ainda não combinam com as definições operacionais definidas para o seu projeto.
- Confiabilidade: trata da exatidão e da consistência dos dados.

Quanto ao Sistema de Medição, busca-se com o MSA verificar a:

- Precisão: o valor medido tem apenas pequeno desvio do valor real. É usualmente testado comparando-se a média de medidas repetidas com um padrão de valor previamente conhecido.
- Resolução: número de espaços decimais que podem ser medidos pelo sistema. Os incrementos da medida devem ser aproximadamente um décimo da largura da especificação do produto ou da variação do processo;
- Estabilidade: as medições feitas por um mesmo operador e da mesma maneira variam muito pouco ao longo do tempo (sem tendências);
- Repetibilidade: variação que ocorre quando medidas repetidas são realizadas em uma mesma amostra pela mesma pessoa, sob condições idênticas (curto prazo).
- Reprodutibilidade: variação que ocorre nas medidas feitas em uma mesma amostra por diferentes pessoas (ou instrumento), sob diferentes condições.

Em projetos Seis Sigma, o MSA estuda primeiramente a variação do sistema de medição das saídas críticas do projeto ‘Y’s’, e em seguida foca-se no estudo dos sistemas de medição das entradas ‘X’s’.

3.4.2.5. Capacidade Inicial (‘Initial Capability’): o objetivo desta etapa é analisar a capacidade e entender qual a performance do processo com relação aos alvos do projeto. A princípio, estabelece-se a linha de base (‘*baseline*’) para os ‘Y’s’ do processo.

Estabelece-se a performance atual e quanto se precisa melhorar para alcançar as metas do projeto. A análise da capacidade pode ser de três tipos:

- Capacidade Instantânea: capacidade do processo em um curtíssimo espaço de tempo. Deve representar a melhor performance que o processo é capaz em curto prazo. É estimada utilizando a ‘melhor rodada’ na análise de curto ou longo prazo.
- Capacidade de Curto Prazo: análise da capacidade baseada entre 30 e 50 pontos. Usualmente igual ou maior que a capacidade de longo prazo.
- Capacidade de Longo Prazo: análise da capacidade baseada em um grande número de pontos. É a melhor estimativa da verdadeira performance do processo, pois inclui deslocamentos e tendências.

Ao final do estudo da capacidade deve-se obter:

- A linha de base (baseline), isto é, quais variáveis conduziram os estudos de capacidade;
- O que é esperado no curto e longo prazo em termos de desempenho destas variáveis;
- A análise inicial dos dados para identificar fontes potenciais de variação, identificando quais são os fatores sob suspeita que contribuem para a variação do processo;
- Como o desempenho do sistema de medição impacta na capacidade do processo;
- Quais devem ser os objetivos de capacidade do processo (C_p , C_{pk}), baseando-se nos dados da linha de base;
- Se os dados possuem uma distribuição normal.

3.4.2.6. Análise de Impacto Financeiro: a análise de impacto diz respeito à análise do ganho do projeto. É uma forma de quantificar o impacto financeiro do projeto e os benefícios que este gerará para a empresa. Os benefícios financeiros podem acontecer antes mesmo do projeto ser finalizado. Neste caso eles devem ser mensurados, arquivados e computados no ganho final do projeto. Segundo Breyfogle (2001) existe muita variação

na maneira como as organizações calculam os ganhos financeiros. Algumas organizações consideram apenas o ganho direto, como exemplo, a redução das perdas de um processo vão impactar diretamente no custo do material empregado e conseqüentemente no lucro final. Outras organizações consideram também os ganhos indiretos, como exemplo, a energia ou mão-de-obra economizadas na redução do processamento de material defeituoso. Estes ganhos indiretos também são muito importantes, porém, a determinação dos mesmos pode ser subjetiva e diferenciar muito de uma organização para outra. A melhor maneira de se tangibilizar estes ganhos indiretos é obter suporte de uma pessoa da área financeira.

Segundo Neuscheler (2001), o entendimento de que Seis Sigma é estritamente uma perspectiva de melhoria de qualidade está meio certo. Além da qualidade, o retorno financeiro aos investidores também é tão ou mais importante. O Seis Sigma é dirigido pelos resultados: criando, realizando e controlando valor. Ou seja, uma ligação entre o cliente e o investidor. Logicamente que o resultado financeiro é uma conseqüência da boa implementação e controle das métricas (não-financeiras) do projeto. Infelizmente, um dos fatores que gera frustração na implementação da metodologia Seis Sigma é a não correlação clara dos resultados dos projetos com os resultados financeiros da organização. Muitos bons projetos falham por esta razão. Por isso, 5 lições são salientadas:

1. Inserir um controlador ou contador na equipe, deste o início do projeto. Quanto antes ocorrer este envolvimento, melhor as chances de sucesso da equipe, uma vez que um controlador é especialista em determinar o quanto cada variável impactará no resultado financeiro da organização. Também o controlador será a ponte com o pessoal de Recursos Humanos no que tange aos incentivos merecidos pela equipe.
2. Estabelecer objetivos financeiros desde o início do projeto: necessário para obter o apoio da diretoria, bem como alinhar as expectativas de retorno do projeto. Também utilizada na priorização dos projetos, quando os recursos são escassos.
3. Utilizar as revisões de finalização de cada passo do DMAIC para revisar os ganhos financeiros: os ganhos são vivos, uma vez que a cada passo a equipe vai melhorando o conhecimento do projeto e terá condições de aumentar o diminuir as expectativas.

4. Consistentemente comunicar os benefícios financeiros e reconhecer os membros da equipe responsáveis por tal sucesso: um painel visual dos casos de sucesso é fortemente recomendado.
5. Integrar o Gerenciamento do Risco do Negócio no Processo de Melhoria: o controlador deve ser o guardião dos índices e etapas de processo necessárias por leis, pois existe uma tendência de simplificação nos projetos de melhoria que podem negligenciar fatores importantes e gerar penalizações legais para as organizações que não as seguirem.

3.4.3. Análise

3.4.3.1. Análise do Modo e Efeito das Falhas ('FMEA = Failure Mode and Effect Analysis'): é mais uma ferramenta de 'afunilamento de variáveis' que consiste em um conjunto de diretrizes para se identificar problemas potenciais (falhas). Baseando suas atividades na FMEA, o líder pode focalizar a energia e os recursos alocados ao planejamento das ações preventivas, do acompanhamento e dos resultados nos pontos em que se espera que produzam os efeitos de melhoria. A FMEA é um método de análise de projetos ou de produto ou de processo usado para identificar todos os possíveis modos potenciais de falha e determinar o efeito de cada uma sobre o desempenho do processo. Então se identificam as principais causas, de tal maneira que elas possam ser eliminadas ou minimizadas. Sua finalidade é:

- Identificar, priorizar e agir em relação às falhas potenciais do produto ou projeto ou processo;
- Aumentar a confiabilidade do produto ou projeto ou processo;
- Auxiliar na manutenção preventiva e melhoria contínua;
- Melhorar a relação interdepartamental;
- Servir de documentação do produto ou projeto ou processo.

As principais etapas de elaboração do FMEA são:

- Definir a equipe responsável pela execução;
- Definir as entradas (X's) priorizadas na Matriz de Priorização;
- Identificar os potenciais modo de falha;

- Identificar potenciais efeitos de cada falha;
- Identificar as causas da falha;
- Identificar os controles existentes;
- Analisar e pontuar a Severidade de cada efeito, conforme Tabela 3.2;
- Analisar e pontuar a Probabilidade de Ocorrência de cada causa de falha, conforme Tabela 3.2;
- Analisar e pontuar a Habilidade de Detecção de cada modo de falha, conforme Tabela 3.2;
- Multiplicar os 3 itens acima para calcular o ‘Número de Prioridade de Risco’ ($RPN = Risk\ Priority\ Number$) e priorizar;
- Desenvolver as ações para reduzir ou eliminar o risco;
- Estipular prazos e responsáveis para cada ação priorizada;
- Revisar periodicamente a FMEA;

Failure Mode and Effects Analysis (FMEA)																
Análise do Modo e Efeito das Falhas: tem como objetivo analisar como cada X pode falhar e seu impacto no Y.																
Passos do Processo	Entradas	Modo de Falha	Efeitos de cada Falha	Severidade do Efeito	Potencial Causa de cada falha	Ocorrência da causa	Controles Atuais	Detecção da Falha	RPN	Ações Recomendadas	Responsável	Ação Tomada	SEV	OC	DET	RPN
Etapa do processo onde cada X's aparece	X's priorizados da matriz C&E	Como este X pode falhar?	Qual o efeito de cada falha?	O quão severo é o efeito? Nota de 1 a 10, 10 para efeitos de maior gravidade	O que pode ter causado esta falha?	O quão frequente é esta falha? Nota de 1 a 10, 10 para grande frequência	Quais os modos para controlar a causa, a falha ou amenizar o efeito, que são utilizados hoje?	O quão eficaz é o método de controle? Nota de 1 a 10, 10 para o menos eficaz.	(Sev) x (Oc) x (Det)	Quais ações serão recomendadas para minimizar o efeito, evitar a causa ou melhorar os controles?	Quem será o responsável por cada ação?	Qual a ação realizada?	revisado	revisado	revisado	revisado
									0							0
									0							0

Figura 3.5 – Modelo de FMEA -Análise do Modo e Efeito das Falhas (Fonte: Rath & Strong, 2001)

Tabela 3.2 – Pontuação do FMEA (Fonte: Rath & Strong, 2001)

Importância	Severidade do Efeito	Probabilidade de Ocorrência	Habilidade de Detecção
10	Perigoso à saúde sem aviso	Falha é quase inevitável	Usuário detecta somente durante o uso
9	Perigoso à saúde com aviso	Muito alta probabilidade	Usuário detecta durante inspeção pré-uso
8	Perda da função principal	Alta probabilidade	Usuário dificilmente detecta
7	Perda parcial da função principal	Falha repetidamente	Muito difícil detecção no teste de liberação
6	Perda da função Secundária	Moderada probabilidade	Difícil detecção no teste de liberação
5	Perda parcial da função secundária	Falhas Ocasionais	Moderada chance de detecção no teste de liberação
4	Pequeno efeito observado por todos usuários	Falhas raras	Boa chance de detecção no teste de liberação
3	Pequeno efeito observado por alguns usuários	Baixa probabilidade	Alta chance de detecção no teste de liberação
2	Pequeno efeito observado por usuários específicos	Muito raramente falha	Muito alta chance de detecção no teste de liberação
1	Nenhum efeito	Não falha	Detecção total no teste de liberação

3.4.3.2. Análise Multi-Variáveis ('Multi-vari'): método de estudo quantitativo da relação entre as variáveis de entrada suspeitas e as variáveis de saída de um processo durante a operação normal. Determina com alta confiança estatística a capacidade das variáveis-chave de saída 'Y's' de um processo serem afetadas pelas prováveis variáveis de entrada 'x's' críticas. É também chamada de coleta passiva de dados, pois não se determina os valores das variáveis de entrada que se deseja estudar, deixando o processo correr naturalmente. O estudo multi-vari permite a investigação de variáveis de entrada controladas ou não controladas e seu impacto nas variáveis de saída durante a produção. Identifica quanto a variabilidade na variável de saída está relacionada às variáveis sob estudo e indica as variáveis de entrada que podem precisar de controle ou correção e que não estão sob controle. Portanto, o líder de projeto construirá os estudos multi-vari usando as entradas do Mapa de Processo, da Matriz de Priorização e os resultados do FMEA. Os membros da equipe e pessoal de suporte irão se envolver na coleta de dados. As variáveis de entrada não controladas e algumas controladas são estudadas passivamente em

operação de produção, buscando-se fontes de variação. A observação do processo como ele opera naturalmente é conduzida num período de dias, semanas, meses, etc. Podemos dividir a execução dos estudos multi-vari em duas fases:

- Fase 1 – Prova de Conceito:
 - Observe o processo ao longo de um curto período de tempo como um estudo da ‘evidência do conceito’ para seu plano de coleta de dados.
 - Teste o plano de coleta de dados para segurança e perfeição. Modifique quando necessário baseado nos resultados iniciais.
 - Meça e grave os valores das variáveis de saída ‘Y’s’ e das variáveis de entrada ‘X’s’ do processo.
 - Avalie a estabilidade e a capacidade do seu processo no curto prazo.
 - Desenvolva um plano de ação baseados nos diagnósticos. Aja nas oportunidades para rápidas melhorias de processo.
 - Modifique o plano de coleta de dados quando necessário.
- Fase 2 – Estudo ‘Full-scale Multi-Vari’:
 - Rode o estudo para um período de tempo longo o suficiente para permitir que o processo revele seu intervalo de variação completo.
 - Colete os dados obtidos.
 - Foque na caracterização dos efeitos das variáveis de entrada suspeitas (controladas e não controladas) nas variáveis de saída.
 - Conduza uma análise de estabilidade e capacidade para longo termo, isto é, analise os dados e valide os resultados segundo o DOE.
 - Tire conclusões.
 - Faça um relatório de resultados e recomendações.

Ao final desse estudo teremos como saídas as variáveis de entrada que serão utilizadas nas futuras avaliações via DOE (Delineamento de Experimentos), e ações recomendadas para redução da variação causada por variáveis não controladas.

3.4.4. Implementação das Melhorias

3.4.4.1. Experimentação ('Experimentation'): após a priorização das principais variáveis de entrada qualitativamente com as ferramentas anteriores, finalmente é necessário uma coleta de dados ativa, ou seja, verificar o 'quanto' estas variáveis interferem nas variáveis de saída. Normalmente auxiliado pela ferramenta de Delineamento de Experimentos, o planejamento adequado dos limites que serão atribuídos as variáveis de entrada é muito importante para quantificar o impacto da variação dos X's nos Y's do processo, incluindo suas interações (aqui está a grande diferença de atuar em um X de cada vez).

i. Planejamento de um Experimento:

1. Escolher o número de fatores (X's);
2. Escolher o número de níveis;
3. Fazer as combinações dos experimentos com todas as possibilidades: fator x nível;
4. Verificar a necessidade de replicação (repetir uma combinação numa ordem aleatória aumenta o isolamento de ruídos);
5. Randomizar a ordem dos experimentos para diminuir o efeito de ruídos;
6. Rodar o experimento;
7. Analisar os resultados: efeito das variáveis e efeito das interações;
8. Repetir o experimento otimizado para verificação.

3.4.5. Controle

3.4.5.1. Plano de Controle ('Control Plan'): tem como finalidade:

- Garantir que o processo irá operar dentro dos limites de especificação e com a mínima variação;
- Minimizar a necessidade de novos ajustes no processo;
- Assegurar que as melhorias identificadas e implementadas sejam duradouras – ISO 9000 pode ajudar bastante nesta etapa;
- Fornecer treinamento adequado nos procedimentos definidos;

- Definir um plano de manutenção adequado.

A partir desta fase, as entradas-chave definidas na Matriz de Priorização, FMEA e verificadas no estudo Multi-Vari e/ou DOE, serão constantemente monitoradas. Já o plano de controle deve ser revisado periodicamente. A elaboração do plano de controle segue os seguintes passos:

- Obtenha toda a documentação existente sobre o processo;
- Determine o escopo do processo e alinhe o plano de controle;
- Atualize toda documentação existente com mais de 3 meses;
- Faça um estudo da capacidade para o curto prazo. Pode ser substituído pelo estudo para longo prazo;
- Preencha o plano de controle baseando-se na documentação e procedimentos operacionais revisados;
- Identifique a existência de componentes não incluídos e lacunas ('gaps');
- Verifique a adequação do treinamento, dos procedimentos operacionais e de manutenção;
- Defina tarefas para os membros do time para eliminar os 'gaps' identificados;
- Verifique o alinhamento dos objetivos com os requisitos;
- Re-treine os operadores e equipe de manutenção;
- Obtenha assinatura de concordância dos responsáveis por segurança, manutenção e engenharia de processos;
- Verifique a eficiência dos planos de controle com um estudo de capacidade depois de 6 meses.

[illegible]

Figura 3.6 – Modelo de Plano de Controle (Fonte: o próprio autor)

3.4.5.2. Treinamentos (‘Hand-off Training’): diz respeito ao treinamento dos colaboradores diretamente envolvidos no projeto. Geralmente, se há a necessidade de constante reciclagem de treinamento, a frequência e responsabilidade devem ser inseridas no plano de controle.

3.4.5.3. Capacidade Final ('Final Capability'): o objetivo desta etapa é analisar a capacidade final do processo, depois de implementadas as melhorias, e verificar se a performance do processo atingiu os alvos do projeto. Aqui se mede a eficiência do projeto e o retorno deste. Compara-se a capacidade inicial com a capacidade final e identificam-se as melhorias. O estudo da capacidade final deve ser constantemente atualizado e revisado, servindo como acompanhamento do processo até que este se estabilize. É a partir daqui que sairá os ganhos do projeto. A ferramenta utilizada normalmente é o Gráfico de Controle: é um gráfico cujos dados são plotados numa ordem cronológica e a sua interpretação concluirá se o processo está sob controle ou não. Limites de controle estatisticamente são determinados e a linha central é a média dos dados. Utilidade do Gráfico de Controle: definir os limites das variações comuns de um processo:

- Se todos os pontos estão entre os limites de controle assume-se que apenas causas comuns estão atuando e o processo está sob controle;
- Assume-se que o processo está fora de controle quando:
 - 1 ponto está fora dos limites, ou seja, uma causa especial ocorreu;
 - 7 pontos seguidos, aumentando ou diminuindo (tendência);
 - 8 pontos acima ou abaixo da média;
 - 14 pontos alternadamente acima e abaixo da média.

3.4.5.4. Aprovação do Proprietário do Processo ('Process Owner Sign-off'): reconhecimento oficial do sucesso do projeto. Registra-se a aprovação do projeto. Nesta fase, o líder do projeto faz uma apresentação formal do projeto a todos os interessados e transfere oficialmente a responsabilidade do plano de controle ao proprietário do processo, o qual aprova esta transferência formalmente.

3.4.5.5. Relatório Final ('Final Report'): apresentação final de fechamento do projeto. Aqui será apresentado todas as etapas do projeto, as análises, as melhorias e o plano de controle juntamente com seus respectivos responsáveis.

Capítulo 4 - Análise Experimental

4.1. Definições do Processo e do Produto

- **Processo de Manufatura:** atividades relativas ao desenvolvimento e à produção de produtos tangíveis. Compreende o chão de fábrica, produção e, em alguns casos, engenharia e desenvolvimento de produtos. Neste projeto, o processo de Manufatura é composto por um equipamento que recebe uma quantidade pré-definida de fibras em uma esteira, que serão desfibradas ordenadamente e acumuladas num elemento rotativo até formar uma manta e posteriormente, prensadas para dar o formato final do produto: uma ‘concha’. Há no escopo deste projeto 2 produtos: concha e concha interna. A diferença destes 2 produtos apenas ocorre em fases posteriores e portanto está fora deste estudo. O objetivo deste processo de Manufatura é produzir um produto final, o respirador descartável. As características críticas de qualidade (‘CTQ = Critical to Quality’), ou seja, as qualidades procuradas pelo usuário ao utilizar os respiradores são:
 - Ajustar-se comodamente na face do usuário através do ajuste dos acessórios;
 - Permitir a livre passagem do ar da respiração do usuário retendo as partículas prejudiciais à saúde humana;
 - Não colapsar na face do usuário, durante a utilização (respiração).
- **Descrição do produto final manufaturado:**
 - Respirador Descartável: composto por 4 partes:
 1. uma concha de sustentação (fibra sintética);

2. meio filtrante (micro fibras tratadas eletrostaticamente);
3. parte externa (não-tecido que protege o meio filtrante);
4. acessórios (manter respirador firme na face do usuário):
 - 2 bandas de elástico;
 - 1 tira de espuma;
 - 1 grampo de ajuste nasal.



Figura 4.1 – Modelo de Produto do Estudo de Caso (Fonte: o próprio autor)

Neste projeto, o foco foi apenas primeira parte descrita acima: a ‘concha’ (*dica 1: escopo*).

A condução deste projeto seguiu a determinação da empresa de se utilizar o ‘Cronograma’ do DMAIC, com a finalidade de se unificar a comunicação entre todos os colaboradores. Como rotina de um projeto Seis Sigma, a equipe recebeu um desafio extra de concluir o projeto em 6 meses, mesmo sendo o primeiro projeto da área. Abaixo, na Figura 4.2 está representado o ‘Cronograma’ do projeto, com as datas de início e fim de cada passo. Cada ferramenta será detalhada na seqüência deste capítulo. Importante salientar que não foi possível utilizar a ferramenta de Estudo Multi-vari devido à ausência de dados históricos sobre a reutilização de fibras neste processo e por isso, a equipe teve que obter dados ativos, ou seja, através do DOE.

Também fica evidenciada a disciplina da equipe em seguir o prazo estipulado, em todas as fases do DMAIC (*dica 2: disciplina*).

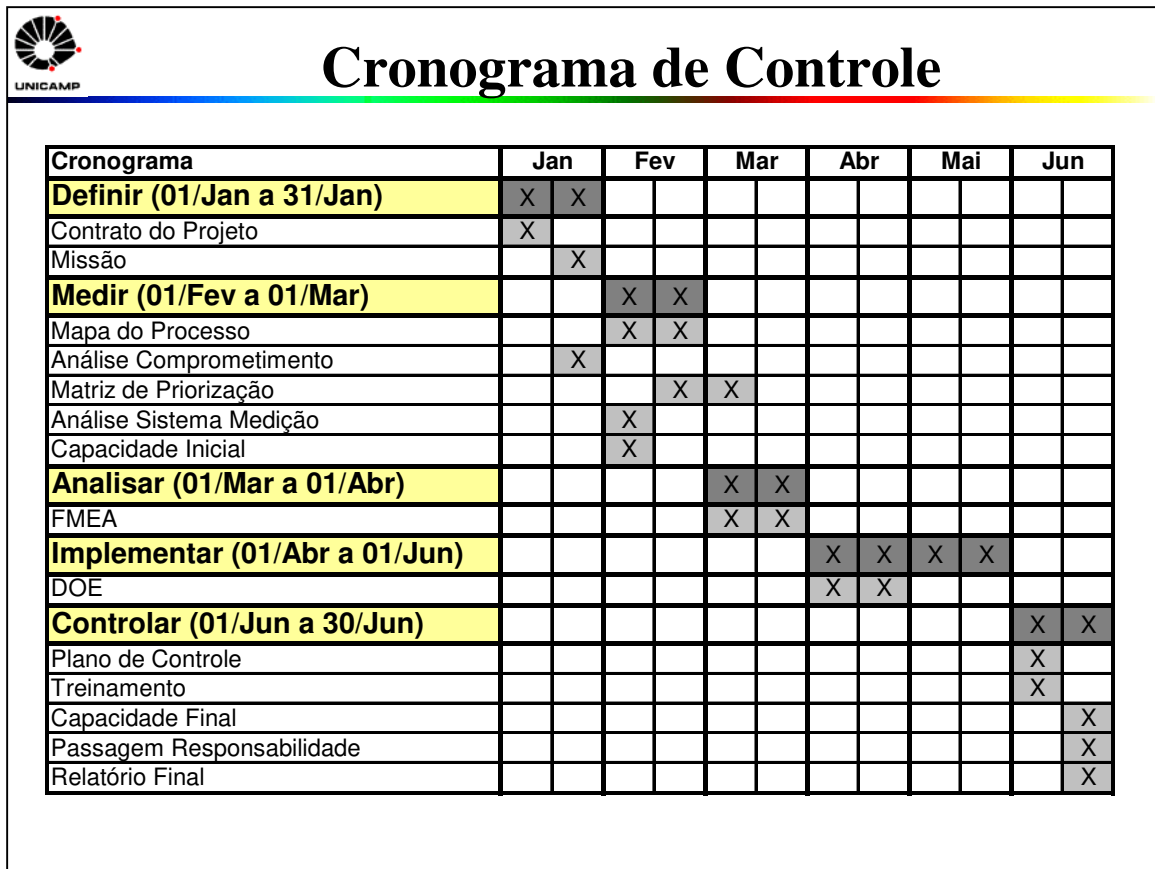


Figura 4.2: Cronograma do Projeto Respiradores (Fonte: o próprio autor)

4.2. Desenvolvimento dos 5 Passos do DMAIC

Abaixo, as ferramentas de cada passo do DMAIC serão descritas detalhadamente, de acordo com o desenvolvimento deste projeto:

4.2.1. Definição

4.2.1.1. Contrato do Projeto: a equipe foi montada seguindo um rigoroso critério de envolver todos os colaboradores que poderiam contribuir com seus conhecimentos durante as análises do projeto, porém tomando-se o cuidado de não trazer membros

em demasia para os trabalhos em equipe. Esta atitude visava manter o foco da equipe estritamente no tópico de cada reunião de trabalho semanal, característica marcante em projetos Seis Sigma, pois muitos membros acabam gerando muitos debates e por muitas vezes fugindo do foco (*dica 3: foco*). Abaixo a descrição dos membros da equipe:

Tabela 4.1: Equipe do Projeto Respiradores (Fonte: o próprio autor)

Papel Genérico	Belts ou Outros Títulos	Função na Empresa
Patrocinador	Champion	Gerente de Manufatura
Facilitador	Master Black Belt	Master Black Belt
Treinador/Suporte	Black Belt	Black Belt
Líder de Equipe	Green Belt	Supervisor da Produção
Proprietário de Processo	Proprietário de Processo	Supervisor da Produção
Membro de Equipe	Membro de Equipe	Coordenador da Produção
Membro de Equipe	Membro de Equipe	Engenheiro de Processos
Membro de Equipe	Membro de Equipe	Engenheiro da Qualidade
Membro de Equipe	Membro de Equipe	Planejador da Produção
Membro de Equipe	Membro de Equipe	Engenheiro da Manutenção
Suporte	Suporte	Engenheiro de Desenvolvimento
Suporte	Suporte	Engenheiro de Serviço Técnico

Importante salientar que, na empresa deste caso, o fato do ‘Black Belt’ ser uma função com dedicação exclusiva para implementação de projetos Seis Sigma facilita muito o controle no cumprimento dos prazos estabelecidos. No entanto, como normalmente os membros da equipe e ‘green belt’ são funcionários que dedicam cerca de 20% do tempo para o projeto, normalmente o ‘Black belt’ lidera 5 projetos ao mesmo tempo. A dedicação de 20% gera este alongamento dos passos para cerca de 6 meses no primeiro projeto porque todos os participantes da equipe fazem um intenso treinamento das ferramentas durante a execução do projeto, além é claro, de levar suas tarefas rotineiras: sem produção e produto não faz sentido se pensar em melhorias!

Neste projeto, o ‘green belt’ e o proprietário do processo são funções desempenhadas pelo mesmo funcionário, o que facilita a passagem da responsabilidade (desnecessária nesta situação). Os engenheiros da Qualidade e Serviço Técnico contribuíram com o conhecimento no produto, bem como para certificar que os CTQs seriam no mínimo mantidos, através da execução dos testes de liberação do produto. O Engenheiro de Desenvolvimento colaborou no suporte quanto à alteração da formulação, uma vez que a matéria-prima seria alterada ao final do projeto. O

Supervisor e Coordenador da Produção são os responsáveis pelo cumprimento das determinações descritas nas receitas atualizadas pelo Engenheiro de Processos. O Engenheiro da Manutenção contribuiu muito devido ao conhecimento do equipamento e seus componentes. Nota: suporte apenas participa com informações, quando necessário (*dica 4: seleção correta dos membros*).

Logo na segunda reunião semanal se fechou o Contrato do Projeto e se obteve o apoio da Equipe de Liderança da Diretoria devido ao tremendo desafio de se reduzir em 90% o nível das perdas. Abaixo na Tabela 4.2, estão as métricas definidas pela equipe.

Tabela 4.2: Métricas do Projeto Respiradores (Fonte: o próprio autor)

Métricas	Tipo	Base	Meta	Entitlement
Perdas (%)	Primária	18 %	1,8 %	0 %
Taxa Reciclagem (%)	Primária	0 %	90 %	100 %
Nível Sigma	Primária	2,4	3,6	> 6
COPQ (\$)	Secundária	110.000	11.000	0
Resistência (gf/cm³)	Contra-medida	> 0,72	> 0,72	> 0,72
Queda Pressão (atm)	Contra-medida	< 0,07	< 0,07	< 0,07

Base: média mensal das perdas no último ano.

Meta: 90% da oportunidade total (Base – 'Entitlement')

'Entitlement' = melhor valor possível. ('best in class')

Foram determinadas pela equipe:

4.2.1.2. Métricas:

- Como métricas primárias:

1. Perdas (%): média do nível de perda dos últimos 12 meses imediatamente anteriores ao início do projeto. A definição deste percentual foi feita com auxílio das Tabelas II e III, mostrada nos Anexos. Para se calcular o percentual de perdas, divide-se a diferença entre a quantidade de fibra perdida (entrada menos saída), pela quantidade de fibra de entrada. Exemplo:

- Quantidade de entrada de fibra na esteira = 100 kg;
- Quantidade de saída de fibra (na forma de concha) = 82 kg;

- c. Quantidade perdida = 18 kg;
- d. Percentual de perda = $18 \text{ kg} / 100 \text{ kg} = 0,18 = 18\%$.

2. Taxa de Reciclagem (%): quantidade de fibra reciclada dividida pela quantidade de fibra perdida. Exemplo:

- e. Quantidade de fibra perdida na primeira fase do processo = 18,0 kg;
- f. Quantidade de fibra reciclada (misturada na entrada da esteira) = 16,2 kg;
- g. Quantidade perdida na reciclagem (perdida-reciclada) = 1,8 kg;
- h. Taxa de Reciclagem = $16,2 \text{ kg} / 18,0 \text{ kg} = 0,90 = 90\%$.

3. Nível Sigma: baseada na Tabela VI dos Anexos, segundo Rath & Strong (2001), tem-se para 18% de perdas, aproximadamente 2,4 sigma e para 1,8% de perdas, 3,6 sigma.

- Como métrica secundária:

4. COPQ: representa o valor monetário da perda existente antes do início do projeto. Simplesmente se multiplica a quantidade de fibra perdida no mês pelo valor monetário da fibra. Reforçando, segundo Breyfogle (2001), esta é uma excelente métrica para unificar a comunicação dentro de toda a empresa. A utilização desta métrica facilita a compreensão e é um elemento crítico na implementação com sucesso da Metodologia Seis Sigma (*dica 5: métrica correta*).

- Como contra-medida (métrica que no mínimo deve ter seu valor mantido, ou seja, sem necessariamente precisar se otimizar este Y), foram definidas as 2 características de qualidade críticas para o usuário:

5. Resistência (gf/cm³): força necessária no suporte ou na concha para que ao respirar a mesma não entre em colapso, ou seja, não fique maleável e comece a aderir à face do usuário prejudicando sua funcionalidade. Não pode ser menor que o limite mínimo de especificação (0,72 gf/cm³)

6. Queda de Pressão (atm): resistência à respiração normal do usuário. Não pode ser maior que o limite máximo (0,07 atm) que é o valor em que o usuário começa a sentir incômodo ou pequena dificuldade para respirar.

4.2.1.3. Missão: a equipe respondeu aos 5W1H da seguinte maneira:

1. Who (quem): a equipe Seis Sigma (no momento, era a única da fábrica);
2. What (o que): definirá o processo de reutilizar em até 90% as sobras do processo;
3. Why (por que): reduzir perdas, sem interferir nas características finais do produto;
4. Where (onde): manufatura dos respiradores descartáveis;
5. When (quando): de Janeiro a Junho deste ano;
6. How (como = plano de ação): utilizando a abordagem DMAIC.

Portanto, a declaração da missão ficou assim definida: ‘A equipe Seis Sigma, de Janeiro a Junho deste ano, definirá o processo de reutilizar em até 90% as sobras do processo de manufatura dos respiradores descartáveis, com o objetivo de reduzir as perdas, sem interferir nas características finais do produto, utilizando a abordagem DMAIC’.

Completando este projeto, a área minimizará o impacto ambiental, uma vez que o consumo de material não renovável será diminuído e economizará cerca de \$ 100,000 por ano.

Portanto, ao final da quarta semana o projeto estava plenamente definido e comunicado para toda a empresa, utilizando a linguagem Seis Sigma.

4.2.2 Medição

4.2.2.1. Mapa do Processo: com o envolvimento de toda a equipe, no mapa do processo foram identificadas as 10 etapas, com 36 variáveis de entrada (x's) e 24 variáveis de saída (Y). Também foi determinado o tipo de cada variável, controlada ou não. Nesta fase, nenhum x deve ser negligenciado para que não se descubra ao final do projeto que uma variável aparentemente elementar, na verdade era uma das variáveis críticas do processo. Esta ferramenta é muito importante para o alinhamento do conhecimento de todos os participantes da equipe. Também é uma ferramenta muito importante para treinamento de funcionários novos para este processo (*dica 6: alinhamento do conhecimento*). Normalmente uma reunião deve ser suficiente para finalizar o Mapa do Processo em processos relativamente pequenos. Caso, não seja possível terminar em uma reunião, o líder deve verificar se a equipe:

1. Está detalhando o mapa do processo demasiadamente;
2. Está perdendo o foco e entrando em fases do processo que não fazem parte do escopo do projeto.

Veja o Mapa do Processo na figura a seguir e observe que o foco está apenas no mapeando da fase de formação da concha e não em fases posteriores, como a fixação do elástico e do grampo:

Variável de Entrada (X)		Manufatura		Variável de Saída (Y)
		Etapa do Processo		
1 Fibra (pesagem)	C	Abastecimento da Fibra		Quantidade Correta de mistura
2 Homogeneização	I			Mistura Homogênea
3 Nível do sensor	C	Abertura das Fibras		Fibras em flocos (soltas)
4 Frequência Trabalho Alimentadora	C			Frequência de limpeza da abridora
5 Limpeza da Abridora	I			
6 Integridade dos pinos de transporte	I			
7 Integridade das guarnições	I	Formação da Manta		Gramatura da manta
8 Tipo de guarnição	C			Manta uniforme, sem espaços ou falhas
9 Ajustes do equipamento	C			Comprimento da manta
10 Distribuição na alimentação da carda	I			Frequência de limpeza da carda
11 Taxa de Mistura de Fibra	C			Largura da manta
12 Características da Fibra	I			
13 Integridade do fio de corte	I	Coletor Mantas		Manta limpa
14 Temperatura	C	Prensagem		Aspecto Visual do suporte
15 Pressão inferior	C			Queda de Pressão do suporte
16 Pressão superior	C			Resistência do suporte
17 Tempo de prensagem	C			Suporte sem delaminação
18 Integridade dos moldes	I			Peso do Suporte
19 Barras de entrada e saída da prensa	C			
20 Peso da Manta	I			
21 Uniformidade da Manta	C			
22 Qualidade do fio de corte	I	Corte		Conjunto de suportes sem bordas queimadas
23 Limpeza das canaletas do fio de corte	I			Corte correto dos suportes
24 Afição da faca de refilo	I			Perdas inerentes do processo
25 Limpeza da caixa	C	Segregação		Armazenagem das aparas limpas e identificadas
26 Operação	I			
27 Fechamento da caixa	C			
28 Limpeza da prensa de enfardamento	C	Transporte		Fardos de aparas prensados e embalados corretamente
29 Operação/Manutenção	I			Identificados com o peso e número de lote
30 Pesagem dos fardos	C			
31 Limpeza da lona de cobrimento de aparas	C			
32 Estocagem do material	C	Desfibramento		Comprimento da fibra
33 Preparação e limpeza do local e equipamento	C			Embalagem correta
34 Operação	I			Fibra limpa
35 Quantidade de resina	C			
36 Preparação da resina	C			

Figura 4.3: Mapa do Processo do Projeto Respiradores (Fonte: o próprio autor)

4.2.2.2. Análise de Envolvimento ou Comprometimento: no início do projeto, esta ferramenta foi utilizada para se identificar o nível de comprometimento dos envolvidos no projeto e como já era de se esperar, algumas oportunidades foram identificadas:

1. Time da produção: treinar na metodologia mostrando a importância do projeto;
2. Engenheiro da Qualidade: demonstrar importância do projeto e preocupação com propriedades finais do produto;
3. Planejador: envolver Gerente de Planejamento e mostrar importância do projeto.

Veja resumo na figura abaixo:

Análise de Envolvimento						
Equipe	Nível de Suporte			Comentários		Tática para atingir Envolvimento
(Máximo 10)	A = Nível atual N = Nível Necessário			Pontos Positivos	Oportunidades	Plano necessário para atingir ou manter nível necessário
	Contra	Neutro	Favorável			
Time de Processos			AN	Propriedade do Processo	OK	OK
Time da Produção		A → N		Aberto para mudanças	Treinamento Operadores	Treinar na Metodologia e mostrar importância do projeto
Engenheiro da Qualidade	A → N			Trabalha na liberação	OK	Demonstrar importância do projeto e preocupação com propriedades finais do produto
Planejador da produção	A → N			OK	Abrir espaço para experimento	Envolver Gerente de Planejamento e mostrar importância do projeto
Fornecedor Serviço			AN	Parceria	OK	OK
Engenheiro de Manutenção			AN	Aberto para mudanças	OK	OK

Figura 4.4: Análise de Envolvimento do Projeto Respiradores – Inicial (Fonte: o próprio autor)

Após as ações implantadas, houve o envolvimento e comprometimento dos membros que inicialmente estavam com resistência a implantação da metodologia Seis Sigma (*dica 7: rapidez na análise do envolvimento*). Interessante reforçar que em alguns casos, medidas drásticas devem ser tomadas, até com a substituição do membro que não está colaborando. Também é importante para o líder compreender que é natural o ser humano resistir às mudanças, principalmente para os operadores que muitas vezes temem sua garantia de emprego quando se faz melhorias de produtividade. Quando necessário, envolver o time de RH para treinamentos de como gerenciar mudanças. Neste projeto, o foco era redução de perdas, o que traria mais negócios para a empresa

e, portanto, mais produção e talvez mais funcionários, o que tornou mais fácil qualquer implementação de mudança. Na figura abaixo fica evidente que o nível desejado de envolvimento de cada membro foi atingido logo no primeiro mês, conforme mostrado abaixo:

Análise de Envolvimento - Final						
Equipe	Nível de Suporte			Comentários		Tática para atingir Envolvimento
(Máximo 10)	A = Nível atual N = Nível Necessário			Pontos Positivos	Oportunidades	Plano necessário para atingir ou manter nível necessário
	Contra	Neutro	Favorável			
Time de Processos			AN	Propriedade do Processo	OK	Celebrar resultados
Time da Produção			AN	Aberto para mudanças	Treinamento Operadores	Treinar na Metodologia e mostrar importância do projeto
Engenheiro da Qualidade		AN		Trabalha na liberação	OK	Demonstrar importância do projeto e preocupação com propriedades finais do produto
Planejador da produção		AN		OK	Abrir espaço para experimento	Envolver Gerente de Planejamento e mostrar importância do projeto
Fornecedor Serviço			AN	Parceria	OK	Celebrar resultados
Engenheiro de Manutenção			AN	Aberto para mudanças	OK	Celebrar resultados

Figura 4.5: Análise de Envolvimento do Projeto Respiradores – Final (Fonte: o próprio autor)

4.2.2.3. Matriz de Priorização: primeiramente a equipe identificou os principais Y's do Mapa do Processo e atribuiu a respectiva taxa de importância, com foco do cliente (neste caso, o usuário do respirador). Em seguida, verificou-se a correlação (forte, média, fraca ou nula) de cada variável de entrada com as variáveis de saída. Sempre se busca o consenso de todos os membros e nunca se utiliza votação ou média das opiniões. Se há discordância sobre a correlação, abre-se espaço para argumentação entre os opinantes em contradição e o líder deve interceder ou conduzir para que se chegue a uma opinião única (*dica 8: objetividade na pontuação da Matriz De Priorização*). É comum que durante o início da fase de pontuação ocorra a tendência dos membros da equipe defender a hipótese de que toda correlação seja muito forte. Neste ponto, o líder ou o facilitador tem que ter habilidade de sempre lembrar aos membros da equipe o processo como um todo. Abaixo, a figura da Matriz de Priorização no final da pontuação:

Matriz de Priorização											
			Taxa de Importância		7	9	8	10	10	10	
				1	2	3	4	5	6		
			Variável de Saída (Y)	Fibras Abertas	Frequência de Limpeza da Carda	Aspecto Visual do Suporte	Perdas do Processo	Queda de Pressão	Resistência do Suporte		
Etapa do Processo	Variável de Entrada (X)									Total	
1	Abastecimento Fibras	Pesagem da fibra		3	9	3	9	3	3	276	
2	Abastecimento Fibras	Homogeneização		3	1	9	0	1	3	142	
3	Abertura Fibras	Nível do sensor		3	3	1	3	0	1	96	
4	Abertura Fibras	Frequência Trabalho Alimentadora		3	3	1	3	0	1	96	
5	Abertura Fibras	Limpeza da Abridora		3	1	1	1	1	1	68	
6	Abertura Fibras	Integridade dos pinos de transporte		3	1	1	1	1	1	68	
7	Formação da Manta	Taxa de Mistura		9	3	9	9	3	9	372	
8	Formação da Manta	Características da Fibras		3	9	9	9	1	1	284	
9	Formação da Manta	Ajustes do equipamento		0	9	3	9	1	3	235	
10	Formação da Manta	Integridade das guarnições		0	9	3	9	1	3	235	
11	Formação da Manta	Tipo de guarnição		0	9	3	9	1	3	235	
12	Formação da Manta	Distribuição na alimentação da carda		0	3	3	3	3	3	141	
13	Coletor manta	Integridade do Fio de Corte		0	0	1	0	0	0	8	
14	Prensagem	Peso da Manta		0	0	3	0	9	9	204	
15	Prensagem	Uniformidade da Manta		0	0	9	0	3	9	192	
16	Prensagem	Barras de entrada e saída da prensa		0	0	0	0	0	0	0	
17	Prensagem	Temperatura das zonas 1 a 6		0	0	1	0	0	0	8	
18	Prensagem	Pressão da mesa inferior		0	0	1	0	0	0	8	
19	Prensagem	Pressão da mesa superior		0	0	1	0	0	0	8	
20	Prensagem	Tempo de prensagem		0	0	1	0	0	0	8	
21	Prensagem	Integridade dos moldes		0	0	1	0	0	0	8	
22	Unidade Corte	Qualidade do fio de corte		0	0	1	0	0	0	8	
23	Unidade Corte	Limpeza das canaletas do fio de corte		0	0	1	0	0	0	8	
24	Unidade Corte	Afição da faca de refilo		0	0	1	0	0	0	8	
25	Segregação	Limpeza da caixa		0	0	9	0	0	0	72	
26	Segregação	Operação		0	0	9	0	0	0	72	
27	Segregação	Fechamento da caixa		0	0	9	0	0	0	72	
28	Transporte	Limpeza da prensa de enfardamento		0	0	9	0	0	0	72	
29	Transporte	Operação/Manutenção		0	0	9	0	0	0	72	
30	Transporte	Pesagem dos fardos		0	0	3	0	0	0	24	
31	Transporte	Limpeza da lona de cobrimento de aparas		0	0	3	0	0	0	24	
32	Desfibramento	Estocagem do material		0	0	3	0	0	0	24	
33	Desfibramento	Preparação e limpeza do local e equipamento		0	0	3	0	0	0	24	
34	Desfibramento	Operação		3	9	3	9	1	1	236	
35	Desfibramento	Preparação da resina		3	9	0	9	0	0	192	
36	Desfibramento	Quantidade de resina		3	9	0	9	0	0	192	
Total				273	783	1016	920	290	510		

Figura 4.6: Matriz de Priorização do Projeto Respiradores – Inicial (Fonte: o próprio autor)

Em seguida, ordenou-se de maneira decrescente o total da soma da multiplicação de cada correlação com a taxa de importância de cada Y. Então, a primeira priorização foi feita reduzindo-se de 36 x's vindos do Mapa do processo para 11 x's (foi estipulado pela equipe a nota de corte de 192), conforme mostrado na figura a seguir:

Matriz de Priorização - Final											
			Taxa de Importância		7	9	8	10	10	10	
				1	2	3	4	5	6		
	Etapa do Processo	Variável de Entrada (X)	Variável de Saída (Y)	Fibras Abertas	Frequência de Limpeza da Carda	Aspecto Visual do Suporte	Perdas do Processo	Queda de Pressão	Resistência do Suporte	Total	
1	Formação da Manta	Taxa de Mistura		9	3	9	9	3	9	372	
2	Formação da Manta	Características da Fibra		3	9	9	9	1	1	284	
3	Abastecimento Fibra	Pesagem da fibra		3	9	3	9	3	3	276	
4	Desfibramento	Operação		3	9	3	9	1	1	236	
5	Formação da Manta	Ajustes do equipamento		0	9	3	9	1	3	235	
6	Formação da Manta	Integridade das guarnições		0	9	3	9	1	3	235	
7	Formação da Manta	Tipo de guarnição		0	9	3	9	1	3	235	
8	Prensagem	Peso da Manta		0	0	3	0	9	9	204	
9	Prensagem	Uniformidade da Manta		0	0	9	0	3	9	192	
10	Desfibramento	Preparação da resina		3	9	0	9	0	0	192	
11	Desfibramento	Quantidade de resina		3	9	0	9	0	0	192	
12	Abastecimento Fibra	Homogeneização		3	1	9	0	1	3	142	
13	Formação da Manta	Distribuição na alimentação da carda		0	3	3	3	3	3	141	
14	Abertura Fibra	Nível do sensor		3	3	1	3	0	1	96	
15	Abertura Fibra	Frequência Trabalho Alimentadora		3	3	1	3	0	1	96	
16	Segregação	Limpeza da caixa		0	0	9	0	0	0	72	
17	Segregação	Operação		0	0	9	0	0	0	72	
18	Segregação	Fechamento da caixa		0	0	9	0	0	0	72	
19	Transporte	Limpeza da prensa de enfardamento		0	0	9	0	0	0	72	
20	Transporte	Operação/Manutenção		0	0	9	0	0	0	72	
21	Abertura Fibra	Limpeza da Abridora		3	1	1	1	1	1	68	
22	Abertura Fibra	Integridade dos pinos de transporte		3	1	1	1	1	1	68	
23	Transporte	Pesagem dos fardos		0	0	3	0	0	0	24	
24	Transporte	Limpeza da lona de cobrimento de aparas		0	0	3	0	0	0	24	
25	Desfibramento	Estocagem do material		0	0	3	0	0	0	24	
26	Desfibramento	Preparação e limpeza do local e equipamento		0	0	3	0	0	0	24	
27	Coletor manta	Integridade do Fio de Corte		0	0	1	0	0	0	8	
28	Prensagem	Temperatura das zonas 1 a 6		0	0	1	0	0	0	8	
29	Prensagem	Pressão da mesa inferior		0	0	1	0	0	0	8	
30	Prensagem	Pressão da mesa superior		0	0	1	0	0	0	8	
31	Prensagem	Tempo de prensagem		0	0	1	0	0	0	8	
32	Prensagem	Integridade dos moldes		0	0	1	0	0	0	8	
33	Unidade Corte	Qualidade do fio de corte		0	0	1	0	0	0	8	
34	Unidade Corte	Limpeza das canaletas do fio de corte		0	0	1	0	0	0	8	
35	Unidade Corte	Afiação da faca de refilo		0	0	1	0	0	0	8	
36	Prensagem	Barras de entrada e saída da prensa		0	0	0	0	0	0	0	
Total				273	783	1016	920	290	510		

Figura 4.7: Matriz de Priorização do Projeto Respiradores – Priorizada (Fonte: o próprio autor)

Neste passo cabe salientar a necessidade de se levar o menor número possível de variáveis para o FMEA porque esta ferramenta é bastante detalhada e leva bastante tempo para a análise de cada variável. Não existe número ideal, porém um número próximo de 10 num primeiro projeto

(dica 9: *prioridade*). Caso ao final do DMAIC as metas não tenham sido atingidas, deve se visitar a Matriz de Priorização para verificar se algum X importante foi negligenciado.

4.2.2.4. Análise dos Sistemas de Medição: neste projeto não houve necessidade de se aprofundar na análise da variação do sistema de medição. Foi utilizado o método mais simples de análise, a auditoria nos relatórios de produção: fonte de todos os dados de perdas. A certeza de que os dados são confiáveis vem do fechamento do nível de estoque ao final de cada mês. Caso o valor do sistema fosse diferente do valor de estoque real, os ajustes necessários eram realizados e incorporados aos valores dos cálculos das perdas. Durante todo o período do projeto, nenhum ajuste foi necessário! Outra análise realizada foi nos equipamentos de testes de resistência e de queda de pressão, conforme exemplos mostrados nas Figuras A e B dos Apêndices. Estes equipamentos (manômetros) são calibrados com um padrão externo, conforme frequência pré-definida pela Engenharia de Manutenção. Nenhuma ação foi necessária durante o período de medição do projeto.

4.2.2.5. Capacidade Inicial: a média de 12 meses foi definida como a linha de base para a melhoria. Nas Tabelas II e III dos Anexos estão todos os dados de utilização e perdas de fibra por tipo de produto (concha e concha interna). Na Tabela I dos Anexos está a consolidação das perdas mensais por produto e a Perda Geral ponderada pelo uso de fibra (kg) de cada produto. A Tabela I dos Anexos é a fonte de dados para a construção dos gráficos da Capacidade Inicial. Na Figura 4.8 e 4.9 estão representadas respectivamente as perdas do produto concha e concha interna. Na Figura 4.10, tem-se a média ponderada das perdas dos 2 produtos que foram foco deste projeto. Analisando os 3 gráficos de controle observa-se que tem-se um processo sob controle, ou seja, o valor da perda de cada mês está estável, dentro dos limites de controle. Antes de iniciar qualquer análise é necessária a verificação da normalidade dos dados. Se os dados não são normais, faz-se necessária a utilização de alguma transformação (exemplo: $1/x$, x^2 , $\log(x)$, $x^{1/2}$, etc.). Existem vários softwares estatísticos para esta tarefa e no caso deste projeto, foi utilizado o Minitab. Este software apresenta 2 respostas a este teste:

1. Um gráfico de normalidade onde visualmente se verifica através do afastamento dos dados da linha da normalidade;

2. O valor ‘p-value’ que é a probabilidade da hipótese nula ser verdadeira (neste caso, a hipótese nula é: os dados são normais). Se o p-value é menor que 0,05, a hipótese nula é descartada!

Nas Figuras I, II, III, IV e V dos Anexos estão os gráficos de teste da normalidade. Os resultados estão na tabela a seguir:

Tabela 4.3: Teste de Normalidade – Inicial (Fonte: o próprio autor)

Anexo	Variável	P-value	Observação
I	Perdas Concha	0,443	Dados normais
II	Perdas Concha Interna	0,694	Dados normais
III	Perdas Geral	0,197	Dados normais
IV	Resistência	0,118	Dados normais
V	Queda de Pressão	0,852	Dados normais

Portanto, como nenhum p-value ficou menor que 0,05, trata-se de um processo com dados normais, sem causas especiais, onde se necessita uma investigação aprofundada (projeto Seis Sigma) para verificar as causas destas perdas elevadas. Análise:

1. No produto concha, apesar de uma ligeira melhoria entre os meses 5 e 10, a perda flutuou num valor médio de 22,10% ou 0,2210.
2. No produto concha interna, devido ao aproveitamento não apenas da concha, mas de toda a borda, a perda flutuou num valor médio de 9,04% ou 0,0904.
3. Finalmente, na consolidação ponderada pelo volume dos 2 produtos, concha e concha interna, a perda teve valor médio de 18,00% ou 0,1800.

Observação: todos os gráficos de controle apresentados neste trabalho são saídas do Software estatístico Minitab. Portanto, existem alguns padrões pré-estabelecidos como:

- UCL = Limite Superior de Controle = +3 sigma;
- LCL = Limite Inferior de Controle = -3 sigma;
- Individual Value = Valor Individual;
- I Chart of ‘___’ = Gráfico Individual de ‘___’; Mean of ‘___’ = Média de ‘___’;
- Probability Plot of ‘___’ = Gráfico da Probabilidade de ‘___’;
- Interaction Plot (data mean) = Gráfico de Interação (média dos dados);
- StdOrder = Ordem padrão; RunOrder = Ordem randomizada do experimento.

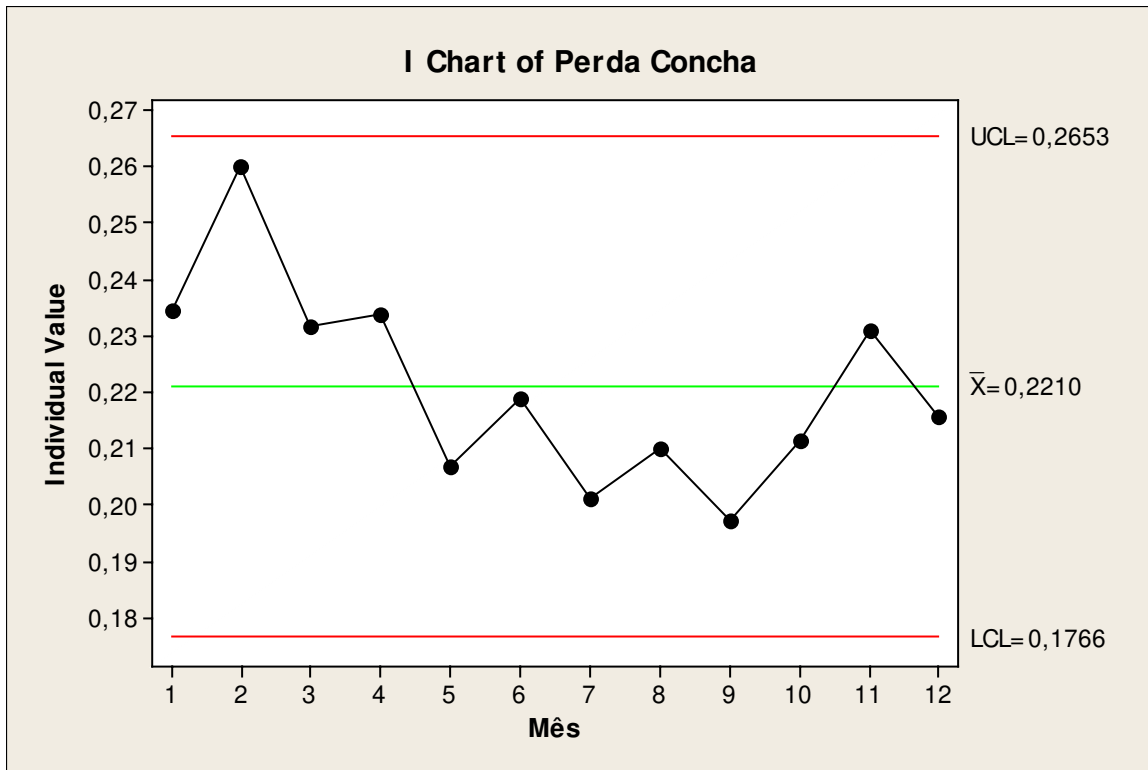


Figura 4.8: Gráfico da Capacidade Inicial das Perdas do Produto Concha (Fonte: o próprio autor)

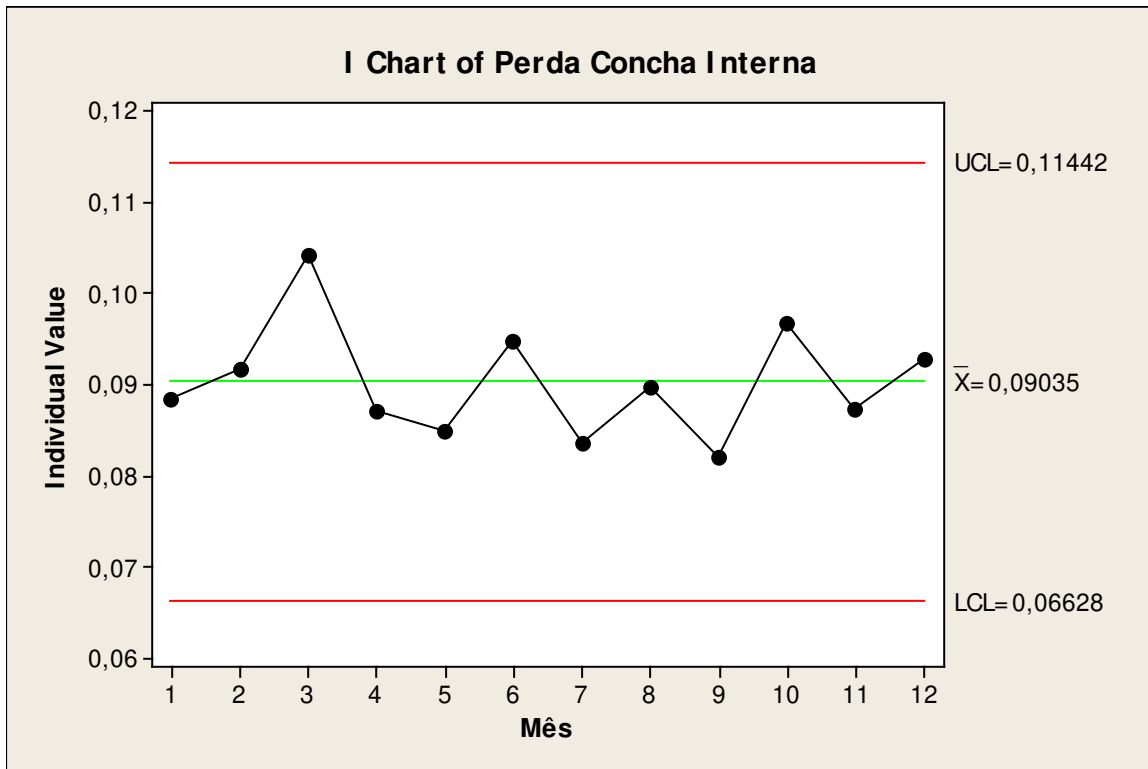


Figura 4.9: Gráfico da Capacidade Inicial das Perdas do Produto Concha Interna (Fonte: o próprio autor)

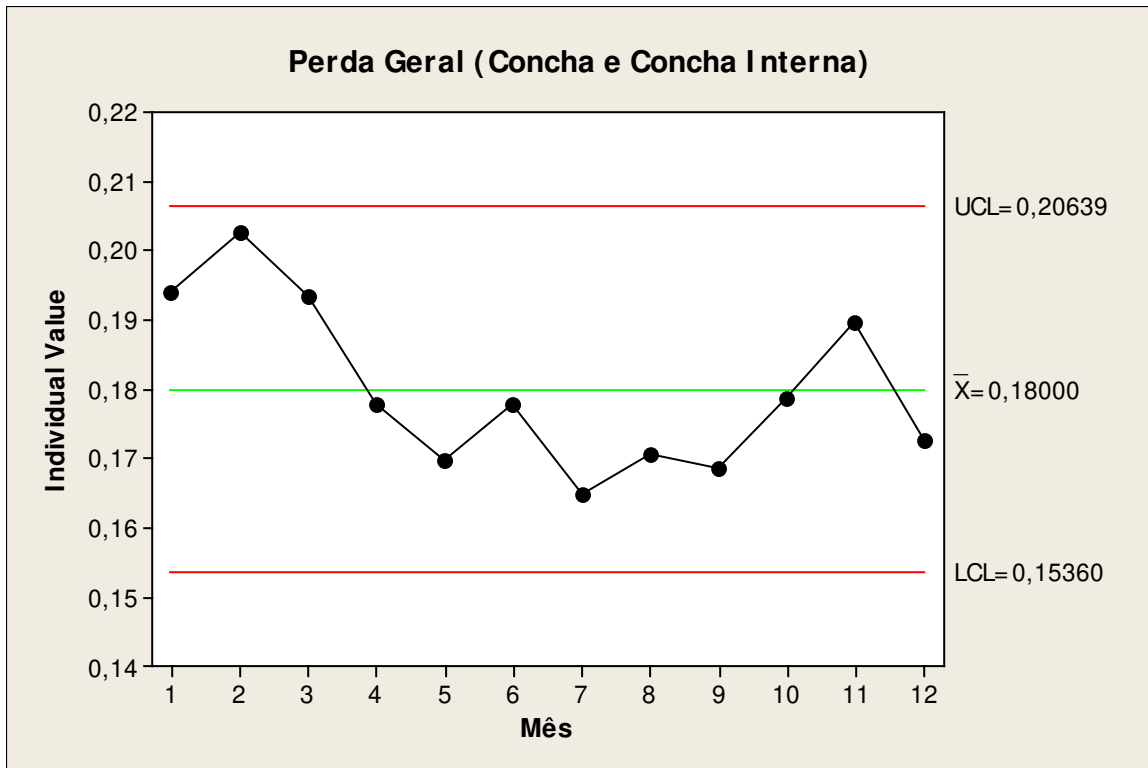


Figura 4.10: Gráfico da Capacidade Inicial das Perdas do Produto Total (Fonte: o próprio autor)

Continuando a apresentar os gráficos da capacidade inicial, a seguir estão representados:

4. Na Figura 4.11, observa-se que o comportamento da Resistência do produto está estável, lembrando que a especificação para este CTQ é de no mínimo 0,72 gf/cm³, ou seja, quanto maior, melhor. Portanto, utilizando apenas as fibras virgens o valor médio da Resistência apresentou um valor de 1,0463 gf/cm³ e conclui-se que o produto atende as especificações com até um certo superdimensionamento (o menor valor foi 0,99 gf/cm³ no mês 4).
5. Na Figura 4.12, observa-se que o comportamento da Queda de Pressão do produto está estável, lembrando que a especificação para este CTQ é de no máximo 0,07 atm, ou seja, quanto menor, melhor. Portanto, utilizando apenas as fibras virgens o valor médio da Queda de Pressão apresentou um valor de 0,02825 atm e conclui-se que o produto atende as especificações também com até um grande superdimensionamento (o maior valor foi 0,032 atm no mês 11).

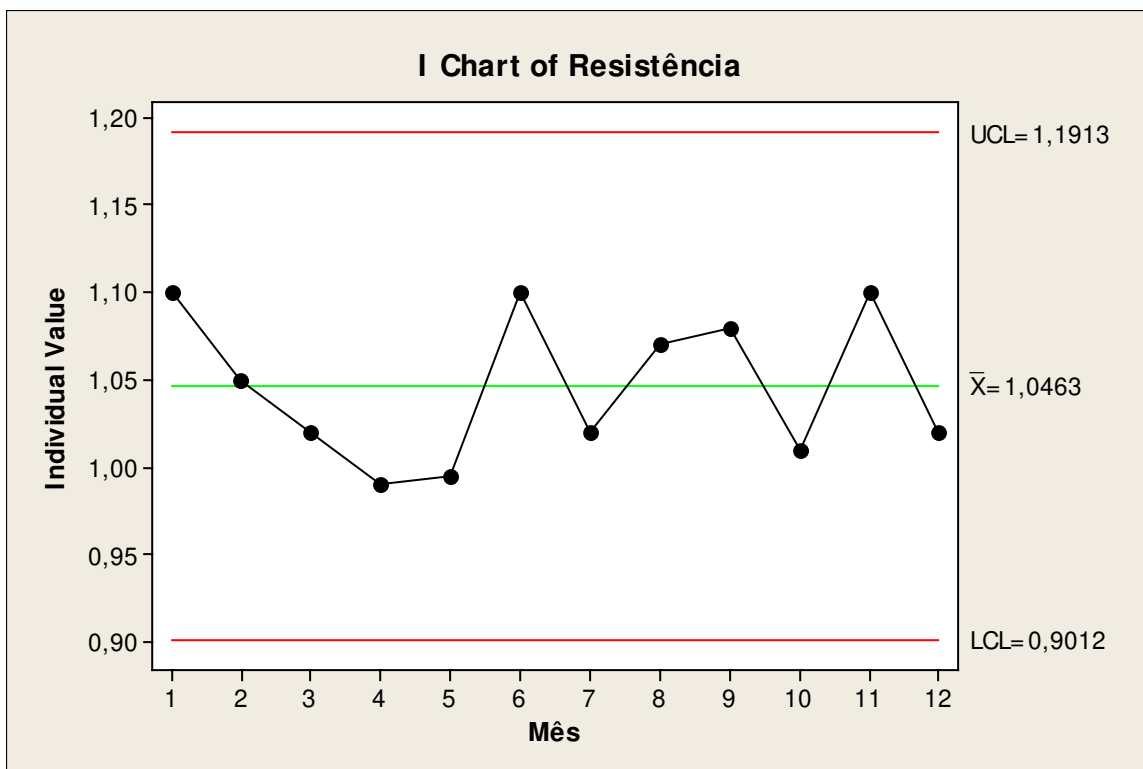


Figura 4.11: Gráfico da Resistência do Produto (gf/cm^3) – Inicial (Fonte: o próprio autor)

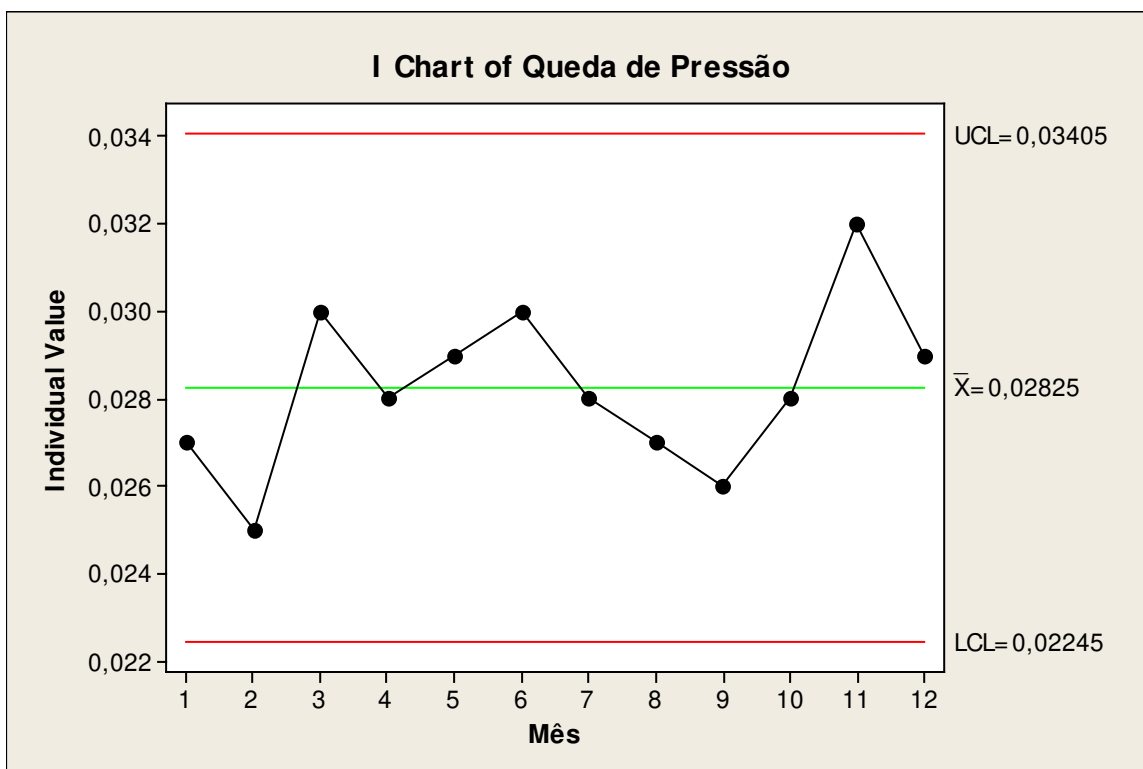


Figura 4.12: Gráfico da Queda de Pressão do Produto (atm) – Inicial (Fonte: o próprio autor)

4.2.2.6. Análise de Impacto Financeiro: conforme Neuscheler (2001) o cálculo da economia deste projeto foi realizado com o suporte do pessoal de finanças que foi envolvido desde a definição do projeto (*dica 10: envolvimento de finanças*). Como a densidade das fibras virgem e recuperada é a mesma, o valor do ganho mensal foi efetuado multiplicando-se a quantidade de fibra recuperada utilizada na fabricação pela diferença de preço entre fibra virgem e recuperada. Exemplo (mês 19):

- Quantidade de fibra recuperada utilizada no mês = 1.134,8 kg (média)
- Preço da fibra virgem (ou pura) = \$ 9,97/kg.
- Preço da fibra recuperada (ou reciclada) = \$ 2,70/kg.
- Economia = 1.134,8 kg x (\$ 9,97/kg - \$ 2,70/kg) = \$ 8.250.

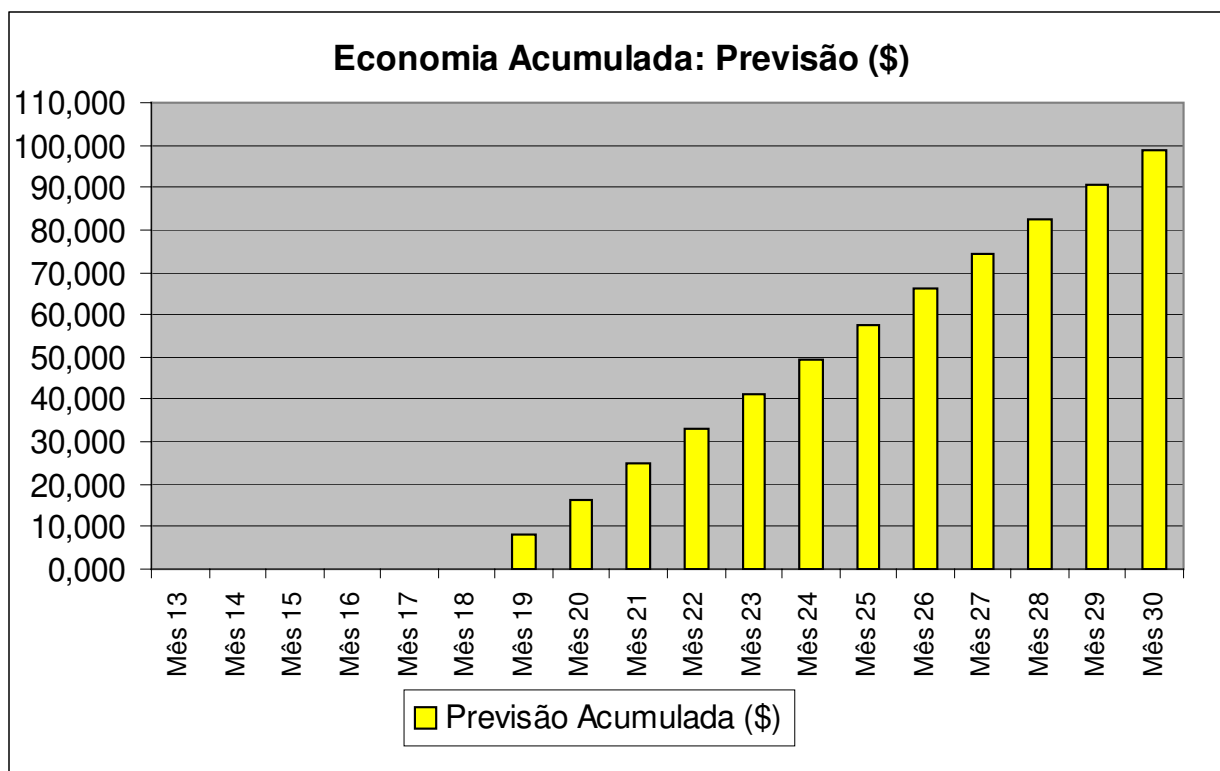


Figura 4.13: Economia Prevista do Projeto Respiradores (Fonte: o próprio autor)

Portanto, de acordo com a Figura 4.13, ficou prevista uma economia mensal de \$ 8.250 a partir do mês 19 (após o pré-fechamento do projeto), acumulando \$ 99.000 até o final deste projeto (\$8.250/mês x 12 meses). Nos resultados, o gráfico do acompanhamento da economia prevista e realizada será apresentado.

4.2.3. Análise:

4.2.3.1. Análise do Modo e Efeito das Falhas: partindo das 11 variáveis de entrada priorizadas pela equipe na Matriz de Priorização, primeiramente se verificou qual a falha que pode ocorrer, seu efeito, as potenciais causas destas falhas e os controles atuais. Então, foram atribuídos os valores de 1 a 10 para as 3 avaliações presentes no FMEA (severidade do efeito, ocorrência da causa e detecção da falha). Mesmo que ‘qualitativamente’ se avalia cada impacto com o foco do usuário do respirador, ‘quantificando’ a importância de cada fator. Finalmente se multiplicam os valores para a determinação do RPN, fator de priorização das ações a serem tomadas num determinado prazo pelo responsável. Também é comum a equipe se delongar demasiadamente no início do uso do FMEA para demonstrar a riqueza de seu conhecimento, além de conflitos com relação às notas a serem atribuídas. Sempre se busca o consenso de todos os membros e nunca se utiliza votação ou média das opiniões. Se há discordância sobre o valor do impacto, abre-se espaço para argumentação entre os opinantes em contradição e o líder deve interceder ou conduzir para que se chegue a uma opinião única. Neste ponto, o líder ou o facilitador tem que ter habilidade de sempre lembrar aos membros da equipe o processo como um todo. Atenção redobrada para que o FMEA não deixe de ser prático para se tornar cansativo (*dica 11: seja prático no FMEA*). Porém, na primeira utilização pode-se deixar a equipe ir a fundo nos desdobramentos para que o aprendizado do uso desta importante ferramenta seja plenamente fixado. Para se ter uma idéia, os 11 ‘x’s’ se desdobraram em:

- 20 Modos de Falha com;
- 4 tipos de Efeito e;
- 74 causas potenciais. Foram endereçadas:
- 33 ações para;
- 8 responsáveis;
- 2 ‘x’s’ priorizados para o DOE (vide ações na linha 3 e 4 da Figura 4.14):
 - X1: Quantidade de Resina;
 - X2: Taxa de Mistura.

Sempre colocar o nome do responsável pela ação e não o do departamento. O responsável tem que ser alguém da equipe. Se não for da equipe, este responsável deve participar da reunião que se determina o prazo para execução. Metade das causas potenciais (37) com RPN abaixo de 140 não foram priorizadas, porém se ao implementar todas as ações de melhoria, o projeto não atingir os objetivos, o FMEA deve ser revisado para análise das mesmas. Notar que as ações devem diminuir ou eliminar a causa da falha ou melhorar a detecção da falha. Também se sugere analisar a diminuição do RPN após a implementação da ação recomendada. Nos Anexos, o FMEA inicial e o priorizado estão apresentados com suas 80 linhas. Abaixo, a figura do FMEA com as 8 principais ações priorizadas no final da pontuação (detalhe: aqui está apresentado o FMEA com o resultado das ações tomadas - atualizações feitas ao final do projeto):

Passos do Processo	Entradas	Modo de Falha	Efeito(s) de cada Falha	Severidade do Efeito	Potencial Causa de cada falha	Ocorrência da causa	Controles Atuais	Deteção da Falha	R P N	Ações Recomendadas	Responsável	Ação Tomada	S E V	O C C	D E T	R P N
Formação da manta	Taxa da mistura de fibras	Mistura heterogênea e Manta não uniforme	Aparência Visual fora padrão ou Resistência baixa	0	Ausência de dispositivo misturador	10	Não existe controle	10	000	Instalação de equipamento misturador	Marcos	Projeto para compra do misturador concluído	0	1	1	0
Desfibramento	Preparação da resina	Quantidade/Qualidade incorreta de componentes	Resistência baixa ou Queda de Pressão alta	10	Balança sem aferição	8	Não existe controle	10	800	Estabelecer sistema de aferição	Marcos	Recipientes aferidos	10	1	1	10
Formação da manta	Taxa da mistura de fibras	Mistura heterogênea e Manta não uniforme	Aparência Visual fora padrão ou Resistência baixa	8	Quantidade de uso de fibra reciclada desconhecida	10	Não existe controle	10	800	Realizar DOE para estabelecer taxa máxima de fibra reciclada	Marcos	Após DOE ficou estabelecido até 20% (procedimento e operadores treinados)	8	1	3	24
Desfibramento	Quantidade de resina	Quantidade inferior ao especificado	Aparência Visual fora do padrão	7	Quantidade ideal de resina desconhecida	10	Não existe controle	10	700	Realizar DOE para estabelecer quantidade ideal de resina	Marcos	Após DOE ficou estabelecido 15 g (procedimento e operadores treinados)	7	1	2	14
Formação da manta	Características da fibra	Quantidade alta de Naps	Aparência Visual fora do padrão	7	Partes fundidas do fio de corte	10	Não existe controle	10	700	Fazer avaliação na qualidade do produto para verificar a influência	Cristiano Fernando	Material está sendo removido em inspeção visual. Equipe treinada em abril.	7	4	5	140
Formação da manta	Características da fibra	Quantidade alta de Naps	Aparência Visual fora do padrão	7	Ausência do coletor de Naps	10	Não Existe Controle	10	700	Instalar exaustor de naps nas abridoras de fibras	Marcos	Projeto instalação exaustor concluído	7	1	10	70
Prensagem	Peso da Manta	Peso abaixo do especificado	Aparência Visual fora padrão ou Resistência baixa	8	Acúmulo de fibras nos pentes	8	Não existe controle	10	640	Teste de cantoneira para eliminar a necessidade de limpeza diária	Fernando	Tampa faciendo a entrada do equip. eliminou problema	8	1	1	8
Formação da manta	Características da fibra	Concentração de resina abaixo do especificado	Aparência Visual fora do padrão	7	Dosagem inadequada de resina	8	Não existe controle	10	560	Manômetro/Padrão de Vazão e Velocidade Esteira	Marcos	Instalado manômetro	7	1	1	7

Figura 4.14: FMEA do Projeto Respiradores – Principais Ações Priorizadas (Fonte: o próprio autor)

4.2.4. Implementação das Melhorias

4.2.4.1. Experimentação: após a priorização qualitativa no FMEA das 2 principais variáveis de entrada, o próximo passo foi determinar o quanto cada uma destas variáveis impactavam nas variáveis de saída. Os limites dos valores das variáveis de entrada utilizado em um DOE leva em conta a experiência dos participantes do projeto:

- X1: quantidade de resina: necessária para melhorar a processabilidade da mistura das fibras (15g e 25g);
- X2: taxa de mistura: não precisava ser maior que o maior valor de perda registrado, porque não se teria excesso de fibra recuperada. Porém a equipe decidiu entender até que limite era possível se misturar a fibra reciclada e se estabeleceu: (0%, 10%, 20% e 30%).

Assim ficou o planejamento do experimento para cada um dos produtos:

Tabela 4.4: Planejamento do Experimento do Projeto Respiradores – Concha (Fonte: o próprio autor)

Concha		X1	X2	Y1	Y2
StdOrder	RunOrder	Quantidade Resina	Taxa Mistura	Resistência	Queda Pressão
1	1	15	0%		
4	2	15	30%		
8	3	25	30%		
7	4	25	20%		
6	5	25	10%		
2	6	15	10%		
5	7	25	0%		
3	8	15	20%		

Tabela 4.5: Planejamento do Experimento do Projeto Respiradores - Concha Interna (Fonte: o próprio autor)

Concha Interna		X1	X2	Y1	Y2
StdOrder	RunOrder	Quantidade Resina	Taxa Mistura	Resistência	Queda Pressão
4	1	15	30%		
1	2	15	0%		
5	3	25	0%		
3	4	15	20%		
6	5	25	10%		
2	6	15	10%		
7	7	25	20%		
8	8	25	30%		

Com auxílio do planejador de produção, a data mais adequada para a realização dos 16 experimentos foi agendada com 15 dias de antecedência para que as fibras recuperadas e desfibradas com a quantidade desejada de resina fossem preparadas. Havia a necessidade de se executar os experimentos simultaneamente para evitar ruídos nos resultados, tais como: diferentes operadores, diferentes condições ambientais, diferentes condições do equipamento, entre outras. Após realização dos 16 experimentos, várias amostras dos produtos foram coletadas para a realização e análise dos testes de liberação, para verificar se o produto se mantinha com as mesmas características. Abaixo, as tabelas demonstrando os resultados destes testes:

Tabela 4.6: Resultado do Experimento do Projeto Respiradores – Concha (Fonte: o próprio autor)

Concha		X1	X2	Y1	Y2
StdOrder	RunOrder	Quantidade Resina	Taxa Mistura	Resistência	Queda Pressão
1	1	15	0%	0,93	0,021
4	2	15	30%	1,16	0,025
8	3	25	30%	1,10	0,024
7	4	25	20%	1,16	0,025
6	5	25	10%	1,02	0,024
2	6	15	10%	0,92	0,022
5	7	25	0%	0,95	0,022
3	8	15	20%	1,19	0,032

Tabela 4. 7: Resultado do Experimento do Projeto Respiradores -Concha Interna (Fonte: o próprio autor)

Concha Interna		X1	X2	Y1	Y2
StdOrder	RunOrder	Quantidade Resina	Taxa Mistura	Resistência	Queda Pressão
4	1	15	30%	1,35	0,026
1	2	15	0%	1,22	0,025
5	3	25	0%	1,22	0,025
3	4	15	20%	1,30	0,027
6	5	25	10%	1,15	0,024
2	6	15	10%	1,25	0,025
7	7	25	20%	1,32	0,026
8	8	25	30%	1,33	0,027

Verificou-se de imediato que nenhum valor ficou fora da especificação:

- Resistência: todos acima de 0,72 gf/cm³ e
- Queda de Pressão: todos abaixo de 0,07 atm.

Detalhando mais, os 8 gráficos abaixo foram plotados para auxiliar na análise:

1. Resistência da Concha (Figura 4.15):

- a quantidade de resina não foi significativa (média de 1,05 e 1,06 gf/cm^3 para 15 g e 25 g respectivamente);
- a taxa de mistura apresentou melhor valor de Resistência (média de 1,175 gf/cm^3) com 20% de fibra recuperada.

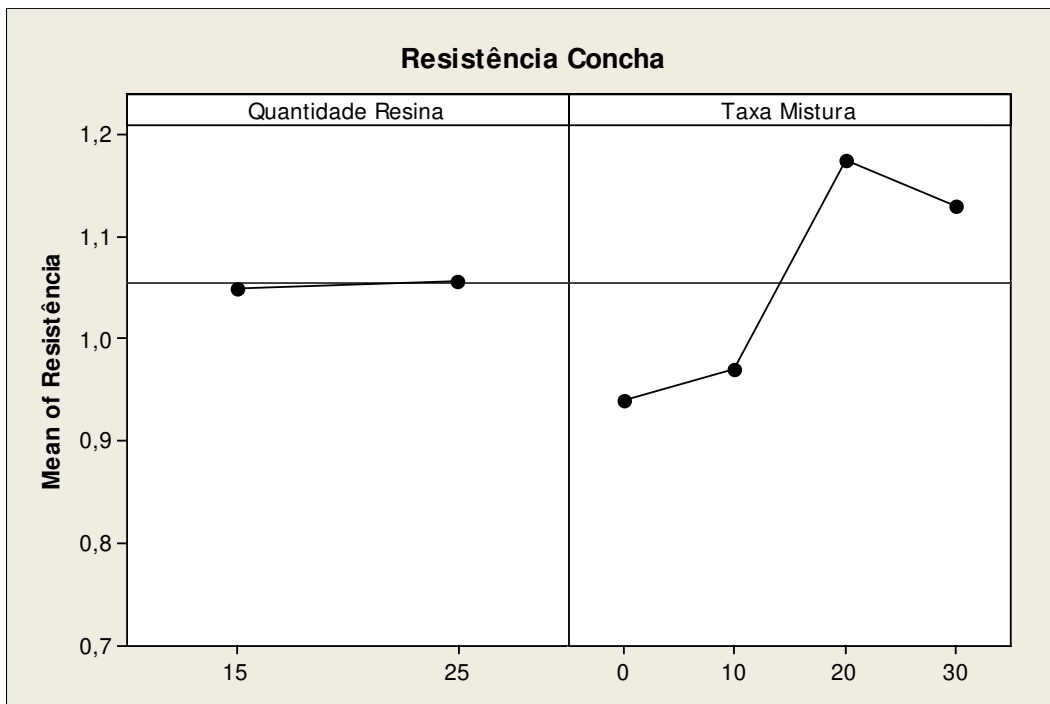


Figura 4.15: Resultado do DOE para Resistência (gf/cm^3) – Concha (Fonte: o próprio autor)

2. Resistência da Concha Interna (Figura 4.16):

- a quantidade de resina é pouco significativa, porém melhor para 15 g;
- a taxa de mistura apresentou melhor valor de Resistência (média de 1,34 gf/cm^3) com 30% de fibra recuperada.

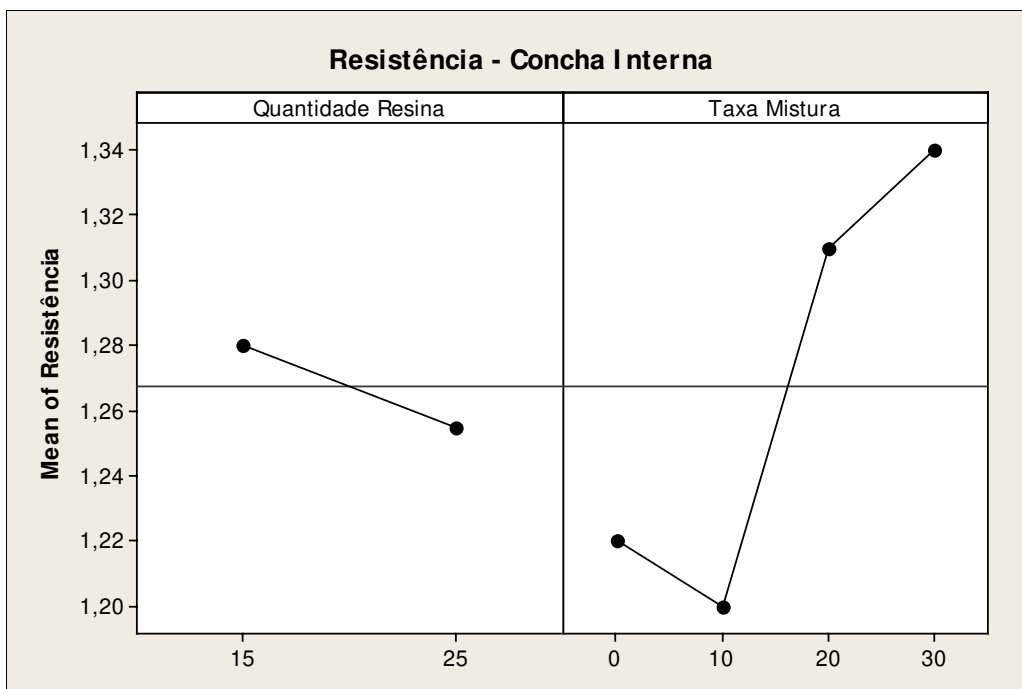


Figura 4.16: Resultado do DOE para Resistência (gf/cm³) – Concha Interna (Fonte: o próprio autor)

3. Resistência da Concha - Interação (Figura 4.17):

- A interação entre as 2 variáveis não é significativa para a resistência, ou seja, a influência é semelhante à influência das mesmas isoladamente.



Figura 4.17: Resultado do DOE para Resistência (gf/cm³) – Interação Concha (Fonte: o próprio autor)

4. Resistência da Concha Interna – Interação (Figura 4.18):

- A interação entre as 2 variáveis não é significativa para a resistência, ou seja, a influência é semelhante à influência das mesmas isoladamente.



Figura 4.18: Resultado do DOE para Resistência (gf/cm^3) – Interação Concha Interna
(Fonte: o próprio autor)

5. Queda de Pressão da Concha (Figura 4.19):

- a quantidade de resina pouco significativa, com maior valor para 15 g, porém muito abaixo do limite máximo de especificação;
- a taxa de mistura apresentou maior valor (0,0285 atm) com 20% de fibra recuperada, porém muito abaixo do limite de especificação (<0,0700 atm).

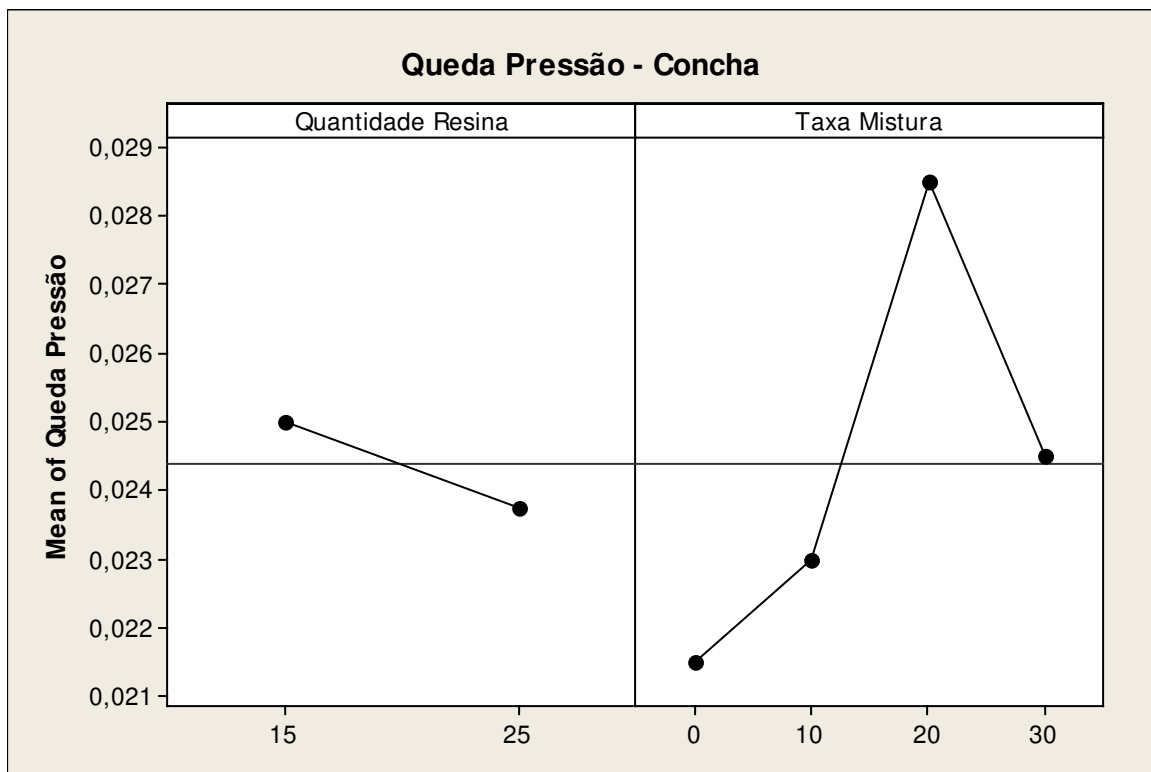


Figura 4.19: Resultado do DOE para Queda de Pressão (atm) – Concha (Fonte: o próprio autor)

6. Queda de Pressão da Concha Interna (Figura 4.20):

- a quantidade de resina não é significativa;
- a taxa de mistura apresentou pico de valor (0,0265 atm) com 20% e 30% de fibra recuperada, porém muito abaixo do limite de especificação.

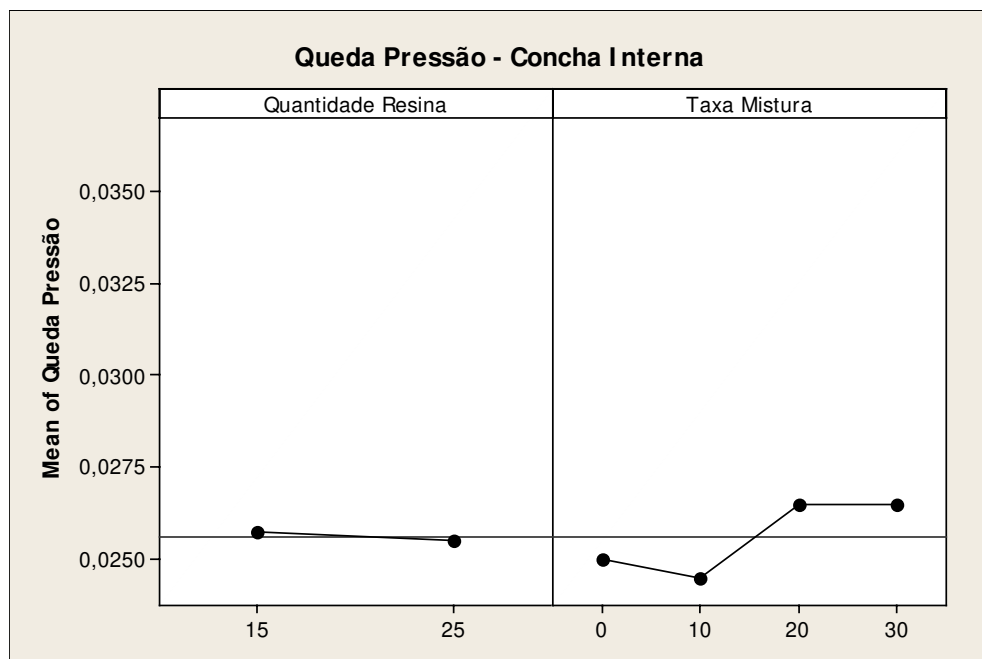


Figura 4.20: Resultado do DOE para Queda de Pressão (atm): Concha Interna

(Fonte: o próprio autor)

7. Resistência da Concha - Interação (Figura 4.21):

- A interação entre as 2 variáveis não é significativa para a Queda de Pressão, ou seja, a influência é semelhante à influência das mesmas isoladamente.

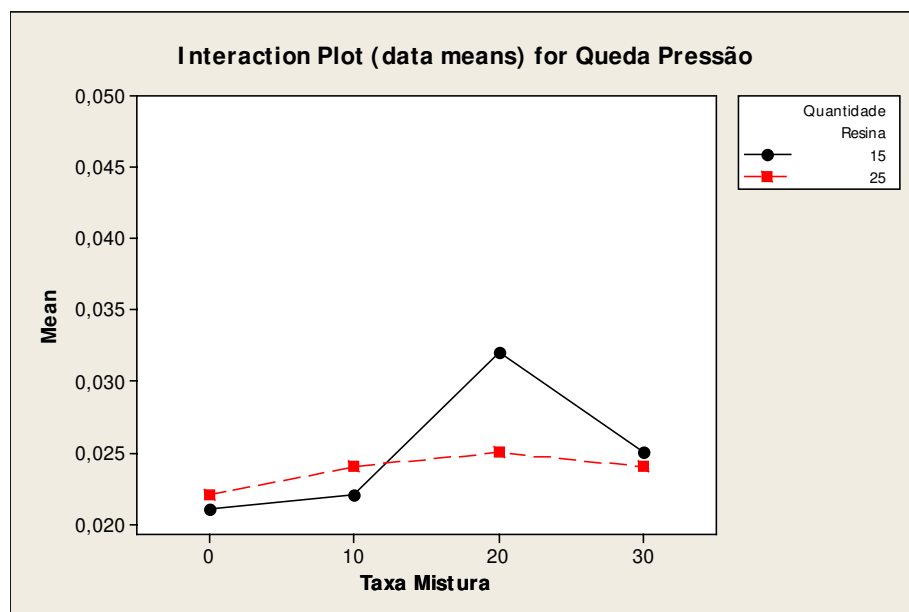


Figura 4.21: Resultado do DOE para Queda de Pressão (atm) – Interação Concha

(Fonte: o próprio autor)

8. Resistência da Concha Interna – Interação (Figura 4.22):

- A interação entre as 2 variáveis não é significativa para a Queda de Pressão, ou seja, a influência é semelhante à influência das mesmas isoladamente.

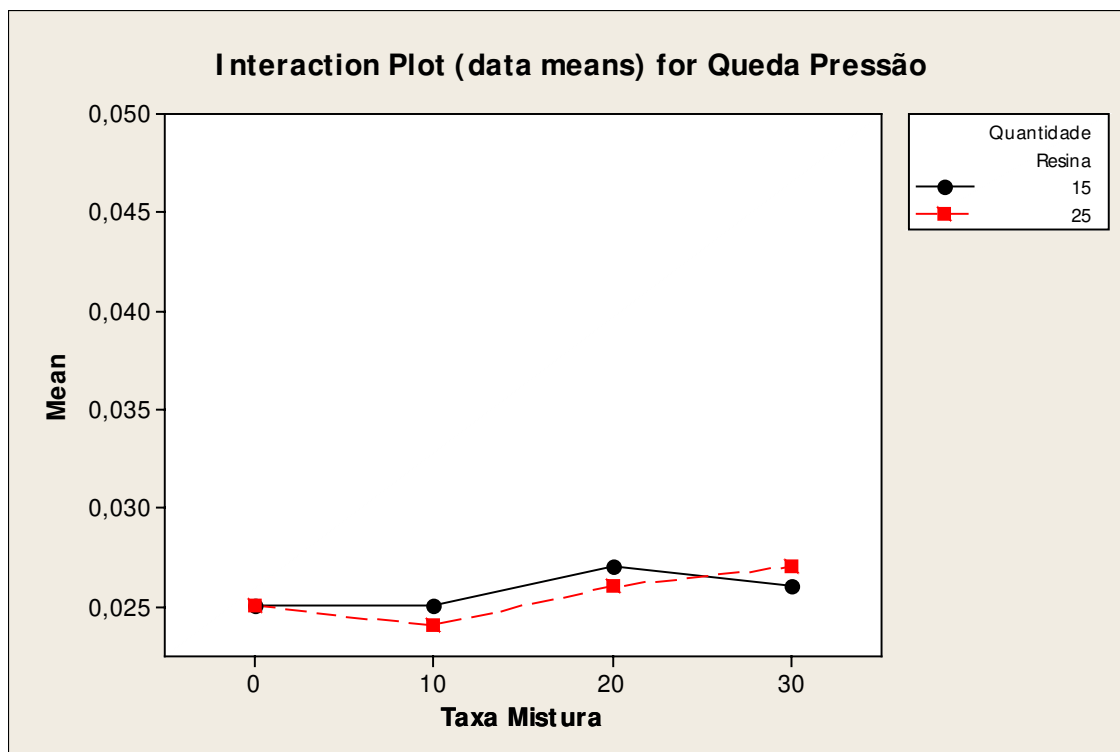


Figura 4.22: Resultado do DOE para Queda de Pressão (atm) – Interação Concha Interna
(Fonte: o próprio autor)

4.2.4.2. Conclusão do Experimento:

- A quantidade de Resina não teve significância e, portanto, como a processabilidade foi boa com 15 g de resina, ficou acertado este valor para reduzir custo.
- A taxa de reciclagem apresentou bons resultados até 30%.
- Os resultados foram tão representativos que a equipe decidiu não realizar experimento confirmatório, devido à imensa diferença entre os limites de especificação (máximo e mínimo) e os valores obtidos nos experimentos. Como os testes de liberação (resistência e queda de pressão) podiam ser

realizados imediatamente após o início da produção, decidiu-se partir direto para utilização de 50% da perda (cerca de 9% de fibra reciclada sobre o total de fibra) logo no mês 16, durante o projeto. Caso os testes de liberação apresentassem resultados insatisfatórios, a produção com fibra reciclada seria interrompida para análise.

- Portanto, definiu-se imediatamente após a realização do experimento, com um bom grau de confiança, uma rampa de utilização de reciclagem para atingir não apenas 90%, mas 100% das perdas, em torno de 18% do total de fibras utilizadas.
- A rampa é um mecanismo adotado para se aprender cada vez mais com o novo processo e garantir também a continuidade dos negócios, caso haja algum imprevisto na implementação das melhorias. Na tabela abaixo está representada a taxa de mistura no decorrer dos meses. Do mês 16 ao 18 seria utilizado 50% do total de fibra perdida. Do mês 19 ao 21, seria utilizado 70% (ou seja, cerca de 12% seria fibra reciclada) e a partir do mês 22, 100% do total de fibra posteriormente perdida seria reutilizada no início deste processo (cerca de 18% seria fibra reciclada).

Tabela 4.8: Rampa de Utilização das Fibras Recuperadas (Fonte: o próprio autor)

Rampa	Situação Projeto	Taxa
Mês 12	Baseline	0%
Mês 13	Durante Projeto	0%
Mês 14	Durante Projeto	0%
Mês 15	Durante Projeto	0%
Mês 16	Durante Projeto	50%
Mês 17	Durante Projeto	50%
Mês 18	Durante Projeto	50%
Mês 19	Pré-fechado	70%
Mês 20	Pré-fechado	70%
Mês 21	Pré-fechado	70%
Mês 22	Fechado	100%
Mês 23	Fechado	100%
Mês 24	Fechado	100%
Mês 25	Fechado	100%
Mês 26	Fechado	100%
Mês 27	Fechado	100%
Mês 28	Fechado	100%
Mês 29	Fechado	100%
Mês 30	Fechado	100%

4.2.5. Controle

4.2.5.1. Plano de Controle: para garantir que o processo operasse dentro dos limites de especificação e com a mínima variação, foi determinado o plano de controle conforme Figura 4.23, onde todas as variáveis críticas de entrada (X) e de saída (Y) foram relacionadas, com o responsável pelas mesmas (*dica 12: rigidez e formalidade no controle*). Reuniões mensais entre Proprietário do Processo e ‘Champion’ foram formalmente executadas durante todo o ano de acompanhamento.

					Durante Projeto						Pre-Fechado			Fechado											
Etapa de Processo	Variável de Saída (Y)	Variável de Entrada (x)	Especificação (meta)	Linha de Base	Mês 13	Mês 14	Mês 15	Mês 16	Mês 17	Mês 18	Mês 19	Mês 20	Mês 21	Mês 22	Mês 23	Mês 24	Mês 25	Mês 26	Mês 27	Mês 28	Mês 29	Mês 30	Técnica de Medição	Responsável	
Prensagem	Resistência (g/cm3)	Contra-Medida	> 0,72	0,97	0,96	1,02	1,05	0,92	0,98	1,04	1,01	0,94	0,99	1,01	1,05	1,09	1,12	1,10	1,04	1,03	1,15	1,10	Máquina de Teste	Supervisor	
Prensagem	Queda de Pressão (atm)	Contra-Medida	< 0,070	0,030	0,028	0,026	0,024	0,027	0,023	0,025	0,026	0,024	0,026	0,024	0,026	0,029	0,030	0,032	0,031	0,029	0,033	0,028	Máquina de Teste	Supervisor	
Corte	Perdas (Kg)	Métrica Primária	115,2	1152	1172	1098	1092	588	603	486	374	312	401	-	-	-	-	-	-	-	-	-	Relato Produção	Supervisor	
Corte	Perdas (%)	Métrica Primária	0,018	18,0%	18,8%	18,7%	17,9%	8,7%	9,0%	8,5%	5,4%	4,5%	5,1%	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	Relato Produção	Supervisor	
Corte	Taxa de Reciclagem (%)	Métrica Primária	90%	0%	0%	0%	0%	46%	48%	51%	67%	73%	69%	100%	100%	100%	100%	100%	100%	100%	100%	100%	Relato Produção	Supervisor	
Desfibramento	Fibra Reciclada	Quantidade de Resina (g)	14 a 16	15	0	0	0	15	15	14	15	15	16	15	14	15	14	15	15	15	14	15	Relato Produção	Gerente	
Formação da manta	Manta Uniforme	Fibra Pura Usada (Kg)	-	-	6227	5873	6106	6261	6149	5219	6152	6117	6963	5436	5463	5297	5424	5363	5234	5154	5561	5287	Relato Produção	Supervisor	
Formação da manta	Manta Uniforme	Fibra Reciclada Usada (Kg)	-	-	0	0	0	496	553	496	775	826	898	1128	1183	1195	1204	1245	1154	1175	1310	1184	Relato Produção	Supervisor	
-	Custo Fibra Pura (\$/Kg)	-	-	-	9,97	9,97	9,97	9,97	9,97	9,97	10,75	10,75	10,75	10,75	10,75	10,75	11,35	11,35	11,35	11,35	11,35	11,35	Sistema de Custo	Gerente	
-	Custo Fibra Reciclada (\$/Kg)	-	-	-	-	-	-	2,70	2,70	2,70	2,70	2,70	2,70	2,70	2,70	2,70	2,73	2,73	2,73	2,73	2,73	2,73	Sistema de Custo	Gerente	
-	COPQ	Métrica Secundária	-	-	11685	10947	10887	5862	6014	4843	4021	3359	4310	0	0	0	0	0	0	0	0	0	Sistema de Custo	Gerente	
-	Economia (\$)	-	-	-	0	0	0	3.606	4.023	3.604	6.240	6.648	7.231	9.080	9.523	9.620	10.378	10.732	9.947	6.523	7.269	6.602	111.027	112%	
-	Previsão (\$)	-	-	-	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	8,250	8,250	8,250	8,250	8,250	8,250	8,250	8,250	8,250	8,250	8,250	8,250	99,000		

Figura 4.23: Plano de Controle do Projeto Respiradores (Fonte: o próprio autor)

4.2.5.2. Treinamentos: vários treinamentos foram realizados durante o projeto, principalmente com o detalhamento das ferramentas utilizadas. Todos os participantes ficaram habilitados para liderar projetos. Os operadores da produção foram treinados na operação da mistura das fibras, conforme descrito no FMEA.

4.2.5.3. Aprovação do Proprietário do Processo: oficialmente, através de uma pequena celebração (café da manhã), o sucesso do projeto foi reconhecido pelos 'champions'. Registrou-se a aprovação do projeto. O líder do projeto fez uma apresentação formal do projeto a todos os interessados e transferiu oficialmente a responsabilidade do plano de controle ao proprietário do processo, neste caso, o próprio supervisor da produção ('green belt').

4.2.5.4. Relatório Final: um relatório foi montado e o projeto foi apresentado numa conferência realizada trimestralmente para toda a empresa.

Capítulo 5 - Resultados

5.1. Capacidade Final: depois de implementadas todas as melhorias do DOE e FMEA, mês a mês foram calculados e plotados os valores dos Y's do projeto (Perdas e Taxa de Reciclagem, Resistência e Queda de Pressão). Após 1 ano de acompanhamento foram construídos os gráficos abaixo com os resultados das perdas e dos testes de controle dos CTQs.

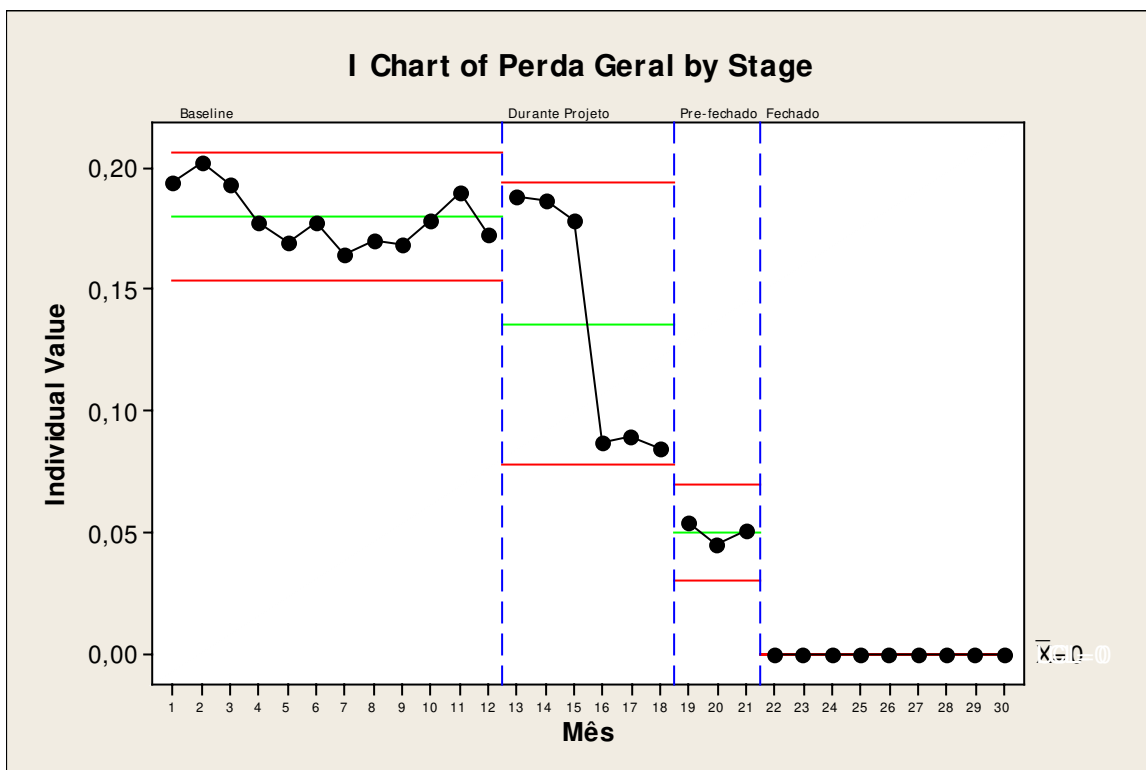


Figura 5.1: Gráfico do Plano de Controle das Perdas Total (Fonte: o próprio autor)

Os resultados para Perdas (Figura 5.1) seguiram a programação descrita na rampa de utilização das fibras recuperadas (Tabela 4.8). Do mês 13 ao 15, o nível da perda se comportou semelhante à da linha de base do projeto (média de 12 meses), próximo de 18%. A partir do mês 16, iniciou-se a reciclagem de cerca de 50% das perdas, até o mês 18. Do mês 19 ao 21, cerca de 70% do total das perdas foi reciclado e voltou para o processo com sucesso. E finalmente, a partir do mês 22, toda a perda foi reciclada. O valor entre 17,2% e 19,1% (Figura 4.23) é devido à quantidade de fibra reciclada depender diretamente da quantidade de fibra perdida, que por sua vez depende do processo e da composição da produção em quantidade de concha e concha interna. Na Figura VI dos Anexos, estatisticamente se comprovou que os dados não são normais ($p\text{-value} < 5\%$), ou seja, tem-se um grupo diferente de valores (linha base e após projeto).

Tabela 5.1: Teste de Normalidade Perdas – Final (Fonte: o próprio autor)

Anexo	Variável	P-value	Observação
VI	Perdas Geral	<0,005	Dados não normais

O gráfico da Taxa de Reciclagem (Figura 5.2) nada mais é que o oposto da perda, ou seja, quanto maior a perda, menor a reciclagem. Como mostrado nos gráficos, 100% das fibras perdidas na primeira fase do processo, foram recuperadas e retornaram ao início do processo.

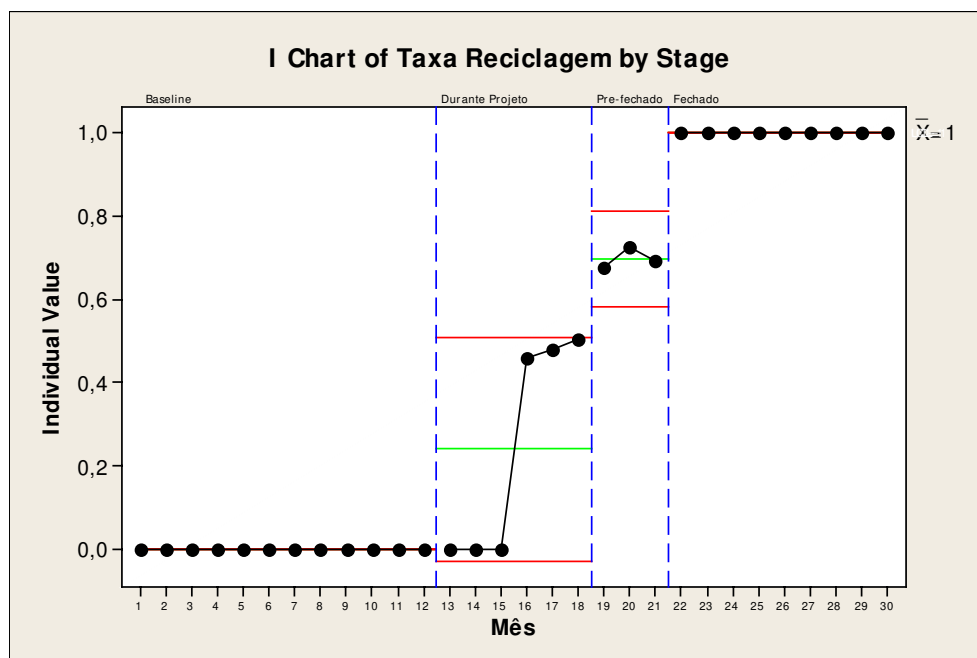


Figura 5.2: Gráfico do Plano de Controle da Taxa de Reciclagem (Fonte: o próprio autor)

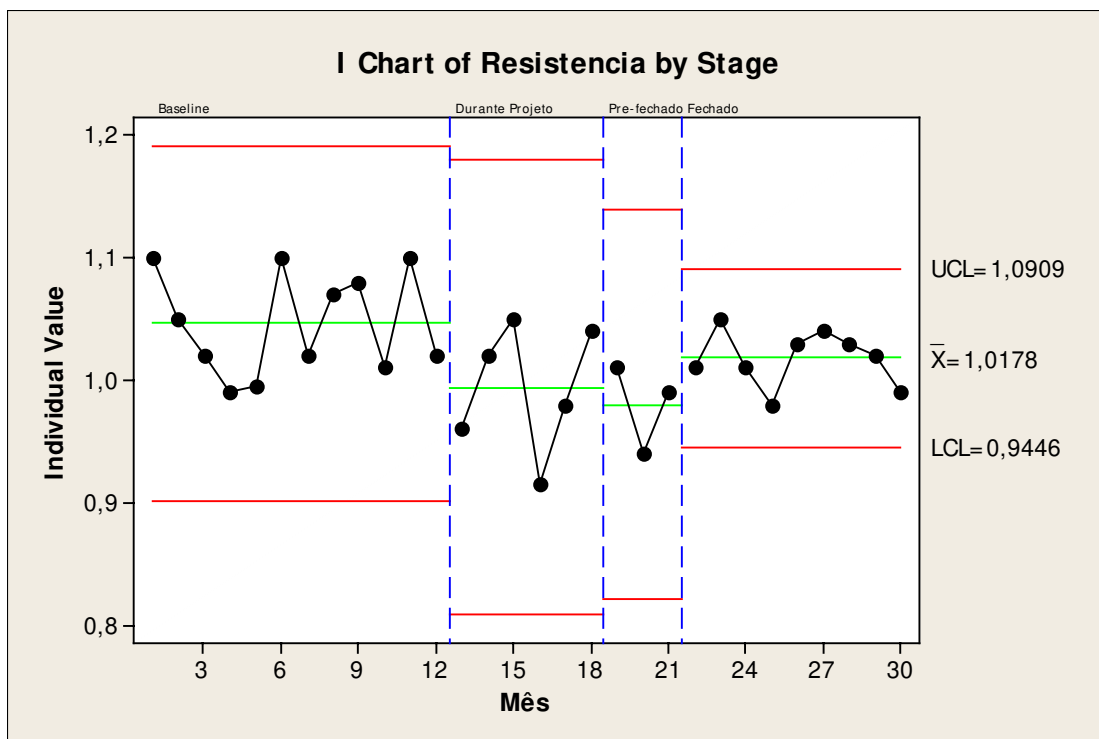


Figura 5.3: Gráfico do Plano de Controle da Resistência (gf/cm³) (Fonte: o próprio autor)

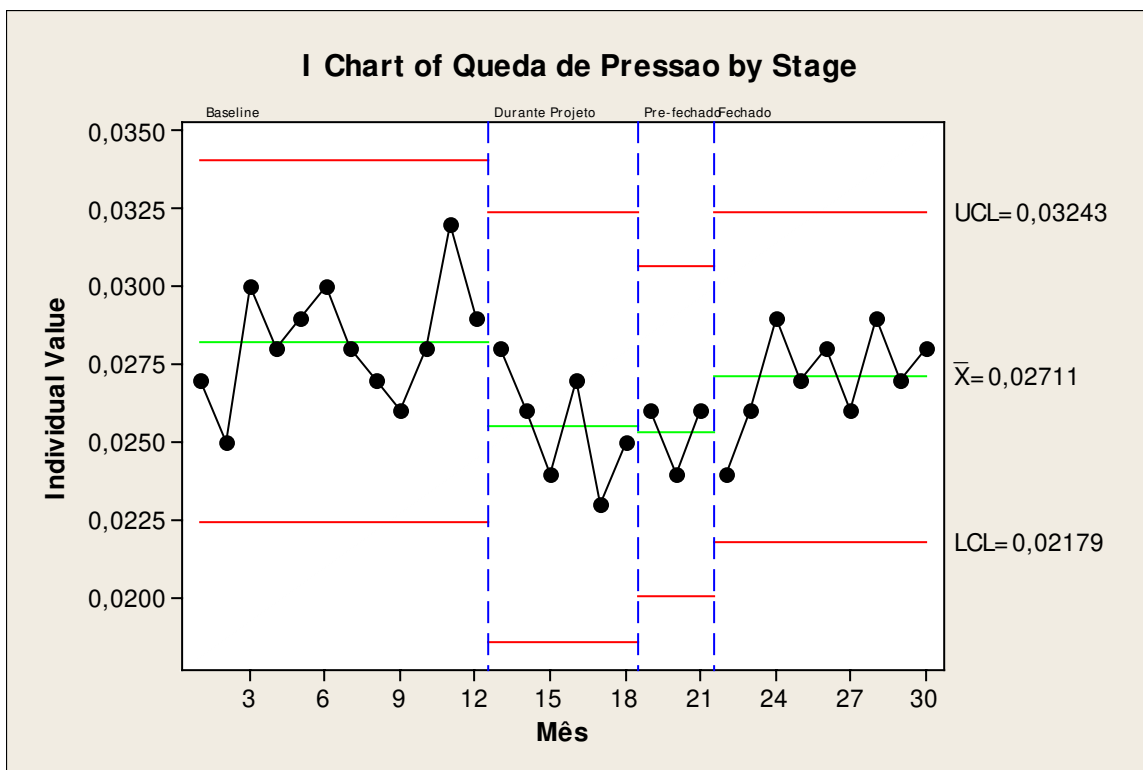


Figura 5.4: Gráfico do Plano de Controle da Queda de Pressão do Produto (atm)
(Fonte: o próprio autor)

Os resultados de Resistência e Queda de Pressão (Figuras 5.3 e 5.4) ficaram confortavelmente dentro da especificação e nenhuma grande alteração foi notada, demonstrando que a fibra recuperada não alterou nenhuma das características finais do produto, de acordo com as expectativas do usuário. Detalhando:

1. No caso da resistência percebeu-se uma melhoria quanto à variabilidade que diminuiu bastante após o uso de 18% de fibra reciclada. Apesar do valor médio ($1,0178 \text{ gf/cm}^3$) ser cerca de 3% menor que o valor base ($1,0463 \text{ gf/cm}^3$ – Figura 4.11), ainda tem-se cerca de 40% de segurança em relação ao valor mínimo de especificação ($0,72 \text{ gf/cm}^3$).
2. No caso da Queda de Pressão, o valor médio final ($0,02711 \text{ atm}$) ficou 4% abaixo da base ($0,02825 \text{ atm}$ – Figura 4.12). Neste caso houve até uma melhoria incremental uma vez que quanto menor a queda de pressão melhor!

Nas Figuras VII e VIII dos Anexos fica estatisticamente comprovada a questão da normalidade ($p\text{-value} > 5\%$), demonstrando que não se tem distinção entre o grupo de dados antes e após o projeto, conforme Tabela 5.2.

Tabela 5.2: Teste de Normalidade Contra-medidas – Final (Fonte: o próprio autor)

Anexo	Variável	P-value	Observação
VII	Resistência	0,437	Dados normais
VII	Queda de Pressão	0,404	Dados normais

5.2. Resultado Financeiro: o acompanhamento da economia foi então, a partir do mês 16, com 3 meses de ganho durante a execução do projeto, conforme mostrado na Figura 5.5. Como o acompanhamento dos ganhos por convenção da Metodologia Seis Sigma é de 12 meses (do mês 19: após pré-fechamento do projeto até o mês 30) os valores de ganhos dos meses 28, 29 e 30 são decrescidos dos ganhos dos meses 16, 17 e 18, respectivamente. Esta dedução é necessária para não duplicar o ganho anual e por outro lado, não deixar de capitalizar os ganhos durante a execução do projeto. Os valores exatos de cada mês estão no Plano de Controle (Figura 4.23).

Como exemplo de cálculo do ganho real, tem-se no mês 16:

- Quantidade de fibra recuperada utilizada no mês = 496 kg
- Preço da fibra virgem (ou pura) = \$ 9,97/kg.
- Preço da fibra recuperada (ou reciclada) = \$ 2,70/kg.
- Economia real = 496 kg x (\$ 9,97/kg - \$ 2,70/kg) = \$ 3606.

Portanto, foi atingido 112% do resultado de economia prevista no início do projeto. O valor foi 12% maior que o estimado por 3 motivos:

- A reciclagem total ter alcançado 100% do valor anteriormente perdido (a previsão era reciclar ‘apenas’ 90%);
- A fibra reciclada no início do trabalho (\$2,70/kg) era 73% mais barata que a fibra virgem (\$9,97/kg) e ao final do trabalho, esta diferença já havia aumentado para 76% (\$11,35/kg - \$2,73/kg), uma vez que a negociação com o fornecedor de serviço de desfibramento ser muito mais fácil que com o fornecedor da fibra virgem (sujeita ao impacto direto da influência do aumento do petróleo);
- E por último, também houve um pequeno incremento na demanda de fibra gerada pelo aumento de demanda de vendas dos respiradores descartáveis.

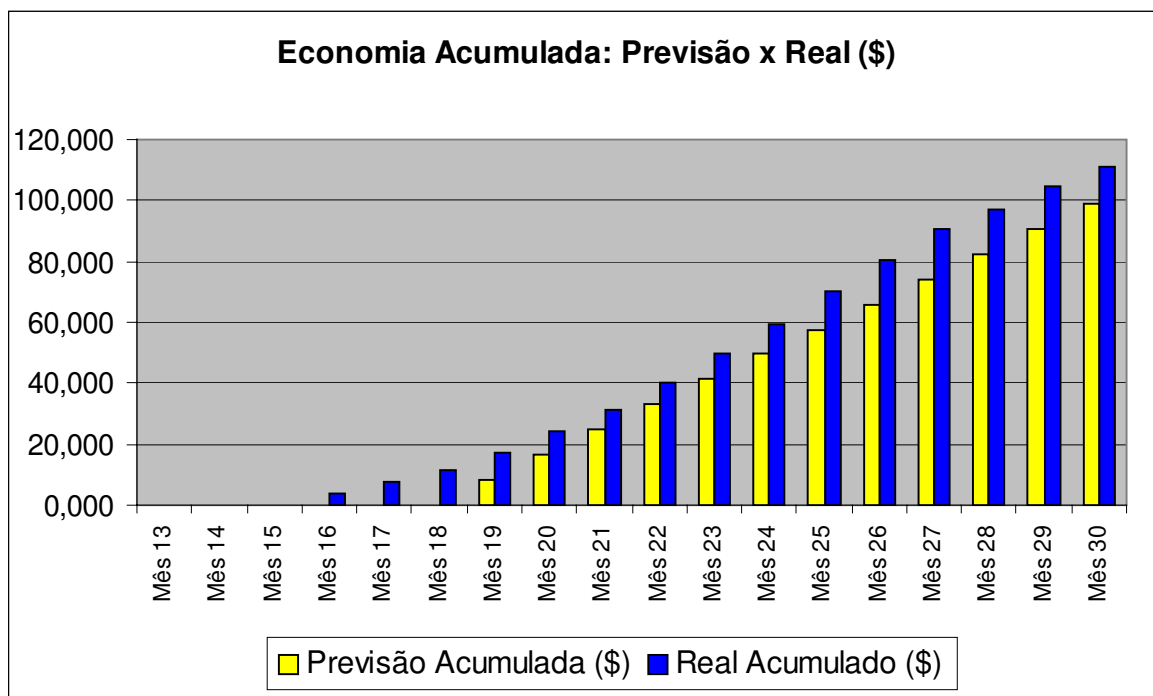


Figura 5.5: Gráfico da Economia Prevista e Real do projeto Respiradores (Fonte: o próprio autor)

Capítulo 6 - Conclusões e Sugestões para Próximos Trabalhos

6.1. Conclusões

O objetivo deste trabalho foi mostrar a eficiência da aplicação da Metodologia Seis Sigma na redução das perdas de um processo de manufatura e após o término, conclui-se que o Seis Sigma realmente foi muito eficiente para este caso, pois:

- **6.1.1. Ganhos quantitativos:** As perdas inerentes do processo não foram ‘apenas’ minimizadas (a meta era reduzir de 18,0% para 1,8%), mas ainda melhor que a estimativa inicial que já era bastante agressiva, as perdas foram eliminadas, reduzindo os custos de manufatura. Conforme mostrado na Figura 5.5, os ganhos quantitativos começaram a acontecer durante o projeto no mês 16, em escala menor devido à proposta de rampa de utilização de fibra reciclada. Após a determinação do ponto máximo de taxa de mistura entre fibra virgem e reciclada, sem afetar as características-chave do produto, o ganho mensal foi maximizado para mais de \$9 mil. Portanto, como consequência da utilização de fibra reciclada que era 73% mais barata que a fibra virgem no início do projeto, a área economizou em 1 ano, mais de \$ 110 mil. Esta economia abriu possibilidades de financiar mais melhorias no processo de manufatura dos respiradores descartáveis. Este ganho quantitativo de 12% acima da meta demonstrou a eficiência de se focar esforços num objetivo comum;
- **6.1.2. Ganhos qualitativos:** Os treinamentos e a mudança de cultura com relação à eliminação de perda inerente elevou o nível técnico dos membros da equipe envolvida no projeto. O fato de se reduzir o uso de matéria-prima de recurso não-renovável aumentou o comprometimento com o controle das variáveis críticas

para manter os resultados. A motivação da equipe com os resultados positivos dos experimentos foi tão grande, que os ganhos quantitativos começaram a aparecer antecipadamente, logo após o experimento confirmatório no mês 16. Houve quebra de paradigma com relação à utilização de fibras prensadas no início do processo, uma vez que durante anos se acreditou não ser possível reutilizá-las sem alterar as características-chave do produto (Resistência e Queda de Pressão). Interessante ressaltar que muitos colaboradores (até mesmo de dentro da equipe) colocavam inúmeras resistências ao projeto, dizendo, por exemplo, que ‘o produto seria de baixa qualidade, que o equipamento seria sujo em demasia devido ao uso da fibra reciclada, que seria impossível não sujar a fibra no reprocessamento, que aquele nível de perda era o melhor do mundo para este tipo de produto e este tipo de equipamento, entre outras afirmações’. Ao final do trabalho, todos os membros da equipe estavam aptos para liderar projeto de melhoria Seis Sigma. O ‘Green Belt’ deste projeto foi certificado devido ao sucesso de sua implementação. Este trabalho serviu de exemplo e motivação para todos os colaboradores da fábrica e logo em seguida, muitos outros projetos em outras áreas se iniciaram num ritmo muito acelerado!

- **6.1.3. Oportunidades/dificuldades:** abaixo estão citadas novamente as dicas apresentadas para cada dificuldade que apareceu durante a implantação deste trabalho, com o intuito de se otimizar o tempo e recursos em trabalhos futuros. Também está destacada (*entre parênteses abaixo*), a correlação com um dos Fatores Críticos do Sucesso apresentados no item 2.5:
 - Dica 1: escopo: focar o projeto de forma que a equipe entenda claramente os limites do trabalho. Os objetivos e os resultados serão mais agressivos (*Seleção e Priorização de Projetos*);
 - Dica 2: disciplina: o DMAIC tem que ser seguido invariavelmente. É claro que nem todas as ferramentas serão utilizadas, porém a seqüência tem que ser respeitada. É comum a equipe querer ir para solução antes de analisar todas as propostas e isto tem que ser evitado (*Entender Ferramentas e Técnicas*);

- Dica 3: foco: o líder tem que chamar a atenção sempre para o foco do projeto, uma vez que naturalmente os membros da equipe tenderão a trazer para as reuniões assuntos fora do escopo do projeto (*Habilidade de Gerenciamento de Projeto*);
- Dica 4: Seleção da equipe: somente as pessoas diretamente ligadas ao processo que contribuirão com seus conhecimentos (*Infra-estrutura da organização*);
- Dica 5: métrica correta: a sua determinação desde o início do projeto é crucial para manter o foco da equipe (*Entender Ferramentas e Técnicas*);
- Dica 6: alinhamento do conhecimento: o mapa do Processo é fundamental para a determinação clara dos limites do projeto e o alinhamento do conhecimento da equipe (*Treinamento*);
- Dica 7: envolvimento da equipe: o mais rápido possível, desde as primeiras reuniões do projeto (*Mudança Cultural e Comunicação e Ligação Seis Sigma com RH*);
- Dica 8: objetividade na pontuação: tanto na Matriz De Priorização como no FMEA existe a tendência de a equipe achar tudo importante ou de prioridade ou impacto máximo. O líder deve ter habilidade de convencimento (não imposição) de mostrar o contexto geral e a necessidade de se distribuir as notas para que realmente a ferramenta seja útil quanto a sua finalidade que é a priorização (*Habilidade de Gerenciamento de Projeto*);
- Dica 9: prioridade: levar da Matriz De Priorização para o FMEA no máximo 10 x's porque se não a finalização desta ferramenta pode levar meses (*Entender Ferramentas e Técnicas*);
- Dica 10: envolvimento de finanças: para credibilidade nos resultados e correto impacto nos custos, os ganhos monetários têm que ser validados por Finanças (*Envolvimento da Alta Gerência*);
- Dica 11: seja prático no FMEA: não permita que a equipe divague demasiadamente procurando causas irreais para as potenciais falhas. Esta

ferramenta tem que ser prática e revisitada a todo tempo (*Entender Ferramentas e Técnicas*);

- Dica 12: rigidez e formalidade no controle: aqui está um grande diferencial da Metodologia Seis Sigma: um plano de controle formalizado e acordado com o responsável. As reuniões mensais de revisão têm que ser conduzidas pessoalmente pelo líder da área (*Entender Ferramentas e Técnicas*).

6.2. Sugestões para próximos Trabalhos

6.2.1. Verificar a eficiência da aplicação da Metodologia Seis Sigma em outras áreas, diferentes da Manufatura. Fica como sugestão para novos trabalhos o estudo de casos nas seguintes áreas:

- **Logística:** segundo Witt (2002), assim como na área de Manufatura, pode-se aplicar a Metodologia Seis Sigma na área de Logística. O objetivo é obter menos que 3.4 defeitos, ou praticamente ‘pedidos perfeitos’: na hora, quantidade e qualidade, previamente acordados com o cliente. O processo de atendimento sem defeitos se tornou tão importante quanto um produto ou serviço perfeito.
- **Compras:** um projeto interessante seria o desenvolvimento de um segundo fornecedor no caso de produto ou serviço com fonte única de suprimento. Este trabalho seria liderado pela equipe de compras na pesquisa de novas oportunidades e auxiliado pela área de Laboratório, comprovando que estatisticamente os produtos e/ou serviços são iguais. A fonte alternativa aumentaria bastante o poder de barganha do comprador, no momento de fechar um contrato de fornecimento.
- **Vendas:** um projeto atraente seria o aumento de cobertura de vendas numa região específica do país. O DMAIC se torna útil na determinação do escopo do projeto e na quantificação das metas e do controle.
- **Marketing:** um projeto de verificação de qual dos 4 P’s (produto, preço, promoção, produto na ‘prateleira’) estaria impactando mais profundamente no resultado da empresa. Pode-se inclusive utilizar ferramentas estatísticas, como DOE, na quantificação deste impacto. Exemplo: foca-se num determinado bairro e se estuda o efeito nas vendas colocando-se 2 níveis de preço e 2 níveis de comunicação alternadamente durante as semanas de um mês. Analisando os resultados pode-se

concluir que o que mais interfere nas vendas é a comunicação e não o preço, ou ainda a combinação dos 2.

- **Segurança:** Sznaider (2000) afirma que quando os Gerentes de Segurança começarem a agir como os Gerentes de Qualidade, eles deixarão de culpar os operadores pelos acidentes e passarão a atacar a verdadeira causa dos problemas, que na maioria das vezes está no processo ou nos equipamentos. Na busca pelo zero acidente (meta difícil de praticamente todas as empresas) fica a sugestão para um futuro projeto Seis Sigma nesta área.

6.2.2. Comparar a Metodologia Seis Sigma com outras metodologias, como:

- **Lean Manufacturing:** ‘Manufatura Enxuta nada mais é que fazer mais com menos, uma metodologia popularizada como Sistema Toyota de Produção que visa identificar e eliminar toda espécie de perdas de um processo, onde perdas são atividades que não agregam valor sob a ótica dos clientes. Existe uma grande sinergia entre estas duas metodologias e muito mais que contraditórias, elas são complementares’ (Connor, 2003). Portanto, após o mapeamento do fluxo de valor (ferramenta do Lean) muitas oportunidades aparecem e o DMAIC é um ótimo modelo para se atacar estes desperdícios.
- **TQM (‘Total Quality Management’):** Motwani (2003) cita que muitas empresas de classe mundial, após ter uma excelente base em qualidade com a implantação do TQM vêm obtendo resultados surpreendentes com a implantação do Seis Sigma. Pande (2001) afirma que o TQM foi muito importante, porém falhou em algumas fases, como envolvimento total de todos os departamentos e no plano de controle. Neste trabalho, a preocupação foi demonstrar que a Metodologia Seis Sigma era eficiente para este processo e não que seria melhor ou pior que outra metodologia. Fica como sugestão um aprofundamento nesta comparação.
- **PDCA (‘Plan-Do-Check-Act’):** para Jing (2003), muitos engenheiros clamam durante o treinamento Seis Sigma que as ferramentas são as mesmas da Engenharia Industrial. De fato, as ferramentas são as mesmas, porém a interligação que o DMAIC proporciona é inédita. Se a Metodologia do PDCA for comparada com o DMAIC verifica-se que há apenas pequenas variações, com

maior ênfase em uma ou outra etapa de cada modelo. Este tópico daria uma nova dissertação comparando-se os diferentes modelos.

- **DFSS ('Design For Six Sigma'):** outro projeto recomendado, dentro da área do Seis Sigma é o aprofundamento no DFSS, ferramenta utilizada quando não se tem claramente a característica exigida pelos clientes num produto ou processo existente, ou utilizada na determinação de um novo produto ou processo.

Referências Bibliográficas

Bigelow, M. How to Achieve Operational Excellence. *Quality Progress*, 35, pp. 70-75, oct.2002.

Breyfogle III, F.W., Meadows, B. Bottom-line success with Six Sigma. *Quality Progress*, 34 no.5, pp. 101-104, mai.2001.

Breyfogle III, F.W. Golf and Six Sigma. *Quality Progress*, 35, pp. 83-85, nov.2002.

Challener, C. Six Sigma Quality efforts have measurable results. *JCT CoatingsTech*, pp. 24-27, fev. 2004

Chowdhury, S. Working toward Six-Sigma Success. *Manufacturing Engineer*, 127, pp. 14, jul. 2001.

Connor, Gary. Benefiting from Six Sigma. *Manufacturing Engineer*, 130 no.2, pp. 53-59, 2003.

Coronado, R.B., Antony, J. Critical success factors for the successful implementation of Six Sigma projects in Organisations. *The TQM Magazine*, v.14, pp. 92-99, no.2, 2002.

Einset, E., Marzano, J. Six Sigma Demystified. *Tooling & Production*, vol13, no.2, pp.43-47, abr. 2002.

Elliott, G. The race to Six Sigma. *Industrial Engineer*, 35, no.10, pp. 30-35, out. 2003.

Goh, T.N., Xie, M. Statistical Control of a Six Sigma Process. *Quality Engineering*, 15, pp. 587-592, abr.2003.

Gross, John M. A road map to Six Sigma Quality. *Quality Progress*, 34, pp. 24-29, nov. 2001.

Hahn, G., Doganaksoy, N., Stanard, C. Statistical tools for Six Sigma. *Quality Progress*, 34, pp. 78-82, set. 2001.

Harry, M.J. Abatement of business risk is key to Six Sigma. *Quality Progress*, 33, pp. 72-76, jul. 2000.

Jing, G., Li, N. Claiming Six Sigma. *Industrial Engineering*, 36 no.2, pp. 37-39, fev. 2004.

Klefsjo, B., Wiklund, H., Edgeman, R.L. Six Sigma seen as a methodology for Total Quality Management. *Measuring Business Excellence* 5, pp. 31-35, jan. 2001.

Koban, M. Using Six Sigma tools to pigment dispersant. *JCT CoatingsTech*, pp. 28-33, fev.2004.

Kunes, R. Six Sigma article is misleading,. *Quality Progress*, 35, pp. 8, mar. 2002.

Linderman, K., Schroeder, R.G., Zaheer, S., Choo, A. Six Sigma: a goal-theoretic perspective. *Journal Operations Management*, 21, pp. 193-203, 2003

Lynch, D. P., Bertolino, S., Cloutier E.T., How to Scope DMAIC Projects. *Quality Progress*, 36, pp. 37-41, jan.2003.

Motwani, J., Kumar, A., Jiju A. A business process change framework for examining the implementation of Six Sigma: a case study of Dow Chemicals. *The TQM Magazine*, 16, pp. 273-283, abr.2004.

Neuscheler-Fritsch, D., Norris, R. Capturing financial benefits from Six Sigma. *Quality Progress*, 34, pp. 39-44, mai. 2001.

Olexa, Russ. Flying High with Six Sigma Quality. *Manufacturing Engineer*, 130, pp. 69-73, feb. 2003.

Pande, P.S., Neuman, R.P., Cavanagh, R.R. *Estratégia Seis Sigma*. 1a. ed. Rio de Janeiro: Qualitymark Ed., 2001. 472 p.

Rasis, D., Gitlow, H.S., Popovich, E. Paper Organizers International: A Fictitious Six Sigma Green Belt Case Study I. *Quality Engineering*, 15 (1), pp.127-145, 2002.

Rath & Strong (Org.). *Six Sigma Pocket Guide*, 2. ed. Lexington, 2001, 192 p.

Rudisill, F., Druley, S. Which Six Sigma Metric Should I use?. *Quality Progress*, 37 no.3, pp. 104, mar. 2004.

Sharma, V., Tonk, H. S. Six Sigma Point and Counterpoint. *Manufacturing Engineering*, 132, no. 1, pp.10, jan. 2004.

Sznaider, B. Six-Sigma Safety. *Manufacturing Engineering*, 125 no.3, pp.18, set. 2000.

Tylutki, T. P., Fox, D.G. Mooving toward Six Sigma. *Quality Progress*, 35, pp. 34-41, fev. 2002.

Witt, C.E. Achieving Six Sigma Logistics. *Material Handling Management*, 57, pp.10, mai. 2002.

Womack, J.P., Jones, D.T. *A Mentalidade Enxuta nas Empresas*. 8a. ed., Ed. Campus, 1998, pp. 1-17.

Anexos

Tabela I – Perdas do Processo de Manufatura de Respiradores – Inicial (Fonte: o próprio autor)

		Dados				
Produto	Mês	Soma de No. Peças	Soma de Uso Fibra (kg)	Soma de Perda (Kg)	Soma de Perda	
Concha	1	812.652	4977	1167	0,235	0,235
	2	690.743	4376	1137	0,260	0,260
	3	677.850	4135	958	0,232	0,232
	4	647.984	3965	927	0,234	0,234
	5	727.769	4300	889	0,207	0,207
	6	678.863	4074	892	0,219	0,219
	7	723.126	4244	854	0,201	0,201
	8	679.285	4030	846	0,210	0,210
	9	788.237	4603	908	0,197	0,197
	10	821.914	4885	1032	0,211	0,211
	11	835.798	5096	1177	0,231	0,231
	12	681.833	4075	879	0,216	0,216
Concha Total		8.766.054	52760	11665	0,221	0,221
Concha Interna	1	252.823	1912	169	0,089	0,089
	2	298.715	2267	208	0,092	0,092
	3	229.879	1769	185	0,104	0,104
	4	324.364	2449	213	0,087	0,087
	5	249.255	1878	159	0,085	0,085
	6	264.780	2017	191	0,095	0,095
	7	253.268	1905	159	0,084	0,084
	8	258.085	1954	175	0,090	0,090
	9	204.631	1537	126	0,082	0,082
	10	255.002	1946	188	0,097	0,097
	11	272.326	2057	180	0,087	0,087
	12	290.077	2204	205	0,093	0,093
Concha Interna Total		3.153.203	23897	2160	0,090	0,090
	1 Soma	1.065.474	6889	1336		0,194
	2 Soma	989.458	6643	1346		0,203
	3 Soma	907.729	5905	1142		0,193
	4 Soma	972.348	6414	1140		0,178
	5 Soma	977.024	6178	1048		0,170
	6 Soma	943.643	6091	1083		0,178
	7 Soma	976.394	6149	1013		0,165
	8 Soma	937.370	5985	1021		0,171
	9 Soma	992.868	6140	1034		0,168
	10 Soma	1.076.916	6831	1220		0,179
	11 Soma	1.108.124	7153	1357		0,190
	12 Soma	971.910	6279	1083		0,173
Total Global		11.919.257	76657	13825	0,180	0,180

Tabela II a – Capacidade Inicial do Produto Concha (Fonte: o próprio autor)

Produto	Mês	No. Peças	Entrada de Fibra (kg)	Saída de Fibra (kg)	Perda (Kg)	Perda Concha (%)
Concha	1	57619	331,5	270,1	61,4	0,185
Concha	1	46085	276,0	216,0	60,0	0,217
Concha	1	55029	331,1	258,0	73,1	0,221
Concha	1	48469	292,0	227,2	64,8	0,222
Concha	1	56510	341,1	264,9	76,2	0,223
Concha	1	55696	336,9	261,1	75,7	0,225
Concha	1	54915	333,6	257,4	76,1	0,228
Concha	1	44303	272,3	207,7	64,6	0,237
Concha	1	27515	169,7	129,0	40,7	0,240
Concha	1	59262	365,7	277,8	87,9	0,240
Concha	1	57719	356,6	270,6	86,0	0,241
Concha	1	49741	309,9	233,2	76,7	0,248
Concha	1	39537	246,6	185,4	61,2	0,248
Concha	1	47115	298,3	220,9	77,4	0,260
Concha	1	46751	297,7	219,2	78,5	0,264
Concha	1	37286	238,0	174,8	63,2	0,266
Concha	1	29105	180,0	136,4	43,6	0,242
Concha	2	61320	377,9	287,5	90,4	0,239
Concha	2	168766	1056,0	791,2	264,8	0,251
Concha	2	123308	780,6	578,1	202,5	0,259
Concha	2	122363	787,2	573,6	213,6	0,271
Concha	2	82044	516,0	384,6	131,4	0,255
Concha	2	55590	345,0	260,6	84,4	0,245
Concha	2	77352	513,0	362,6	150,4	0,293
Concha	3	27700	164,4	129,9	34,5	0,210
Concha	3	11640	69,3	54,6	14,7	0,213
Concha	3	12699	75,9	59,5	16,4	0,216
Concha	3	38906	232,6	182,4	50,2	0,216
Concha	3	82561	497,4	387,0	110,4	0,222
Concha	3	18522	111,6	86,8	24,8	0,222
Concha	3	62423	376,1	292,6	83,5	0,222
Concha	3	51348	310,6	240,7	69,9	0,225
Concha	3	26666	161,6	125,0	36,6	0,226
Concha	3	24900	151,1	116,7	34,4	0,228
Concha	3	5820	35,3	27,3	8,1	0,228
Concha	3	54338	330,8	254,7	76,0	0,230
Concha	3	51503	316,0	241,4	74,5	0,236
Concha	3	85874	528,0	402,6	125,4	0,237
Concha	3	71100	442,8	333,3	109,5	0,247
Concha	3	51851	332,0	243,1	88,9	0,268
Concha	4	26491	154,4	124,2	30,2	0,196
Concha	4	27377	164,0	128,3	35,7	0,218
Concha	4	39547	237,6	185,4	52,2	0,220
Concha	4	34709	209,0	162,7	46,3	0,221
Concha	4	78855	475,8	369,7	106,1	0,223
Concha	4	50440	305,4	236,5	68,9	0,226
Concha	4	49705	301,2	233,0	68,1	0,226
Concha	4	51151	315,1	239,8	75,3	0,239
Concha	4	63068	390,0	295,7	94,4	0,242
Concha	4	53479	331,6	250,7	80,9	0,244
Concha	4	62080	385,1	291,0	94,0	0,244
Concha	4	60640	379,4	284,3	95,1	0,251
Concha	4	50445	316,0	236,5	79,5	0,252
Concha	5	142856	819,0	669,7	149,3	0,182
Concha	5	152308	862,0	714,0	148,0	0,172
Concha	5	110082	659,3	516,1	143,2	0,217
Concha	5	119232	717,9	559,0	158,9	0,221
Concha	5	111332	684,3	521,9	162,3	0,237
Concha	5	91959	558,0	431,1	126,9	0,227
Concha	6	44723	262,5	209,7	52,8	0,201
Concha	6	66841	381,0	313,4	67,6	0,178
Concha	6	60962	351,0	285,8	65,2	0,186
Concha	6	37042	212,0	173,7	38,3	0,181
Concha	6	44306	261,0	207,7	53,3	0,204
Concha	6	67203	402,8	315,0	87,8	0,218
Concha	6	26067	156,9	122,2	34,7	0,221
Concha	6	49911	301,7	234,0	67,7	0,224
Concha	6	55384	335,1	259,6	75,4	0,225
Concha	6	22780	139,2	106,8	32,4	0,233
Concha	6	50840	311,3	238,3	73,0	0,234
Concha	6	53480	328,8	250,7	78,1	0,237
Concha	6	19048	118,0	89,3	28,7	0,243
Concha	6	3880	24,0	18,2	5,8	0,242
Concha	6	48533	316,5	227,5	89,0	0,281
Concha	6	27866	172,5	130,6	41,9	0,243

Tabela II b – Capacidade Inicial do Produto Concha (Fonte: o próprio autor)

Produto	Mês	No. Peças	Entrada de Fibra (kg)	Saída de Fibra (kg)	Perda (Kg)	Perda Concha (%)
Concha	7	72673	427,5	340,7	86,8	0,203
Concha	7	53897	316,5	252,7	63,8	0,202
Concha	7	64770	372,0	303,6	68,4	0,184
Concha	7	31400	181,5	147,2	34,3	0,189
Concha	7	77324	445,5	362,5	83,0	0,186
Concha	7	48872	280,5	229,1	51,4	0,183
Concha	7	43902	253,5	205,8	47,7	0,188
Concha	7	26734	172,5	125,3	47,2	0,273
Concha	7	95616	565,5	448,3	117,2	0,207
Concha	7	69049	412,5	323,7	88,8	0,215
Concha	7	13827	87,0	64,8	22,2	0,255
Concha	7	40119	230,9	188,1	42,8	0,185
Concha	7	39366	229,5	184,5	45,0	0,196
Concha	7	9456	55,6	44,3	11,3	0,203
Concha	7	36125	213,4	169,4	44,1	0,207
Concha	8	97548	564,0	457,3	106,7	0,189
Concha	8	98197	568,5	460,3	108,2	0,190
Concha	8	20741	127,5	97,2	30,3	0,237
Concha	8	65716	387,0	308,1	78,9	0,204
Concha	8	66278	412,5	310,7	101,8	0,247
Concha	8	54056	330,0	253,4	76,6	0,232
Concha	8	30100	184,5	141,1	43,4	0,235
Concha	8	65491	382,5	307,0	75,5	0,197
Concha	8	50839	297,0	238,3	58,7	0,198
Concha	8	66200	399,0	310,3	88,7	0,222
Concha	8	57111	337,5	267,7	69,8	0,207
Concha	8	7010	40,3	32,9	7,5	0,185
Concha	9	13545	81,0	63,5	17,5	0,216
Concha	9	116727	669,0	547,2	121,8	0,182
Concha	9	25585	147,0	119,9	27,1	0,184
Concha	9	119900	735,0	562,1	172,9	0,235
Concha	9	129787	744,0	608,4	135,6	0,182
Concha	9	117127	675,0	549,1	125,9	0,187
Concha	9	25074	141,7	117,5	24,1	0,170
Concha	9	185964	1095,0	871,8	223,2	0,204
Concha	9	15803	90,4	74,1	16,4	0,181
Concha	9	38726	225,2	181,5	43,6	0,194
Concha	10	54186	312,0	254,0	58,0	0,186
Concha	10	38380	234,0	179,9	54,1	0,231
Concha	10	70791	430,5	331,9	98,6	0,229
Concha	10	31940	202,5	149,7	52,8	0,261
Concha	10	68180	400,5	319,6	80,9	0,202
Concha	10	31612	193,5	148,2	45,3	0,234
Concha	10	30853	187,5	144,6	42,9	0,229
Concha	10	31608	187,5	148,2	39,3	0,210
Concha	10	58704	351,0	275,2	75,8	0,216
Concha	10	36120	231,0	169,3	61,7	0,267
Concha	10	4515	27,0	21,2	5,8	0,216
Concha	10	27090	157,5	127,0	30,5	0,194
Concha	10	65028	382,5	304,9	77,6	0,203
Concha	10	60205	349,5	282,2	67,3	0,192
Concha	10	84626	484,5	396,7	87,8	0,181
Concha	10	64862	382,5	304,1	78,4	0,205
Concha	10	63216	371,5	296,4	75,2	0,202
Concha	11	51934	297,0	243,5	53,5	0,180
Concha	11	97124	543,0	455,3	87,7	0,161
Concha	11	37875	219,0	177,6	41,4	0,189
Concha	11	62422	366,0	292,6	73,4	0,200
Concha	11	90878	532,5	426,0	106,5	0,200
Concha	11	8090	47,8	37,9	9,9	0,207
Concha	11	46756	282,2	219,2	63,0	0,223
Concha	11	34480	208,6	161,6	46,9	0,225
Concha	11	4954	30,0	23,2	6,8	0,226
Concha	11	58187	365,6	272,8	92,8	0,254
Concha	11	54095	340,0	253,6	86,4	0,254
Concha	11	83493	528,0	391,4	136,5	0,259
Concha	11	78072	506,4	366,0	140,4	0,277
Concha	11	81095	528,0	380,2	147,8	0,280
Concha	11	46345	301,5	217,3	84,2	0,279
Concha	12	123777	696,0	580,3	115,7	0,166
Concha	12	80143	482,8	375,7	107,1	0,222
Concha	12	174609	1056,1	818,6	237,5	0,225
Concha	12	90807	549,8	425,7	124,1	0,226
Concha	12	174020	1056,0	815,8	240,2	0,227
Concha	12	38477	234,4	180,4	54,0	0,230

Tabela III – Capacidade Inicial do Produto Concha Interna (Fonte: o próprio autor)

Produto	Mês	No. Peças	Entrada de Fibra (kg)	Saída de Fibra (kg)	Perda (Kg)	Perda Concha Interna (%)
Concha Interna	1	31329	240,0	216,0	24,0	0,100
Concha Interna	1	42429	316,1	292,5	23,6	0,075
Concha Interna	1	49108	369,7	338,6	31,1	0,084
Concha Interna	1	29729	218,1	205,0	13,1	0,060
Concha Interna	1	44404	339,2	306,2	33,0	0,097
Concha Interna	1	29531	226,5	203,6	22,9	0,101
Concha Interna	1	26295	202,5	181,3	21,2	0,105
Concha Interna	2	72815	559,5	502,1	57,4	0,103
Concha Interna	2	46733	351,0	322,2	28,8	0,082
Concha Interna	2	31140	238,5	214,7	23,8	0,100
Concha Interna	2	66604	499,5	459,2	40,3	0,081
Concha Interna	2	18487	137,7	127,5	10,2	0,074
Concha Interna	2	17734	134,3	122,3	12,1	0,090
Concha Interna	2	45204	346,8	311,7	35,2	0,101
Concha Interna	3	27518	209,2	189,7	19,5	0,093
Concha Interna	3	65431	504,0	451,1	52,9	0,105
Concha Interna	3	30529	232,5	210,5	22,0	0,095
Concha Interna	3	51367	396,0	354,2	41,8	0,106
Concha Interna	3	4281	33,0	29,5	3,5	0,106
Concha Interna	3	21403	166,5	147,6	18,9	0,114
Concha Interna	3	29352	228,0	202,4	25,6	0,112
Concha Interna	4	51588	399,0	355,7	43,3	0,109
Concha Interna	4	31798	241,5	219,2	22,3	0,092
Concha Interna	4	44640	334,5	307,8	26,7	0,080
Concha Interna	4	29352	224,9	202,4	22,5	0,100
Concha Interna	4	18949	141,0	130,6	10,4	0,073
Concha Interna	4	73977	550,5	510,1	40,4	0,073
Concha Interna	4	74061	558,0	510,6	47,4	0,085
Concha Interna	5	28129	213,0	193,9	19,1	0,089
Concha Interna	5	74792	558,0	515,7	42,3	0,076
Concha Interna	5	23849	183,0	164,4	18,6	0,101
Concha Interna	5	29964	226,8	206,6	20,2	0,089
Concha Interna	5	25683	197,8	177,1	20,8	0,105
Concha Interna	5	53998	402,0	372,3	29,7	0,074
Concha Interna	5	12842	97,0	88,5	8,4	0,087
Concha Interna	6	38522	288,0	265,6	22,4	0,078
Concha Interna	6	31798	241,5	219,2	22,3	0,092
Concha Interna	6	27091	208,5	186,8	21,7	0,104
Concha Interna	6	56218	422,0	387,6	34,4	0,082
Concha Interna	6	62232	481,5	429,1	52,4	0,109
Concha Interna	6	23849	181,5	164,4	17,1	0,094
Concha Interna	6	25072	193,5	172,9	20,6	0,107
Concha Interna	7	20933	160,5	144,3	16,2	0,101
Concha Interna	7	25683	193,5	177,1	16,4	0,085
Concha Interna	7	19757	151,5	136,2	15,3	0,101
Concha Interna	7	50285	373,5	346,7	26,8	0,072
Concha Interna	7	36549	274,2	252,0	22,2	0,081
Concha Interna	7	59979	449,4	413,5	35,9	0,080
Concha Interna	7	40084	302,7	276,4	26,3	0,087
Concha Interna	8	36690	273,8	253,0	20,8	0,076
Concha Interna	8	14964	114,6	103,2	11,4	0,099
Concha Interna	8	45687	342,2	315,0	27,2	0,079
Concha Interna	8	31183	233,9	215,0	18,9	0,081
Concha Interna	8	43569	330,0	300,4	29,6	0,090
Concha Interna	8	43187	330,0	297,8	32,2	0,098
Concha Interna	8	42805	330,0	295,1	34,8	0,106
Concha Interna	9	40748	302,8	281,0	21,9	0,072
Concha Interna	9	14641	110,6	100,9	9,7	0,087
Concha Interna	9	17756	133,1	122,4	10,7	0,080
Concha Interna	9	46081	344,1	317,7	26,3	0,077
Concha Interna	9	15023	115,8	103,6	12,2	0,106
Concha Interna	9	45686	341,3	315,0	26,2	0,077
Concha Interna	9	24696	189,3	170,3	19,0	0,100
Concha Interna	10	20698	157,5	142,7	14,8	0,094
Concha Interna	10	50144	387,0	345,7	41,3	0,107
Concha Interna	10	69951	531,0	482,3	48,7	0,092
Concha Interna	10	48921	366,4	337,3	29,1	0,079
Concha Interna	10	22108	168,0	152,4	15,6	0,093
Concha Interna	10	20180	156,5	139,1	17,3	0,111
Concha Interna	10	23002	180,0	158,6	21,4	0,119
Concha Interna	11	76688	583,5	528,8	54,7	0,094
Concha Interna	11	34716	262,5	239,4	23,1	0,088
Concha Interna	11	69795	522,0	481,2	40,8	0,078
Concha Interna	11	44594	333,2	307,5	25,7	0,077
Concha Interna	11	21949	168,0	151,3	16,7	0,099
Concha Interna	11	2823	21,6	19,5	2,1	0,097
Concha Interna	11	21762	166,2	150,0	16,2	0,097
Concha Interna	12	53862	406,1	371,4	34,7	0,085
Concha Interna	12	19421	148,9	133,9	15,0	0,101
Concha Interna	12	25368	191,8	174,9	16,9	0,088
Concha Interna	12	52804	401,8	364,1	37,7	0,094
Concha Interna	12	52672	407,1	363,2	44,0	0,108
Concha Interna	12	40925	311,8	282,2	29,6	0,095
Concha Interna	12	45025	337,0	310,4	26,5	0,079

Tabela IV a - FMEA Inicial (Fonte: o próprio autor)

Passos do Processo	Entradas	Modo de Falha	Efeito(s) de cada Falha	Severidade do Efeito	Potencial Causa de cada falha	Ocorrência da causa	Controles Atuais	Deteção da Falha	R P N	Ações Recomendadas	Responsável	Ação Tomada	S E V	O C C	D E T	R P N
Formação da manta	Taxa da mistura de fibras	Mistura heterogênea e Manta não uniforme	Aparência Visual fora padrão ou Resistência baixa	8	Ausência de dispositivo misturador	10	Não existe controle	10	800							
Formação da manta	Taxa da mistura de fibras	Mistura heterogênea e Manta não uniforme	Aparência Visual fora padrão ou Resistência baixa	8	Quantidade de uso de fibra reciclada desconhecida	10	Não existe controle	10	800							
Formação da manta	Taxa da mistura de fibras	Mistura heterogênea e Manta não uniforme	Aparência Visual fora padrão ou Resistência baixa	8	Operação da alimentação	2	Instrução de Trabalho	3	48							
Formação da manta	Taxa da mistura de fibras	Mistura heterogênea e Manta não uniforme	Aparência Visual fora padrão ou Resistência baixa	8	Integridade dos pinos da esteira transportadora	3	Manutenção Preventiva e Inspeção semanal da abridora	3	72							
Formação da manta	Taxa da mistura de fibras	Mistura heterogênea e Manta não uniforme	Aparência Visual fora padrão ou Resistência baixa	8	Integridade do rolo pinado	3	Manutenção Preventiva e Inspeção semanal da abridora	3	72							
Formação da manta	Taxa da mistura de fibras	Mistura heterogênea e Manta não uniforme	Aparência Visual fora padrão ou Resistência baixa	8	Altura do sensor da abridora	1	Standard de Produção e Inspeção	3	24							
Formação da manta	Características da fibra	Concentração de resina abaixo do especificado	Aparência Visual fora do padrão	7	Dosagem inadequada de resina	8	Não existe controle	10	560							
Formação da manta	Características da fibra	Quantidade alta de Naps	Aparência Visual fora do padrão	7	Baixa quantidade de resina de encimagem	7	Não existe controle	10	490							
Formação da manta	Características da fibra	Fibra contaminada	Aparência Visual fora do padrão	7	Contaminação nos equipamentos da Virgo	6	Inspeção Visual na distafiadeira e carda. Passagem de 6kg a 10 kg para limpeza	5	210							
Formação da manta	Características da fibra	Fibra contaminada	Aparência Visual fora do padrão	7	Contaminação no enfiamento na Virgo	6	Não existe controle	10	420							
Formação da manta	Características da fibra	Quantidade alta de Naps	Aparência Visual fora do padrão	7	Partes fundidas do fio de corte	10	Não existe controle	10	700							
Formação da manta	Características da fibra	Fibra muito curta	Aparência Visual fora do padrão	7	Número de vezes que o material passou por reciclagem	7	Não existe controle	10	490							
Formação da manta	Características da fibra	Quantidade alta de Naps	Aparência Visual fora do padrão	7	Ajuste das distâncias entre tambores da carda abridora	7	Não Existe Controle	10	490							
Formação da manta	Características da fibra	Fibra contaminada	Aparência Visual fora do padrão	7	Operação incorreta na segregação das aparas	4	Procedimento de segregação	7	196							
Formação da manta	Características da fibra	Fibra contaminada	Aparência Visual fora do padrão	7	Caixa de armazenagem contaminadas	4	Procedimento de segregação	7	196							
Formação da manta	Características da fibra	Fibra contaminada	Aparência Visual fora do padrão	7	Contaminação no processo de prensagem	4	Instrução de trabalho	3	84							
Formação da manta	Características da fibra	Fibra contaminada	Aparência Visual fora do padrão	7	Bordas queimadas no processo	6	Barras das prensas. Diâmetro fio de corte. Tempo de corte. Procedimento Limpeza canaletas e troca de fios	3	126							

Tabela IV b - FMEA Inicial (Fonte: o próprio autor)

Formação da manta	Características da fibra	Quantidade alta de Naps	Aparência Visual fora do padrão	7	Variação de rotação dos cilindros da carda de 2 corpos	2	Não existe controle	10	140								
Formação da manta	Características da fibra	Fibra contaminada	Aparência Visual fora do padrão	7	Contaminação da lona de empacotamento	2	Instrução de trabalho	3	42								
Formação da manta	Características da fibra	Fibra contaminada	Aparência Visual fora do padrão	7	Contaminação no transporte dos fardos de aparas	2	Instrução de trabalho	3	42								
Formação da manta	Características da fibra	Fibra contaminada	Aparência Visual fora do padrão	7	Contaminação na armazenagem na Virgo	2	Armazen fechado e piso de cimento queimado	7	96								
Formação da manta	Características da fibra	Fibra contaminada	Aparência Visual fora do padrão	7	Contaminação no transporte dos fardos de fibra aberta	2	Procedimento de transporte em caminhão fechado	7	98								
Formação da manta	Características da fibra	Fibra contaminada	Aparência Visual fora do padrão	7	Contaminação na armazenagem	2	Instrução de Trabalho	3	42								
Formação da manta	Características da fibra	Concentração de resina abaixo do especificado	Aparência Visual fora do padrão	7	Quantidades incorretas na preparação da solução de resina	2	Não existe controle	10	140								
Formação da manta	Características da fibra	Concentração de resina abaixo do especificado	Aparência Visual fora do padrão	7	Baixa eficiência na homogeneização	2	Não existe controle	10	140								
Formação da manta	Características da fibra	Quantidade alta de Naps	Aparência Visual fora do padrão	7	Ausência do coletor de Naps	10	Não Existe Controle	10	700								
Formação da manta	Características da fibra	Quantidade alta de Naps	Aparência Visual fora do padrão	7	Afiação das guarnições da carda abridora	7	Processo de limpeza com cardinha	1	49								
Formação da manta	Características da fibra	Quantidade alta de Naps	Aparência Visual fora do padrão	7	Excesso de dosagem de material na alimentação (ajuste)	2	Não existe controle	10	140								
Abastecimento Fibras	Pesagem da fibra	Quantidades incorretas de fibras	Resistência baixa ou Queda de Pressão alta	10	Operação	2	Instrução de Trabalho	3	60								
Abastecimento Fibras	Pesagem da fibra	Quantidades incorretas de fibras	Resistência baixa ou Queda de Pressão alta	10	Desajuste do sistema de pesagem	1	Procedimento de calibração	4	40								
Desfibramento	Operação	Limpeza inadequada da área de serviço	Aparência Visual fora do padrão	7	Falta Higienização da mão	5	Procedimento Operacional	6	210								
Desfibramento	Operação	Limpeza inadequada da área de serviço	Aparência Visual fora do padrão	7	Teto sujo	7	Não existe controle	10	490								
Desfibramento	Operação	Limpeza inadequada da máquina	Aparência Visual fora do padrão	7	Falta de inspeção visual nos pontos de acúmulos de fibras	3	Não existe controle	10	210								
Desfibramento	Operação	Limpeza inadequada da área de serviço	Aparência Visual fora do padrão	7	Sem proteção nos sapatos	5	Procedimento Operacional	3	105								
Desfibramento	Operação	Limpeza inadequada da área de serviço	Aparência Visual fora do padrão	7	Lona suja	3	Procedimento Operacional	3	63								
Desfibramento	Operação	Limpeza inadequada da área de serviço	Aparência Visual fora do padrão	7	Chão sujo	3	Procedimento Operacional	3	63								
Formação da manta	Ajustes do Equipamento	Ajustes incorretos	Aparência Visual fora padrão ou Resistência baixa	8	Desgastes por tempo de operação	7	Manutenção Preventiva/Previdiva	4	224								
Formação da manta	Ajustes do Equipamento	Ajustes incorretos	Aparência Visual fora padrão ou Resistência baixa	8	Operação de limpeza pela equipe do Maker	4	Instrução de Trabalho	3	96								

Tabela IV c - FMEA Inicial (Fonte: o próprio autor)

Formação da manta	Ajustes do Equipamento	Ajustes incorretos	Aparência Visual fora padrão ou Resistência baixa	8	Operação de ajustes pela Hollingsworth	2	Manutenção Preventiva	5	80						
Formação da manta	Ajustes do Equipamento	Ajustes incorretos	Aparência Visual fora padrão ou Resistência baixa	8	Padrões errados de ajustes.	1	Manutenção Preventiva	5	40						
Formação da manta	Integridade da guarnição	Guarnição danificada	Aparência Visual fora do padrão	7	Desprendimento das cerdas de aço temperado da escova de limpeza dos flats	6	Inspeção durante a limpeza semanal da carda	6	252						
Formação da manta	Integridade da guarnição	Guarnição danificada	Aparência Visual fora do padrão	7	Contaminação por materiais não-metálicos.	5	Não existe controle	10	350						
Formação da manta	Integridade da guarnição	Guarnição danificada	Aparência Visual fora do padrão	7	Falha no detector de metal da abridora	5	Inspeção semanal	4	140						
Formação da manta	Integridade da guarnição	Guarnição danificada	Aparência Visual fora do padrão	7	Ineficiência da escova de limpeza dos flats.	5	Não existe controle	10	350						
Formação da manta	Integridade da guarnição	Guarnição danificada	Aparência Visual fora do padrão	7	Ajuste incorreto dos flats em relação ao cilindro principal.	4	Padrões de ajuste e Manutenção Preventiva	4	112						
Formação da manta	Integridade da guarnição	Guarnição desgastada	Aparência Visual fora do padrão	7	Número de toneladas processadas	4	Não existe controle	10	280						
Formação da manta	Integridade da guarnição	Guarnição danificada	Aparência Visual fora do padrão	7	Ineficiência do rolo destacador.	2	Manutenção Preventiva e Preditiva	3	42						
Formação da manta	Integridade da guarnição	Guarnição danificada	Aparência Visual fora do padrão	7	Desprendimento de peças metálicas da carda.	2	Limpeza semanal	4	56						
Formação da manta	Integridade da guarnição	Guarnição danificada	Aparência Visual fora do padrão	7	Flats giratórios parados.	2	Sensor de detecção de parada	4	56						
Formação da manta	Tipo de Guarnição	Especificação incorreta da guarnição metálica	Aparência Visual fora do padrão	7	Avaliação incorreta da mistura de fibra para determinar guarnição	1	Não existe controle	10	70						
Prensagem	Peso da Manta	Peso abaixo do especificado	Aparência Visual fora padrão ou Resistência baixa	8	Acúmulo de fibras nos pentes do	8	Não existe controle	10	640						
Prensagem	Peso da Manta	Peso abaixo do especificado	Aparência Visual fora padrão ou Resistência baixa	8	Falta de material na entrada da abridora	5	Alarme sonoro	6	240						
Prensagem	Peso da Manta	Peso abaixo do especificado	Aparência Visual fora padrão ou Resistência baixa	8	Acúmulo de fibras nas tubulações de transporte de fibra	5	Limpeza semanal	6	240						
Prensagem	Peso da Manta	Peso abaixo do especificado	Aparência Visual fora padrão ou Resistência baixa	8	Operação da carda	3	Instrução de Trabalho	3	72						
Prensagem	Peso da Manta	Peso acima do especificado	Queda de Pressão muito alta	8	Operação da carda	3	Instrução de Trabalho	3	72						
Prensagem	Peso da Manta	Peso abaixo do especificado	Aparência Visual fora padrão ou Resistência baixa	8	Falha no pressostato de controle de alimentação	2	Calibração e Aferição	4	64						
Prensagem	Peso da Manta	Peso abaixo do especificado	Aparência Visual fora padrão ou Resistência baixa	8	Falha do medidor de pressão interno do	2	Calibração e Aferição	4	64						
Prensagem	Peso da Manta	Peso abaixo do especificado	Aparência Visual fora padrão ou Resistência baixa	8	Falha na sincronia do sistema de alimentação da carda	2	Manutenção Preventiva	5	80						
Prensagem	Peso da Manta	Peso abaixo do especificado	Aparência Visual fora padrão ou Resistência baixa	8	Operação da abridora	2	Instrução de Trabalho	3	48						

Tabela IV d - FMEA Inicial (Fonte: o próprio autor)

Prensagem	Peso da Manta	Peso acima do especificado	Aparência Visual fora padrão ou Resistência baixa	8	Falha na sincronia do sistema de alimentação da carda	2	Manutenção Preventiva	5	80							
Prensagem	Peso da Manta	Peso acima do especificado	Aparência Visual fora padrão ou Resistência baixa	8	Falha do medidor de pressão interno	1	Manutenção Preventiva	5	40							
Prensagem	Peso da Manta	Peso abaixo do especificado	Aparência Visual fora padrão ou Resistência baixa	8	Regulagem do conjunto da carda	1	Manutenção Preventiva	5	40							
Prensagem	Uniformidade da Manta	Escoamento das mantas sobre as fitas	Aparência Visual fora padrão ou Resistência baixa	8	Tempo de residência alto sobre as fitas de transporte de manta	7	Não existe controle	10	560							
Prensagem	Uniformidade da Manta	Baixa concentração de fibras em pontos transversais da manta	Aparência Visual fora padrão ou Resistência baixa	8	Desuniformidade da camada alimentadora de fibras	7	Não existe controle	10	560							
Prensagem	Uniformidade da Manta	Baixa concentração de fibras em pontos transversais da manta	Aparência Visual fora padrão ou Resistência baixa	8	Fibras fundidas na guarnição	7	Inspeção semanal	4	224							
Prensagem	Uniformidade da Manta	Baixa concentração de fibras em pontos transversais da manta	Aparência Visual fora padrão ou Resistência baixa	8	Guarnições danificadas	3	Manutenção Preventiva e Limpeza semanal da carda	3	72							
Prensagem	Uniformidade da Manta	Baixa concentração de fibras em pontos longitudinais da manta	Aparência Visual fora padrão ou Resistência baixa	8	Desajuste das velocidades da pinça em relação ao tambor compactador	3	Medição do comprimento da manta	4	96							
Prensagem	Uniformidade da Manta	Baixa concentração de fibras em pontos longitudinais da manta	Aparência Visual fora padrão ou Resistência baixa	8	Polimento da tampa inox de proteção de polias	2	Medição do comprimento da manta	4	64							
Desfibramento	Preparação da resina	Quantidade/Qualidade incorreta de componentes	Resistência baixa ou Queda de Pressão alta	10	Balança sem aferição	8	Não existe controle	10	800							
Desfibramento	Preparação da resina	Quantidade/Qualidade incorreta de componentes	Resistência baixa ou Queda de Pressão alta	10	Medida inadequada da água	4	Não existe controle	10	400							
Desfibramento	Preparação da resina	Agitação inadequada da mistura	Resistência baixa ou Queda de Pressão alta	10	Tempo de agitação pequeno	4	Não existe controle	10	400							
Desfibramento	Preparação da resina	Quantidade/Qualidade incorreta de componentes	Resistência baixa ou Queda de Pressão alta	10	Operação de pesagem	3	Não existe controle	10	300							
Desfibramento	Preparação da resina	Quantidade/Qualidade incorreta de componentes	Resistência baixa ou Queda de Pressão alta	10	Adição do produto incorreto	4	Não existe controle	10	400							
Desfibramento	Quantidade de resina	Quantidade inferior ao especificado	Aparência Visual fora do padrão	7	Quantidade ideal de resina desconhecida	10	Não existe controle	10	700							
Desfibramento	Quantidade de resina	Quantidade inferior ao especificado	Aparência Visual fora do padrão	7	Pressão da linha de aditivo	3	Não existe controle	10	210							
Desfibramento	Quantidade de resina	Quantidade inferior ao especificado	Aparência Visual fora do padrão	7	Vazão de aditivos	3	Não existe controle	10	210							
Desfibramento	Quantidade de resina	Quantidade inferior ao especificado	Aparência Visual fora do padrão	7	Vazamento nos recipientes e bomba (perda de pressão)	3	Manutenção preventiva e Inspeção visual	3	63							
Desfibramento	Quantidade de resina	Quantidade inferior ao especificado	Aparência Visual fora do padrão	7	Bico entupido	3	Inspeção visual do operador desfiadeira	3	63							

Tabela V a - FMEA Priorizado (Fonte: o próprio autor)

Passos do Processo	Entradas	Modo de Falha	Efeito(s) de cada Falha	Severidade do Efeito	Potencial Causa de cada falha	Ocorrência da causa	Controles Atuais	Deteção da Falha	R P N	Ações Recomendadas	Responsável	Ação Tornado	S E V	O C C	D E T	R P N
Formação da manta	Taxa da mistura de fibras	Mistura heterogênea e Manta não uniforme	Aparência Visual fora padrão ou Resistência baixa	0	Ausência de dispositivo misturador	10	Não existe controle	10	000	Instalação de equipamento misturador	Marcos	Projeto para compra do misturador concluído	0	1	1	0
Desfibramento	Preparação da resina	Quantidade/Qualidade incorreta de componentes	Resistência baixa ou Queda de Pressão alta	10	Balança sem aferição	8	Não existe controle	10	800	Estabelecer sistema de aferição	Marcos	Recipientes aferidos	10	1	1	10
Formação da manta	Taxa da mistura de fibras	Mistura heterogênea e Manta não uniforme	Aparência Visual fora padrão ou Resistência baixa	8	Quantidade de uso de fibra reciclada desconhecida	10	Não existe controle	10	800	Realizar DOE para estabelecer taxa máxima de fibra reciclada	Marcos	Após DOE ficou estabelecido até 20% (procedimento e operadores treinados)	8	1	3	24
Desfibramento	Quantidade de resina	Quantidade inferior ao especificado	Aparência Visual fora do padrão	7	Quantidade ideal de resina desconhecida	10	Não existe controle	10	700	Realizar DOE para estabelecer quantidade ideal de resina	Marcos	Após DOE ficou estabelecido 15 g (procedimento e operadores treinados)	7	1	2	14
Formação da manta	Características da fibra	Quantidade alta de Naps	Aparência Visual fora do padrão	7	Partes fundidas do fio de corte	10	Não existe controle	10	700	Fazer avaliação na qualidade do produto para verificar a influência	Cristiano Fernando	Material está sendo removido em inspeção visual. Equipe treinada em abril.	7	4	5	140
Formação da manta	Características da fibra	Quantidade alta de Naps	Aparência Visual fora do padrão	7	Ausência do coletor de Naps	10	Não Existe Controle	10	700	Instalar exaustor de naps nas abridoras de fibras	Marcos	Projeto instalação exaustor concluído	7	1	10	70
Prensagem	Peso da Manta	Peso abaixo do especificado	Aparência Visual fora padrão ou Resistência baixa	8	Acúmulo de fibras nos pentes	8	Não existe controle	10	640	Teste de cantoneira para eliminar a necessidade de limpeza diária	Fernando	Tampa faciendo a entrada do equip. eliminou problema	8	1	1	8
Formação da manta	Características da fibra	Concentração de resina abaixo do especificado	Aparência Visual fora do padrão	7	Dosagem inadequada de resina	8	Não existe controle	10	560	Manômetro/Padrão Vazão e Velocidade Esteira	Marcos	Instalado manômetro	7	1	1	7
Prensagem	Uniformidade da Manta	Escoamento das mantas sobre as fitas	Aparência Visual fora padrão ou Resistência baixa	8	Tempo de residência alto sobre as fitas de transporte de manta	7	Não existe controle	10	560	Criar procedimento para retirar a manta da máquina	Fernando	Procedimento operacional em uso	8	4	3	96
Prensagem	Uniformidade da Manta	Baixa concentração de fibras em pontos transversais da manta	Aparência Visual fora padrão ou Resistência baixa	8	Desuniformidade da camada alimentadora de fibras	7	Não existe controle	10	560	Teste de cantoneira para eliminar a necessidade de limpeza diária	Fernando	Tampa faciendo a entrada do equip. eliminou problema	8	7	1	56
Desfibramento	Operação	Limpeza inadequada da área de serviço	Aparência Visual fora do padrão	7	Teto sujo	7	Não existe controle	10	490	Estabelecer procedimento de limpeza e padrão de limpeza aceitável	Marcos	Padrão estabelecido em procedimento operacional	7	7	1	49
Formação da manta	Características da fibra	Quantidade alta de Naps	Aparência Visual fora do padrão	7	Baixa quantidade de resina de encimagem	7	Não existe controle	10	490	Avaliação da necessidade de exaustor de naps nas abridoras de fibras	Marcos	Instalado calha para remoção dos naps	7	1	1	7
Formação da manta	Características da fibra	Quantidade alta de Naps	Aparência Visual fora do padrão	7	Ajuste das distâncias entre tambores da carda abridora	7	Não Existe Controle	10	490	Definir padrão distâncias	Marcos	Valores padrões estabelecidos em procedimento operacional	7	4	3	84
Formação da manta	Características da fibra	Fibra muito curta	Aparência Visual fora do padrão	7	Número de vezes que o material passou por reciclagem	7	Não existe controle	10	490	Estabelecer o padrão de comprimento	Priscila	Especificação da fibra estabelecida	7	7	1	49
Formação da manta	Características da fibra	Fibra contaminada	Aparência Visual fora do padrão	7	Contaminação no enfardamento	6	Não existe controle	10	420	Solicitar criação de Preventiva na Prensa	Marcos	Preventiva estabelecida	7	3	2	42
Desfibramento	Preparação da resina	Quantidade/Qualidade incorreta de componentes	Resistência baixa ou Queda de Pressão alta	10	Medida inadequada da água	4	Não existe controle	10	400	Estabelecer sistema de aferição	Marcos Moacyr	Sistema de aferição colocado em prática em Abril	10	4	2	80
Desfibramento	Preparação da resina	Agitação inadequada da mistura	Resistência baixa ou Queda de Pressão alta	10	Tempo de agitação pequeno	4	Não existe controle	10	400	Procedimento de preparação da resina	Marcos	Procedimento operacional em uso	10	1	2	20

Tabela V b - FMEA Priorizado (Fonte: o próprio autor)

Desfibramento	Quantidade de resina	Quantidade inferior ao especificado	Aparência Visual fora do padrão	10	Velocidade da esteira de fibras	4	Não existe controle	10	400	Estabelecer padrão de velocidade de esteira	Marcos	Padrão estabelecido em procedimento operacional	10	4	2	80
Formação da manta	Taxa da mistura de fibras	Mistura heterogênea e Manta não uniforme	Aparência Visual fora padrão ou Resistência baixa	8	Compactação do fardo de fibras	4	Não existe controle	10	320	Estabelecimento de padrão de produção com definição do peso do fardo	Marcos	OK em Maio	8	4	3	96
Desfibramento	Operação	Limpeza inadequada da área de serviço	Aparência Visual fora do padrão	10	Falta Higienização da mão	5	Procedimento Operacional	6	300	Estabelecer procedimento de Higienização	Marcos	Procedimento operacional em uso	10	2	2	40
Desfibramento	Operação	Limpeza inadequada da máquina	Aparência Visual fora do padrão	10	Falta de inspeção visual nos pontos de acúmulos de fibras	3	Não existe controle	10	300	Estabelecer procedimento de limpeza e padrão de limpeza aceitável	Marcos	Padrão estabelecido em procedimento operacional	10	3	2	60
Desfibramento	Preparação da resina	Quantidade/Qualidade incorreta de componentes	Resistência baixa ou Queda de Pressão alta	10	Operação de pesagem	3	Não existe controle	10	300	Procedimento de pesagem do resina	Marcos	Procedimento operacional em uso	10	3	1	30
Desfibramento	Quantidade de resina	Quantidade inferior ao especificado	Aparência Visual fora do padrão	10	Pressão da linha de aditivo	3	Não existe controle	10	300	Estabelecimento de padrão de produção com controle de pressão por manômetro	Marcos	Manômetro Instalado	10	3	1	30
Desfibramento	Quantidade de resina	Quantidade inferior ao especificado	Aparência Visual fora do padrão	10	Vazão de aditivos	3	Não existe controle	10	300	Estabelecimento de padrão de produção com controle de vazão	Marcos	OK em Maio	10	3	1	30
Formação da manta	Integridade da guarnição	Guarnição danificada	Aparência Visual fora do padrão	8	Desprendimento das cerdas de aço temperado da escova de limpeza dos flats	6	Inspeção durante a limpeza semanal da carda	6	288	Verificação durante a Manutenção Preventiva	Moacyr Ricardo	Manutenção Preventiva com periodicidade definida	8	3	4	96
Prensagem	Peso da Manta	Peso abaixo do especificado	Aparência Visual fora padrão ou Resistência baixa	8	Falta de material na entrada da abridora	5	Alarme sonoro	6	240	Treinamento operadores	Fernando	OK em Maio	8	2	4	64
Prensagem	Peso da Manta	Peso abaixo do especificado	Aparência Visual fora padrão ou Resistência baixa	8	Acúmulo de fibras nas tubulações de transporte de fibra	5	Limpeza semanal	6	240	Reforçar a importância dessa limpeza	Fernando	Procedimento de limpeza estabelecido. Equipe treinada.	8	3	3	72
Formação da manta	Integridade da guarnição	Guarnição desgastada	Aparência Visual fora do padrão	6	Número de toneladas processadas	4	Não existe controle	10	240	Verificação durante a Manutenção Preventiva	Moacyr Ricardo	Manutenção Preventiva com periodicidade definida	6	2	5	60
Formação da manta	Ajustes do Equipamento	Ajustes incorretos	Aparência Visual fora padrão ou Resistência baixa	8	Desgastes por tempo de operação	7	Manutenção Preventiva/Preventiva	4	224	Revisão dos parâmetros de check-list de manutenção	Moacyr Ricardo	Parâmetros do check-list revisados e com periodicidade definida segundo criticidade das partes de máquinas	8	3	2	48
Prensagem	Uniformidade da Manta	Baixa concentração de fibras em pontos transversais da manta	Aparência Visual fora padrão ou Resistência baixa	8	Fibras fundidas na guarnição	7	Inspeção semanal	4	224	Adicional, temos a limpeza semanal da carda para eliminação	Fernando	Limpeza Semanal	8	4	2	64
Formação da manta	Características da fibra	Fibra contaminada	Aparência Visual fora do padrão	7	Contaminação nos equipamentos	6	Inspeção Visual na disfiadeira e carda. Passagem de 6kg a 10 kg para limpeza	5	210	Auditoria no sistema	Cristiano Marcos	Auditoria realizada no dia 30/04. Situação sob controle.	7	6	1	42
Formação da manta	Características da fibra	Fibra contaminada	Aparência Visual fora do padrão	7	Operação incorreta na segregação das aparas	4	Procedimento de segregação	7	196	Retreinar operadores destacando a importância	Fernando	Operadores retreinados em abril	7	2	5	70
Formação da manta	Características da fibra	Fibra contaminada	Aparência Visual fora do padrão	7	Caixa de armazenagem contaminada	4	Procedimento de segregação	7	196	Retreinar operadores destacando a importância	Fernando	Operadores retreinados em abril	7	2	5	70
Formação da manta	Integridade da guarnição	Guarnição danificada	Aparência Visual fora do padrão	8	Falha no detector de metal da abridora	5	Inspeção semanal	4	160	Reforçar a importância dessa inspeção	Fernando	Inspeção durante a limpeza periódica	8	2	2	32

Tabela V c - FMEA Priorizado (Fonte: o próprio autor)

Desfibramento	Operação	Limpeza inadequada da área de serviço	Aparência Visual fora do padrão	10	Sem proteção nos sapatos	5	Procedimento Operacional	3	150	Auditoria no sistema	Cristiano Marcos	OK em Maio	10	5	3	150
Formação da manta	Características da fibra	Quantidade alta de Naps	Aparência Visual fora do padrão	7	Variação de rotação dos cilindros da carda de 2 corpos	2	Não existe controle	10	140	Definir padrão de velocidades dos cilindros	Marcos	OK em Maio	7	2	3	42
Formação da manta	Características da fibra	Concentração de resina abaixo do especificado	Aparência Visual fora do padrão	7	Quantidades incorretas na preparação da solução de resina	2	Não existe controle	10	140	Procedimento e Aferição sugeridos	Marcos	OK em Maio	7	2	3	42
Formação da manta	Características da fibra	Concentração de resina abaixo do especificado	Aparência Visual fora do padrão	7	Baixa eficiência na homogeneização	2	Não existe controle	10	140	Marco confirmar sistema de mistura do reservatório	Marcos	OK em Maio	7	2	4	56
Formação da manta	Características da fibra	Quantidade alta de Naps	Aparência Visual fora do padrão	7	Excesso de dosagem de material na alimentação (ajuste)	2	Não existe controle	10	140	Definir padrão de engrenagem da esteira alimentadora	Marcos	OK em Maio	7	2	5	70
Formação da manta	Integridade da guarnição	Guarnição danificada	Aparência Visual fora do padrão	8	Ajuste incorreto dos flats em relação ao cilindro principal.	4	Padrões de ajuste e Manutenção Preventiva	4	128	-	-	-	8	4	4	128
Formação da manta	Características da fibra	Fibra contaminada	Aparência Visual fora do padrão	7	Bordas queimadas no processo	6	Barra das prensas. Diâmetro fio de corte. Tempo de corte. Procedimento Limpeza canaletas e troca de fios	3	126	-	-	-	7	6	3	126
Formação da manta	Características da fibra	Fibra contaminada	Aparência Visual fora do padrão	7	Contaminação na armazenagem	2	Armazen fechado e piso de cimento queimado	7	98	-	-	-	7	2	7	98
Formação da manta	Características da fibra	Fibra contaminada	Aparência Visual fora do padrão	7	Contaminação no transporte dos fardos de fibra aberta	2	Procedimento de transporte em caminhão fechado	7	98	-	-	-	7	2	7	98
Formação da manta	Ajustes do Equipamento	Ajustes incorretos	Aparência Visual fora padrão ou Resistência baixa	8	Operação de limpeza pela equipe do Maker	4	Instrução de Trabalho	3	96	-	-	-	8	4	3	96
Prensagem	Uniformidade da Manta	Baixa concentração de fibras em pontos longitudinais da manta	Aparência Visual fora padrão ou Resistência baixa	8	Desajuste das velocidades da pinça em relação ao tambor compactador	3	Medição do comprimento da manta	4	96	-	-	-	8	3	4	96
Desfibramento	Operação	Limpeza inadequada da área de serviço	Aparência Visual fora do padrão	10	Lona suja	3	Procedimento Operacional	3	90	-	-	-	10	3	3	90
Desfibramento	Operação	Limpeza inadequada da área de serviço	Aparência Visual fora do padrão	10	Chão sujo	3	Procedimento Operacional	3	90	-	-	-	10	3	3	90
Desfibramento	Quantidade de resina	Quantidade inferior ao especificado	Aparência Visual fora do padrão	10	Vazamento nos recipientes e bomba (perda de pressão)	3	Manutenção preventiva e Inspeção visual	3	90	-	-	-	10	3	3	90
Desfibramento	Quantidade de resina	Quantidade inferior ao especificado	Aparência Visual fora do padrão	10	Bico entupido	3	Inspeção visual do operador desfiadeira	3	90	-	-	-	10	3	3	90
Formação da manta	Características da fibra	Fibra contaminada	Aparência Visual fora do padrão	7	Contaminação no processo de prensagem	4	Instrução de trabalho	3	84	-	-	-	7	4	3	84
Prensagem	Peso da Manta	Peso abaixo do especificado	Aparência Visual fora padrão ou Resistência baixa	8	Falha na sincronia do sistema de alimentação da carda	2	Manutenção Preventiva	5	80	-	-	-	8	2	5	80

Tabela V d - FMEA Priorizado (Fonte: o próprio autor)

Formação da manta	Ajustes do Equipamento	Ajustes incorretos	Aparência Visual fora padrão ou Resistência baixa	8	Operação de ajustes pela Hollingsworth	2	Manutenção Preventiva	5	80	-	-	-	8	2	5	80
Prensagem	Peso da Manta	Peso acima do especificado	Aparência Visual fora padrão ou Resistência baixa	8	Falha na sincronia do sistema de alimentação da carda	2	Manutenção Preventiva	5	80	-	-	-	8	2	5	80
Formação da manta	Taxa da mistura de fibras	Mistura heterogênea e Manta não uniforme	Aparência Visual fora padrão ou Resistência baixa	8	Integridade dos pinos da esteira transportadora	3	Manutenção Preventiva e Inspeção semanal da abridora	3	72	-	-	-	8	3	3	72
Formação da manta	Taxa da mistura de fibras	Mistura heterogênea e Manta não uniforme	Aparência Visual fora padrão ou Resistência baixa	8	Integridade do rolo pinado	3	Manutenção Preventiva e Inspeção semanal da abridora	3	72	-	-	-	8	3	3	72
Prensagem	Peso da Manta	Peso abaixo do especificado	Aparência Visual fora padrão ou Resistência baixa	8	Operação da carda	3	Instrução de Trabalho	3	72	-	-	-	8	3	3	72
Prensagem	Peso da Manta	Peso acima do especificado	Queda de Pressão muito alta	8	Operação da carda	3	Instrução de Trabalho	3	72	-	-	-	8	3	3	72
Prensagem	Uniformidade da Manta	Baixa concentração de fibras em pontos transversais da manta	Aparência Visual fora padrão ou Resistência baixa	8	Guarnições danificadas	3	Manutenção Preventiva e Limpeza semanal da carda	3	72	-	-	-	8	3	3	72
Formação da manta	Tipo de Guarnição	Especificação incorreta da guarnição metálica	Aparência Visual fora do padrão	7	Avaliação incorreta da mistura de fibra para determinar guarnição	1	Não existe controle	10	70	-	-	-	7	1	10	70
Prensagem	Peso da Manta	Peso abaixo do especificado	Aparência Visual fora padrão ou Resistência baixa	8	Falha no pressostato de controle de alimentação	2	Calibração e Aferição	4	64	-	-	-	8	2	4	64
Prensagem	Peso da Manta	Peso abaixo do especificado	Aparência Visual fora padrão ou Resistência baixa	8	Falha do medidor de pressão interno	2	Calibração e Aferição	4	64	-	-	-	8	2	4	64
Formação da manta	Integridade da guarnição	Guarnição danificada	Aparência Visual fora do padrão	8	Desprendimento de peças metálicas da carda.	2	Limpeza semanal	4	64	-	-	-	8	2	4	64
Formação da manta	Integridade da guarnição	Guarnição danificada	Aparência Visual fora do padrão	8	Flats giratórios parados.	2	Sensor de detecção de parada	4	64	-	-	-	8	2	4	64
Prensagem	Uniformidade da Manta	Baixa concentração de fibras em pontos longitudinais da manta	Aparência Visual fora padrão ou Resistência baixa	8	Polimento da tampa inox de proteção de polias	2	Medição do comprimento da manta	4	64	-	-	-	8	2	4	64
Abastecimento Fibras	Pesagem da fibra	Quantidades incorretas de fibras	Resistência baixa ou Queda de Pressão alta	10	Operação	2	Instrução de Trabalho	3	60	-	-	-	10	2	3	60
Formação da manta	Características da fibra	Quantidade alta de Naps	Aparência Visual fora do padrão	7	Atiação das guarnições da carda abridora	7	Processo de limpeza com cardinha	1	49	-	-	-	7	7	1	49
Formação da manta	Taxa da mistura de fibras	Mistura heterogênea e Manta não uniforme	Aparência Visual fora padrão ou Resistência baixa	8	Operação da alimentação	2	Instrução de Trabalho	3	48	-	-	-	8	2	3	48

Tabela V e - FMEA Priorizado (Fonte: o próprio autor)

Prensagem	Peso da Manta	Peso abaixo do especificado	Aparência Visual fora padrão ou Resistência baixa	8	Operação da abridora	2	Instrução de Trabalho	3	48	-	-	-	8	2	3	48
Formação da manta	Integridade da guarnição	Guarnição danificada	Aparência Visual fora do padrão	8	Ineficiência do rolo destacador	2	Manutenção Preventiva e Preditiva	3	48	-	-	-	8	2	3	48
Formação da manta	Características da fibra	Fibra contaminada	Aparência Visual fora do padrão	7	Contaminação da lona de empacotamento	2	Instrução de trabalho	3	42	-	-	-	7	2	3	42
Formação da manta	Características da fibra	Fibra contaminada	Aparência Visual fora do padrão	7	Contaminação no transporte dos fardos de oporosa	2	Instrução de trabalho	3	42	-	-	-	7	2	3	42
Formação da manta	Características da fibra	Fibra contaminada	Aparência Visual fora do padrão	7	Contaminação na armazenagem	2	Instrução de Trabalho	3	42	-	-	-	7	2	3	42
Prensagem	Peso da Manta	Peso abaixo do especificado	Aparência Visual fora padrão ou Resistência baixa	8	Regulagem do conjunto da carda	1	Manutenção Preventiva	5	40	-	-	-	8	1	5	40
Formação da manta	Ajustes do Equipamento	Ajustes incorretos	Aparência Visual fora padrão ou Resistência baixa	8	Padrões errados de ajustes	1	Manutenção Preventiva	5	40	-	-	-	8	1	5	40
Prensagem	Peso da Manta	Peso acima do especificado	Aparência Visual fora padrão ou Resistência baixa	8	Falha do medidor de pressão interno	1	Manutenção Preventiva	5	40	-	-	-	8	1	5	40
Abastecimento Fibra	Pesagem da fibra	Quantidades incorretas de fibras	Resistência baixa ou Queda de Pressão alta	10	Desajuste do sistema de pesagem	1	Procedimento de calibração	4	40	-	-	-	10	1	4	40
Formação da manta	Taxa da mistura de fibras	Mistura heterogênea e Manta não uniforme	Aparência Visual fora padrão ou Resistência baixa	8	Altura do sensor da abridora	1	Standard de Produção e Inspeção	3	24	-	-	-	8	1	3	24

Tabela VI – Comparação do Nível Sigma com Perdas em DPMO e Perdas em %

(Fonte: Rath & Strong, 2001)

Sigma	DPMO	Perda (%)	Sigma	DPMO	Perda (%)
6,0	3,4	0,00034%	3,0	66.807	6,7000%
5,9	5,4	0,00054%	2,9	80.757	8,1000%
5,8	8,5	0,00085%	2,8	96.801	9,7000%
5,7	13	0,0013%	2,7	115.070	11,5000%
5,6	21	0,0021%	2,6	135.666	13,6000%
5,5	32	0,0032%	2,5	158.655	15,9000%
5,4	48	0,0048%	2,4	184.060	18,4000%
5,3	72	0,0072%	2,3	211.855	21,2000%
5,2	108	0,0108%	2,2	241.964	24,2000%
5,1	159	0,0160%	2,1	274.253	27,4000%
5,0	233	0,0230%	2,0	308.537	30,9000%
4,9	337	0,0340%	1,9	344.578	34,5000%
4,8	483	0,0480%	1,8	382.089	38,2000%
4,7	687	0,0690%	1,7	420.740	42,1000%
4,6	968	0,1000%	1,6	460.172	46,0000%
4,5	1.350	0,1300%	1,5	500.000	50,0000%
4,4	1.866	0,1900%	1,4	539.828	54,0000%
4,3	2.555	0,2600%	1,3	579.260	57,9000%
4,2	3.467	0,3500%	1,2	617.911	61,8000%
4,1	4.661	0,4700%	1,1	655.422	65,5000%
4,0	6.210	0,6200%	1,0	691.462	69,1000%
3,9	8.198	0,8200%	0,9	725.747	72,6000%
3,8	10.724	1,1000%	0,8	758.036	75,8000%
3,7	13.903	1,4000%	0,7	788.145	78,8000%
3,6	17.864	1,8000%	0,6	815.940	81,6000%
3,5	22.750	2,3000%	0,5	841.345	84,1000%
3,4	28.716	2,9000%	0,4	864.334	86,4000%
3,3	35.930	3,6000%	0,3	884.930	88,5000%
3,2	44.565	4,5000%	0,2	903.199	90,3000%
3,1	54.799	5,5000%	0,1	919.243	91,9000%

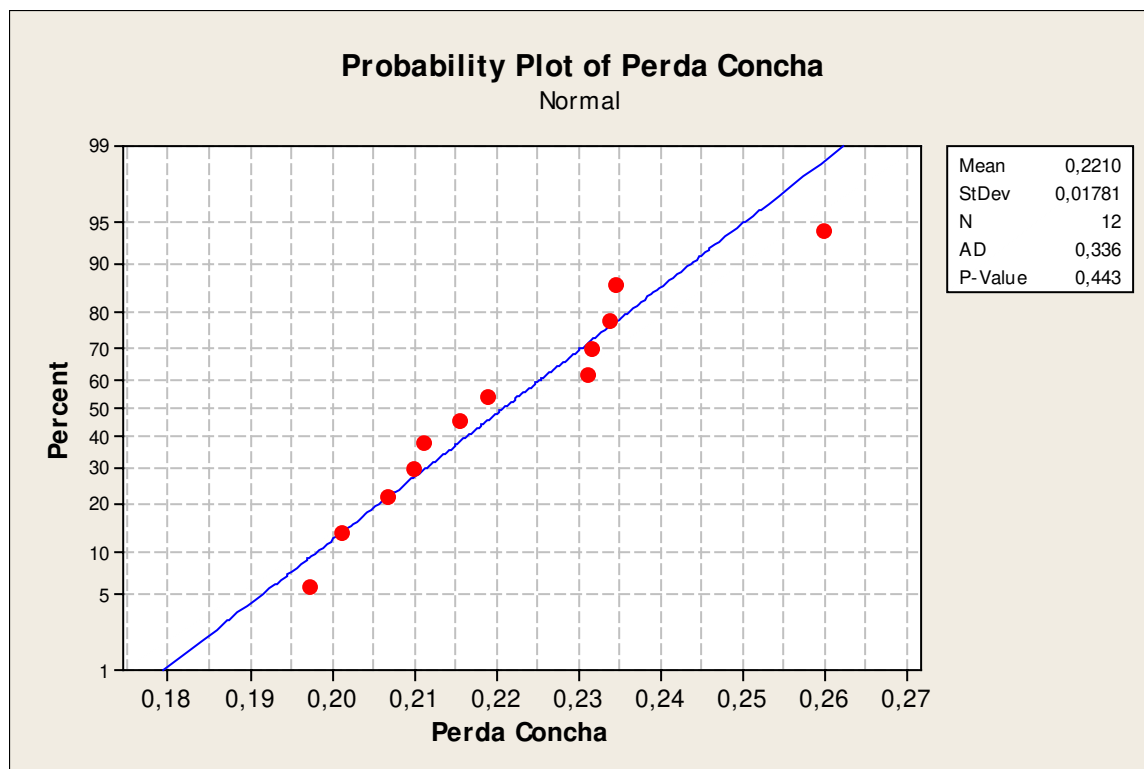


Figura I - Gráfico do Teste de Normalidade da Perda Concha – Inicial (Fonte: o próprio autor)

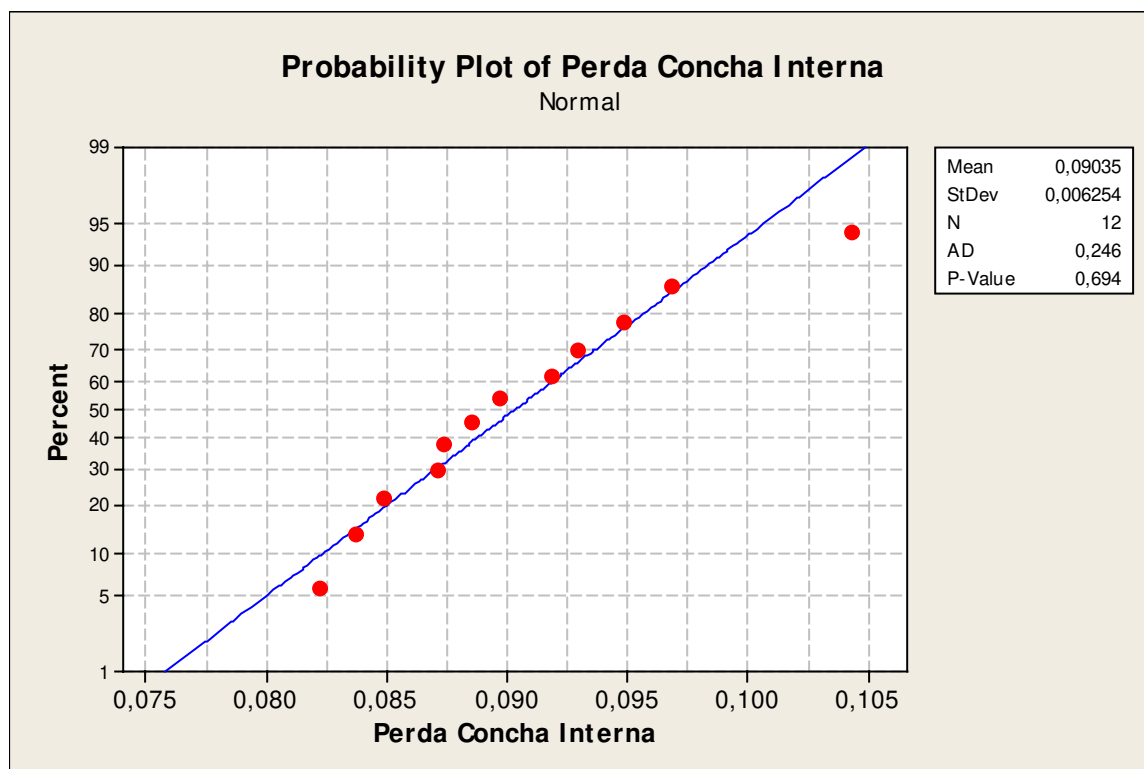


Figura II - Gráfico do Teste de Normalidade da Perda Concha Interna – Inicial (Fonte: o próprio autor)

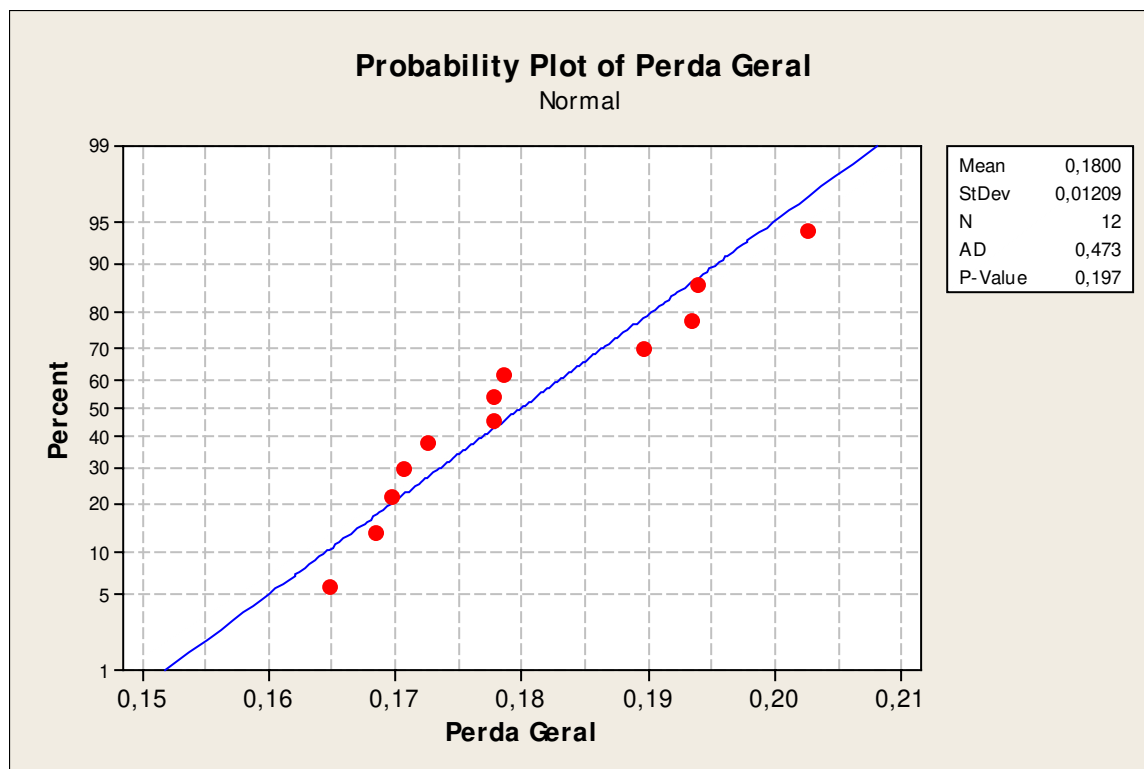


Figura III - Gráfico do Teste de Normalidade da Perda Geral – Inicial (Fonte: o próprio autor)

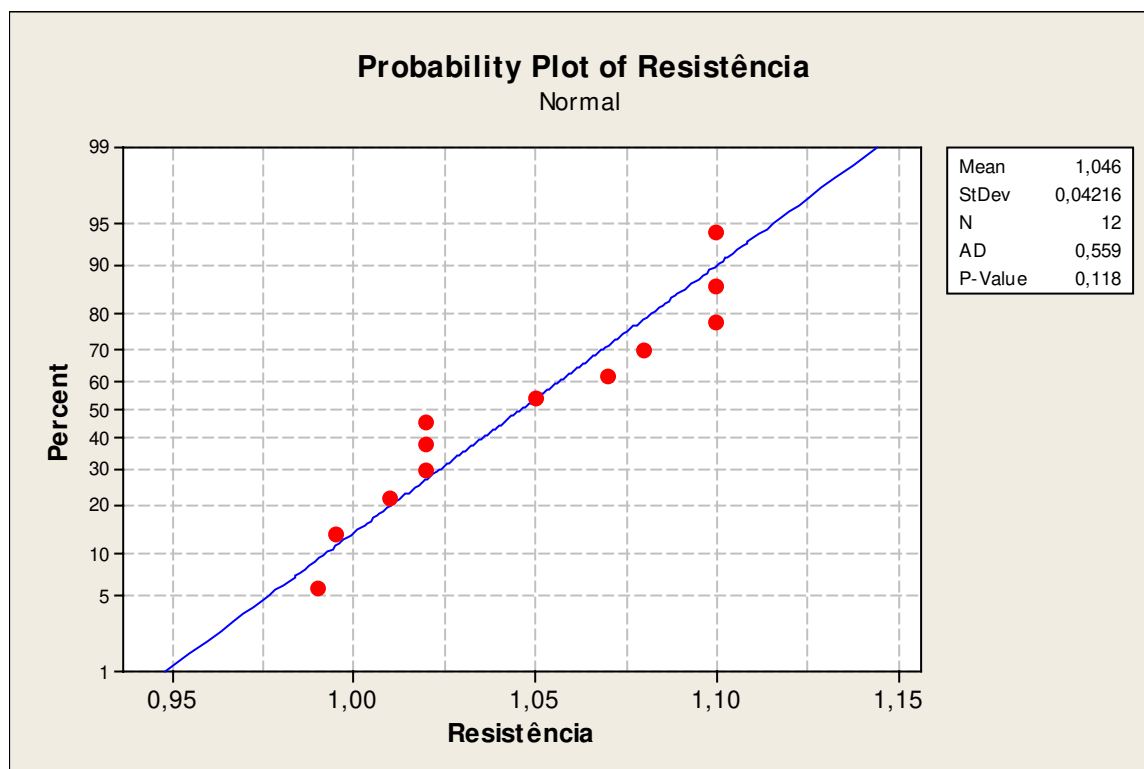


Figura IV - Gráfico do Teste de Normalidade da Resistência – Inicial (Fonte: o próprio autor)

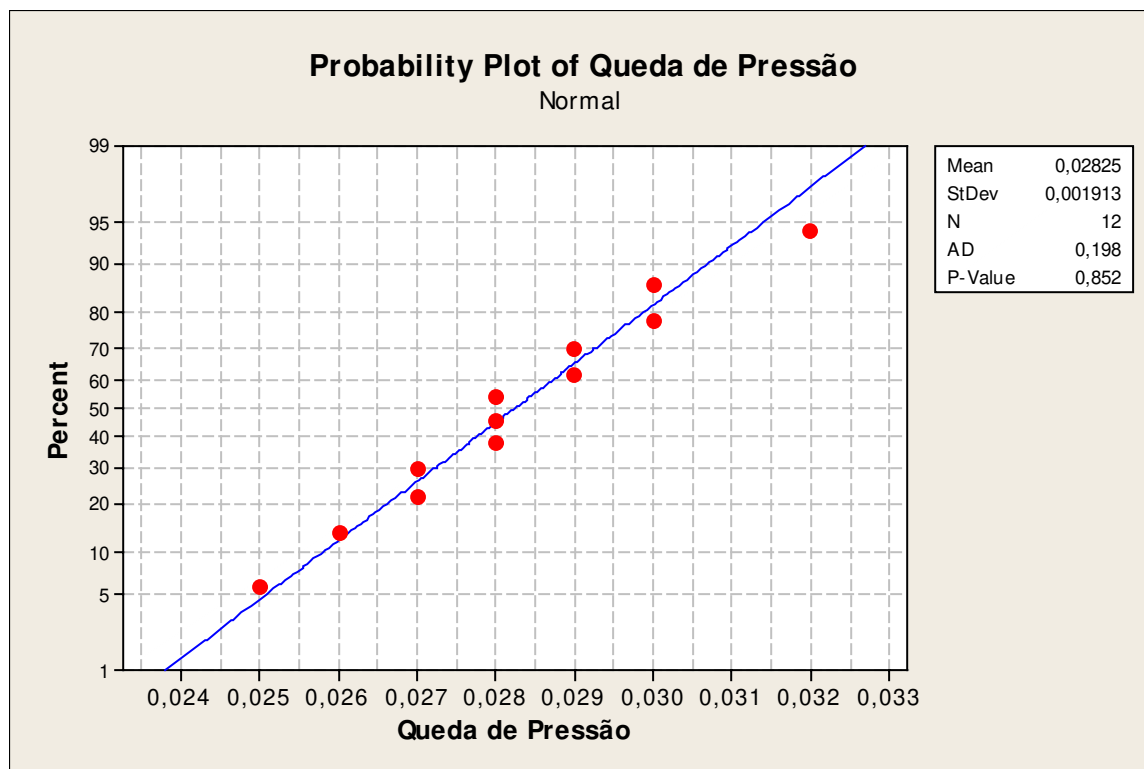


Figura V - Gráfico do Teste de Normalidade da Queda de Pressão – Inicial (Fonte: o próprio autor)

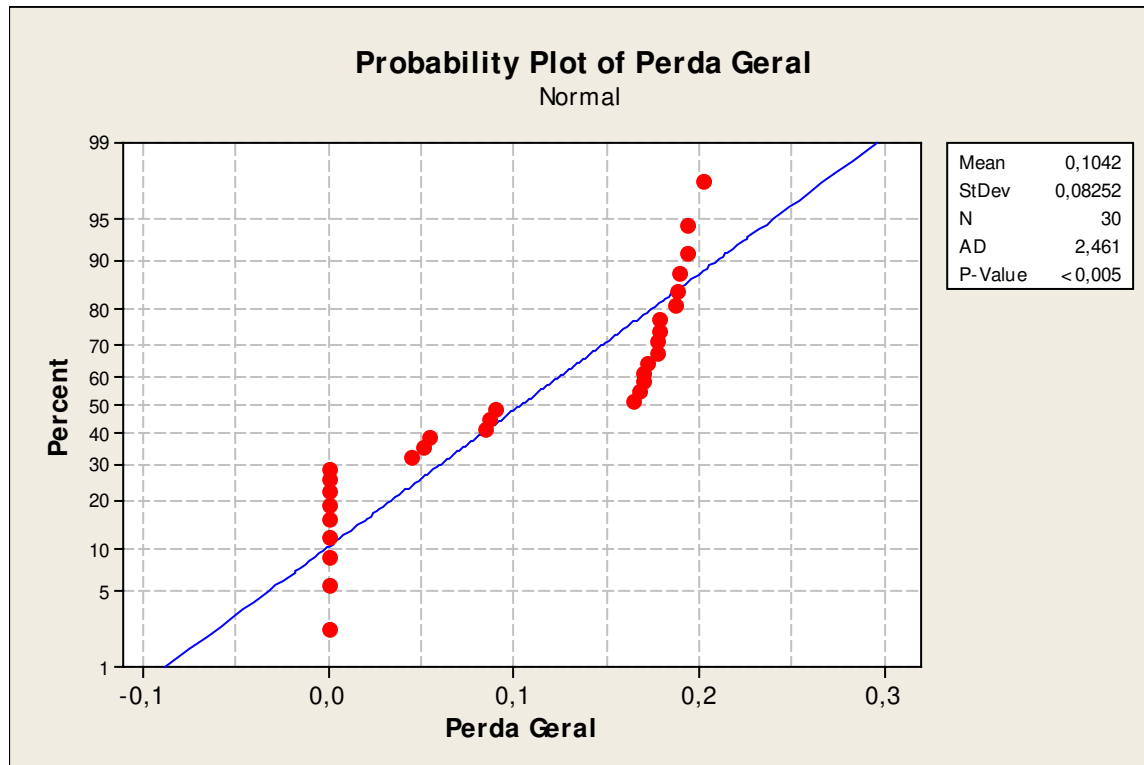


Figura VI - Gráfico do Teste de Normalidade da Perda Geral – Final (Fonte: o próprio autor)

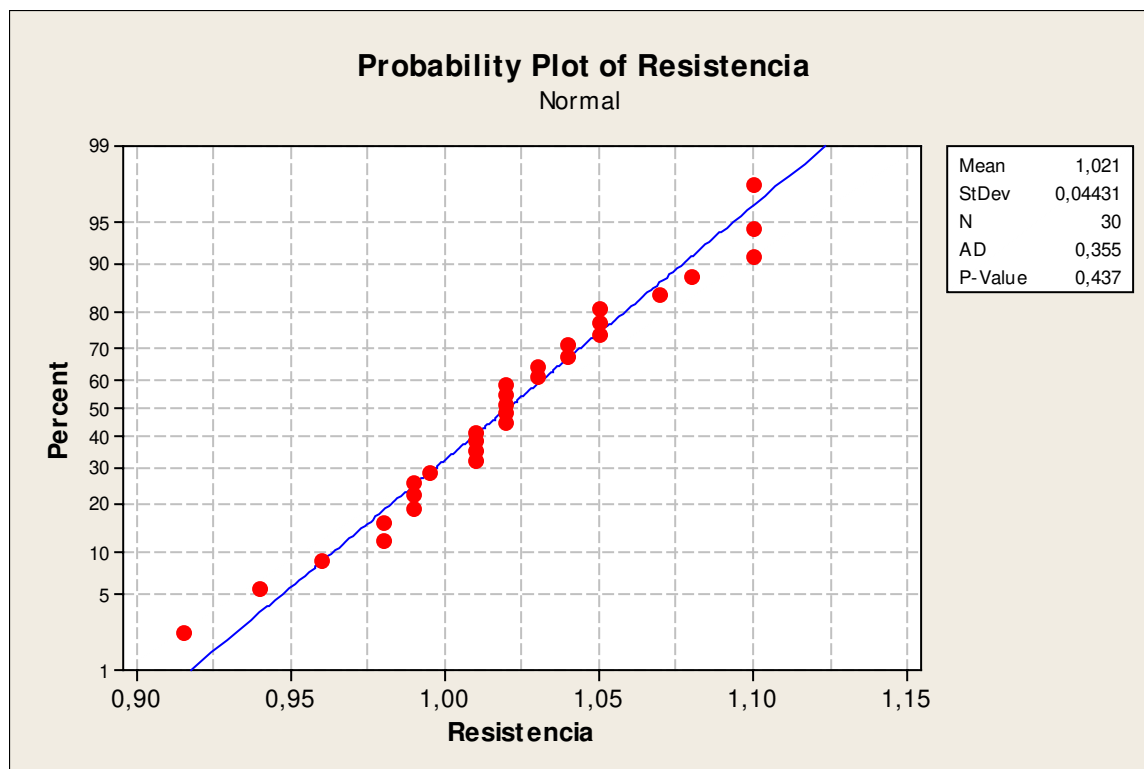


Figura VII - Gráfico do Teste de Normalidade da Resistência – Final (Fonte: o próprio autor)

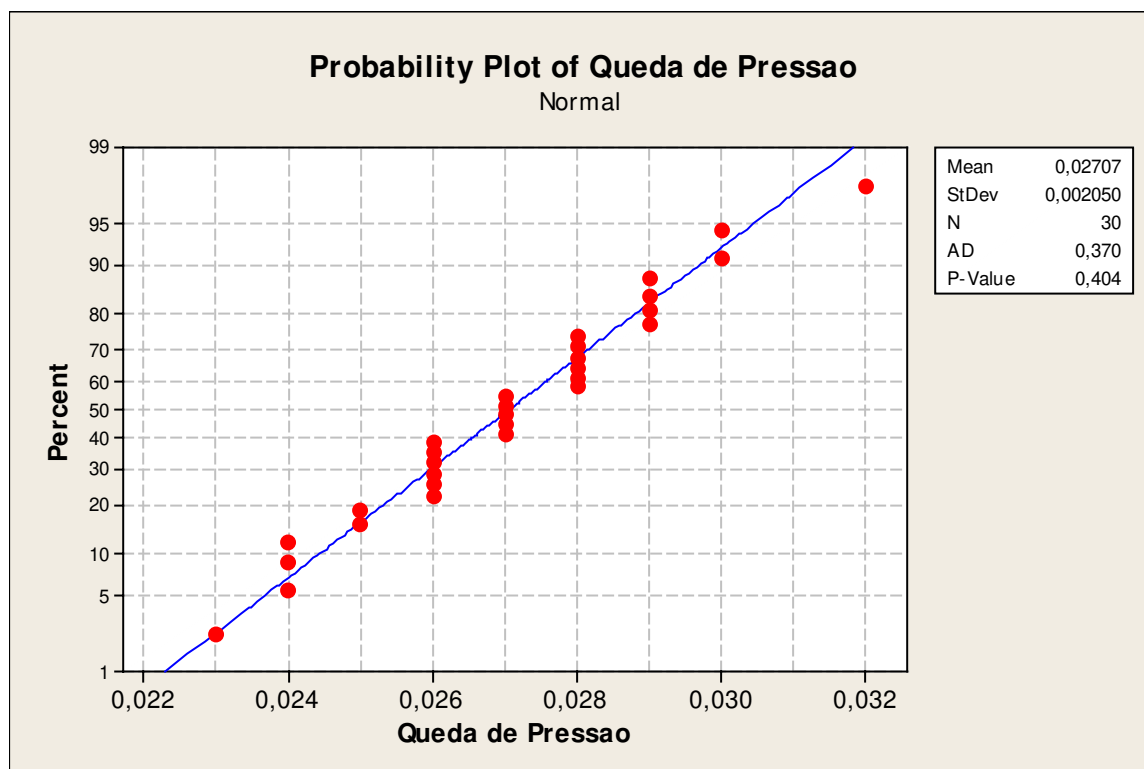


Figura VIII - Gráfico do Teste de Normalidade da Queda de Pressão – Final

Apêndices

Relatório de Calibração							01/02/2004
Código M82612 Descrição: Manômetro Teste de Resistência Norma: PCEI-043 Status: Ativo Frequência: 6 mês							
Data	Frequência	Próxima Calibração	Tipo	Funcionário	Certificado	Lab.	Resultado
21/01/2004	6 meses	21/07/2004	Preventiva	18446	Não aplicável	001	APROVADO

FNE	L.E.T.Inferior	L.E.T.Superior	Unidade	V.I.	Erro	Conformidade
Pressão	-0,025	+0,025	0,500 gf/cm3	0,510	+0,010	Conforme
Pressão	-0,025	+0,025	1,500 gf/cm3	1,510	+0,010	Conforme

Padrão de Referência utilizado: M804354
Validade Calibração externa: até 31/07/2004)

Emitido pelo Departamento de Manutenção - Metrologia
Pag. 1/1

Figura A – Verificação de Calibração de Equipamento – Resistência (Fonte: o próprio autor)

Relatório de Calibração							01/04/2004
Código M29015 Descrição: Manômetro Queda de Pressão Norma: PCEI-043 Status: Ativo Frequência: 3 meses							
Data	Frequência	Próxima Calibração	Tipo	Funcionário	Certificado	Lab.	Resultado
22/03/2004	3 meses	22/06/2004	Preventiva	12353	Não aplicável	001	APROVADO

FNE	L.E.T.Inferior	L.E.T.Superior	Unidade	V.I.	Erro	Conformidade
Escala	-0,001	+0,001	0,025 atm	0,024	-0,001	Conforme
Escala	-0,001	+0,001	0,050 atm	0,050	-0,000	Conforme
Escala	-0,001	+0,001	0,100 atm	0,999	-0,001	Conforme

Padrão de Referência utilizado: M804354
Validade Calibração externa: até 31/07/2004)

Emitido pelo Departamento de Manutenção - Metrologia
Pag. 1/1

Figura B – Verificação de Calibração de Equipamento – Queda de Pressão (Fonte: o próprio autor)

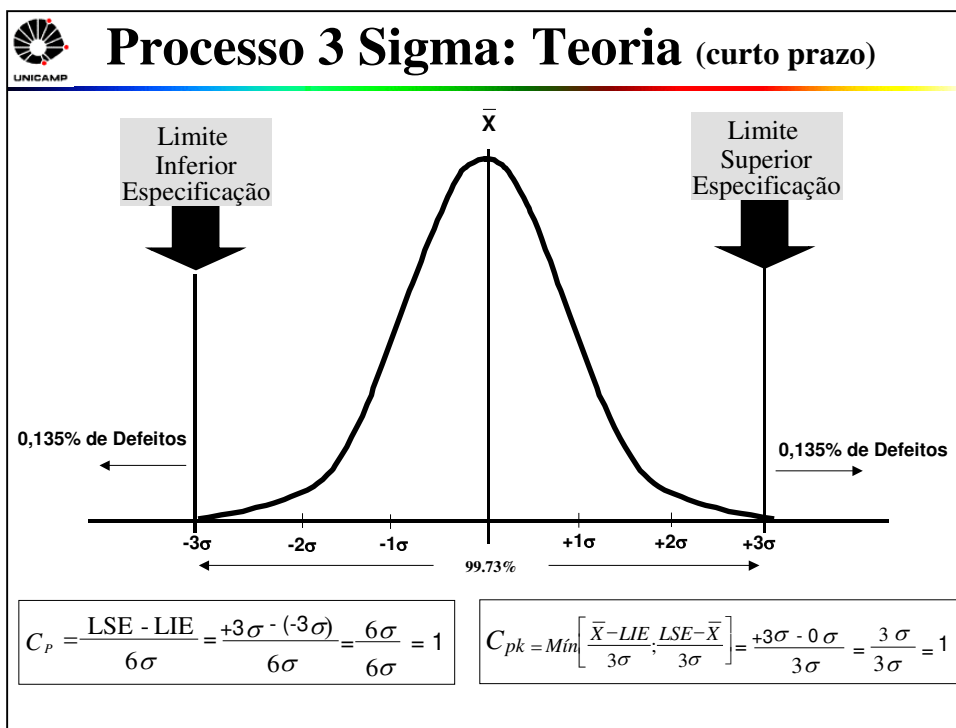


Figura C – Processo 3 Sigma – Teoria: curto prazo ou centralizado (Fonte: o próprio autor)

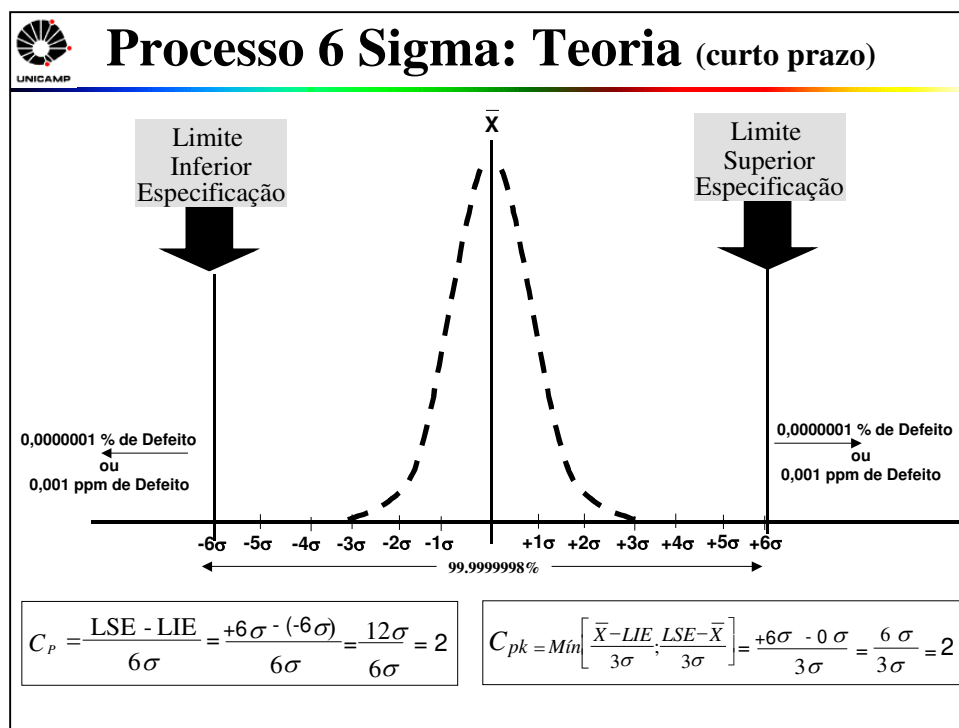


Figura D – Processo 6 Sigma – Teoria: curto prazo ou centralizado (Fonte: o próprio autor)