

UNIVERSIDADE FEDERAL DA GRANDE DOURADOS – UFGD
ENGENHARIA DE PRODUÇÃO

CARLOS ALEXANDER LUCAS SERVIN

APLICAÇÃO DA METODOLOGIA DMAIC PARA A REDUÇÃO DE
PERDAS POR PARADAS NÃO PROGRAMADAS EM UMA INDÚSTRIA
MOAGEIRA DE TRIGO

DOURADOS-MS

2011

CARLOS ALEXANDER LUCAS SERVIN

APLICAÇÃO DA METODOLOGIA DMAIC PARA A REDUÇÃO DE
PERDAS POR PARADAS NÃO PROGRAMADAS EM UMA INDÚSTRIA
MOAGEIRA DE TRIGO

Trabalho de conclusão de curso apresentado ao curso de Engenharia de Produção da Universidade Federal da Grande Dourados como requisito para obtenção do título de Engenheiro de Produção.

Orientador: Professor Dr. Luciano Costa Santos.

DOURADOS-MS

2011

CARLOS ALEXANDER LUCAS SERVIN

**APLICAÇÃO DA METODOLOGIA DMAIC PARA REDUÇÃO DE
PERDAS POR PARADAS NÃO PROGRAMADAS EM UMA
INDÚSTRIA MOAGEIRA DE TRIGO**

Este trabalho de graduação foi julgado e aprovado para a obtenção do grau de Engenheiro de Produção conferido pelo Curso de Graduação em Engenharia de Produção da Universidade Federal da Grande Dourados.

Dourados/MS, 13 de junho de 2011.

BANCA EXAMINADORA

.....
Prof. Luciano Costa Santos

.....
Prof. Walter Roberto Hernandez Vergara

.....
Prof. Jorge da Silva Rodrigues Júnior

RESUMO

Este trabalho alvitra um modelo esteado na metodologia DMAIC para acolitar uma indústria moageira de trigo a mitigar as perdas de produção provenientes de paradas não programadas do seu processo de moagem. Partindo da premissa de que as organizações necessitam melhorar ininterruptamente para se posicionarem de maneira expressiva no mercado, foi identificado na literatura um conjunto de programas de qualidade, que evoluíram com o desenvolvimento tecnológico e estratégico das organizações, a fim de conduzir seus sistemas produtivos a um processo de melhoria contínua. Dentre estes processos existentes, a metodologia DMAIC, originada no programa Seis Sigma de qualidade, foi escolhida como parâmetro para a elaboração de um método que busca oferecer resultados para a indústria estudada. Este método proposto é desdobrado em cinco etapas, como apresenta a metodologia de melhoria contínua: Definir (identificar o problema global do processo), Medir (mensurar os problemas específicos do processo), Analisar (avaliar os dados, entender os problemas e identificar as causas-raízes), Melhorar (elaborar e aplicar um plano de ação à partir das causas-raízes) e Controlar (estabelecer indicadores para controlar os resultados). Tais procedimentos foram aplicados no processo de moagem de uma indústria moageira de trigo, seguindo os princípios de uma pesquisa-ação. Os resultados desse implemento, além de cumprirem a finalidade de elaborar um método para auxiliar a indústria a registrar, controlar e reduzir as paradas não programadas de seu processo, também contribuíram para consolidar a metodologia aplicada como um projeto flexível, analítico e acessível às necessidades da organização.

Palavras-chave: melhoria contínua, processos produtivos, DMAIC, Seis Sigma.

LISTA DE FIGURAS

FIGURA 2.1: Diagrama de SIPOC	40
FIGURA 2.2: Diagrama de Ishikawa	47
FIGURA 2.3: Formulário básico – FMEA	48
FIGURA 3.1: Fluxograma do método proposto	53
FIGURA 3.2: Definir	53
FIGURA 3.3: Medir	55
FIGURA 3.4: Analisar	61
FIGURA 3.5: Melhorar	62
FIGURA 4.1: Fluxograma de produção de farinha de trigo e escopo da aplicação da metodologia	69
FIGURA 4.2: Fluxograma geral do processo de moagem	70
FIGURA 4.3: Gráfico de paradas não programadas de moagem por área executante do mês de Março	74
FIGURA 4.4: Gráfico de falhas operacionais do mês de Março	75
FIGURA 4.5: Gráfico de paradas não programadas por equipamento - área elétrica – março	76
FIGURA 4.6: Gráfico de falhas da balança do mês de Março	77
FIGURA 4.7: Diagrama de Ishikawa – março	78
FIGURA 4.8: Gráfico de paradas não programadas de moagem por área executante do mês de abril	79
FIGURA 4.9: Gráfico de paradas não programadas por equipamento - área mecânica – abril	80
FIGURA 4.10: Gráfico de falhas no banco de cilindro do mês de abril	81
FIGURA 4.11: Gráfico de falhas no banco de esclusas do mês de Abril	81
FIGURA 4.12: Diagrama de Ishikawa – abril	82

LISTA DE TABELAS

Tabela 4.1: Paradas não programadas do mês de Março/2011.....	71
Tabela 4.2: Paradas não programadas do mês de Abril/2011.....	71
Tabela 4.4: Capacidade produtiva do moinho	72
Tabela 4.5: Indicadores de controle de moagem	85

LISTA DE QUADROS

Quadro 2.1: Forças e fraquezas de alguns gurus da qualidade	20
Quadro 2.2: Custos da Qualidade	24
Quadro 2.3: Definições Seis Sigma	27
Quadro 3.1: Quadro para a estruturação do painel de indicadores	64
Quadro 3.2: Elementos constituintes do painel de indicadores	65
Quadro 4.1: Falhas dos meses de março e abril	72
Quadro 4.2: Mensuração dos indicadores nos meses de março e abril	73
Quadro 4.3: Análise dos Cinco Porquês – março	79
Quadro 4.4: Análise dos Cinco Porquês – abril.....	83
Quadro 4.5: Plano de ação das causas dos problemas dos meses de março e abril.....	84
Quadro 5.1: Objetivos específicos x Resultados	88

LISTA DE ABREVIACÕES E SIGLAS

SS – Seis Sigma

DMAIC – *Define, Measure, Analyze, Improve, Control*

6 σ – Desempenho Seis Sigma ou seis desvios-padrões

ppm – Partes Por Milhão

TQM – *Total Quality Management*

PDCA - *Plan, Do, Check, Act*

CEP – Controle Estatístico de Processos

DPMO – *Defects per million opportunities*

GPN – Gestão de Processo de Negócios

CTQ - *Critical to Quality*

SIPOC – *Supplier, Input, Process, Output, Customer*

VOC - Voz do Cliente

QFD - *Quality Function Deployment*

MAS - Análise do Sistema de Medição

FMEA - *Failure Mode and Effect Analysis*

DOE - *Design Of Experiments*

ANOVA - Análise de Variância

5W2H - *What, Who, When, Why, Where, How, How much*

FEPSC - Fornecedor, Entrada, Processo, Saídas, Clientes

x-barra - Média

R – Amplitude

s – Desvio-padrão

p - Fração defeituosa

np - Número de defeituosos na amostra

c - Número de defeitos na amostra

u - Número de defeitos por unidade de inspeção

LSC - Limite Superior de controle

LIC - Limite Inferior de controle

A₂ - Constante que depende do tamanho da amostra

6 M's - mão-de-obra, máquinas, métodos, materiais, meio ambiente e medida

NPR - Número de prioridade de risco

TF – Taxa de Falhas

TMEF – Tempo Médio Entre Falhas

TMDR – Tempo Médio de Reparo

D – Disponibilidade

OEE – *Overall Equipment Effectiveness*

h – Horas

ton – Toneladas

ton/h – Toneladas por hora

PCM - Planejamento e Controle de Manutenção

T3 – Cilindro de trituração número três

T1/T2 – Cilindros de trituração número um e dois conjugados

CLP – Controlador Lógico Programável

IT – Instrução de Trabalho

SUMÁRIO

1. INTRODUÇÃO	11
1.1. Definição do problema	11
1.2. Objetivos.....	13
1.2.1. Objetivos Gerais.....	13
1.2.2. Objetivos Específicos.....	13
1.3. Justificativa	14
1.4. Delimitação do trabalho.....	15
1.5. Estrutura do trabalho.....	16
2. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA	17
2.1. Qualidade.....	17
2.1.1. Conceitos da qualidade.....	17
2.1.2. Evolução da qualidade	19
2.1.3. Gestão da Qualidade Total (TQM – Total Quality Management)	19
2.2. Seis Sigma	25
2.2.1. Histórico.....	25
2.2.2. Definições	26
2.2.3. DMAIC – metodologia Seis Sigma.....	30
2.3. Descrição das ferramentas da metodologia DMAIC	37
2.3.1. Ferramentas da qualidade.....	38
2.3.2. Ferramentas Seis Sigma	39
2.4. Considerações finais	49
3. PROCEDIMENTOS METODOLÓGICOS.....	50
3.1. Classificação da pesquisa	50
3.2. Coleta e análise de dados.....	51
3.3. Metodologia proposta	52
3.3.1. DEFINIR – Identificando o problema.....	53
3.3.2. MEDIR – Mensurando o problema através da coleta de dados	55
3.3.3. ANALISAR - Analisando o processo e os dados coletados para identificação das causas raízes	61
3.3.4. MELHORAR – Elaboração e aplicação de um plano de ação.....	62
3.3.5. CONTROLAR – Estabelecendo indicadores de desempenho	64
3.4. Limitação do método	65
3.5. Considerações finais	66

4. APLICAÇÃO DO MÉTODO	67
4.1. Descrição da organização	67
4.2. DEFINIR	68
4.2.1. Definição do problema	68
4.2.2. Escopo geral	68
4.2.3. Mapa do processo	69
4.3. MEDIR	70
4.3.1. O que medir?	70
4.3.2. Mensuração dos dados	71
4.4. ANALISAR	73
4.4.1. Análise do problema – Março	73
4.4.2. Análise da raiz do problema – Março	77
4.4.3. Análise do problema – Abril	79
4.4.4. Análise da raiz do problema – Abril	82
4.5. MELHORAR	83
4.6. CONTROLAR	85
4.7. Considerações finais	86
5. CONCLUSÃO	87
5.1. Atendimento aos objetivos	87
5.2. Recomendações para futuros trabalhos	90
REFERÊNCIAS	93

1. INTRODUÇÃO

O crescimento dos negócios de uma empresa é o que a faz sobreviver e, há alguns anos, tal crescimento é dependente da satisfação proporcionada aos seus clientes que, desde a década de 1970, se tornaram a base e o alvo de grande parte das empresas existentes no mercado. Durante a ascensão da produção em massa, era aceito o que se produzia, por falta de alternativa, mas hoje, o mercado cresceu, e dia-após-dia o número de empresas dentro da disputa econômica cresce rapidamente, dando força ao cliente que pode se tornar mais exigente, fazendo com que as organizações se adaptem aos seus gostos. Dessa forma, surge o conceito de que a vantagem competitiva é conquistada pela empresa que consegue obter maior grau de satisfação dos seus clientes. Eckes (2001) afirma que as empresas que conseguem ofertar produtos e serviços de qualidade sempre irão vencer a concorrência. Com este objetivo, elas têm investido tempo, dinheiro e atenção para encontrar formas e técnicas que venham aprimorar a eficácia de seus processos e a qualidade de seus produtos e serviços.

A presença da qualidade em uma organização é vista hoje como um requisito fundamental para se alcançar o crescimento nos negócios e, por isto, a busca pela mesma deve, e tem se tornado maior a cada dia. Neste intuito, o conceito de qualidade, as suas técnicas e respectivas aplicabilidades, passaram a ganhar espaço na indústria. Segundo Carvalho (2005), a qualidade passou por uma evolução, iniciando-se com a Inspeção, aprimorando-se para o Controle Estatístico do Processo, melhorando para a Garantia da Qualidade e evoluindo para a Gestão da Qualidade Total. Toda esta evolução representa a preocupação que as empresas tem tido para se manterem ativas num mercado totalmente instável.

1.1. Definição do Problema

Atualmente, as organizações estão utilizando quase que predominantemente a gestão da qualidade com o foco nos resultados, como: diminuição de custos, vantagem competitiva, produtividade, eficiência e utilização da capacidade produtiva, otimização de equipamentos e lucratividade. Isto faz com que os programas provenientes da evolução da qualidade sejam procurados e usados para auxiliar na obtenção destes objetivos. Neste ambiente, nasce e se desenvolve um programa de melhoria que atua eliminando defeitos, reduzindo custos, aumentando produtividade, satisfazendo os clientes e gerando maiores lucros: a metodologia Seis Sigma (SS).

A Metodologia Seis Sigma de Qualidade não é algo experimental e nem algo absolutamente novo, mais do que uma medida quantitativa de processos, é uma nova maneira de abordar o negócio e o valor do cliente, mas com todas as suas bases nos sistemas de qualidade anteriores. De acordo com Pande, Neuman e Cavanagh (2001), o método SS é uma forma de medir processos, uma meta de qualidade superior, uma abordagem para mudar a cultura de uma organização e um sistema amplo e abrangente para a construção e a sustentação de desempenho do sucesso e da liderança em negócios.

Este programa de qualidade foi desenvolvido pela empresa Motorola no final da década de 80, com o intuito de oferecer uma meta clara sobre melhoria e, também, de auxiliar o desenvolvimento de mudanças em um ambiente extremamente competitivo. O gerenciamento, o conceito e as ferramentas do SS evoluíram e alargaram-se ao longo dos anos, e isto tem auxiliado no restabelecimento do interesse e na multiplicação dos esforços de melhoria de processos e de qualidade nas empresas (ECKES, 2001, CHASE; JACOBS; AQUILANO, 2006, PANDE; NEUMAN; CAVANAGH, 2001).

Entendendo que o objetivo central da metodologia do Seis Sigma é melhorar a qualidade dos processos produtivos e/ou do produto final, ela utiliza um procedimento de melhoria contínua chamado ciclo DMAIC (*define, measure, analyze, improve, control*) para aprimorar os sistemas organizacionais de uma forma geral. Este ciclo é baseado no conceito de melhoria contínua estabelecido pela abordagem just-in-time de produção, que surgiu com a palavra japonesa *kaisen*, e hoje representa o investimento que as organizações têm feito para obterem processos perfeitos. Sendo assim, este trabalho utilizou este processo de melhoria para trazer novas ideias e até grandes inovações no processo de moagem em uma indústria moageira de trigo. O método foi aplicado através da identificação de problemas e implementação de melhorias na indústria, com o intuito de eliminar, reduzir ou neutralizar as perdas de produção ocasionadas por falhas nos processos produtivos.

Em relação à organização, a indústria faz parte de uma multinacional que é uma das líderes mundiais na industrialização e na exportação de *commodities*. A organização é hoje uma das produtoras de trigo que mais vem crescendo no Brasil, no qual possui 7 moinhos em todo o território brasileiro com capacidade nominal total de aproximadamente 1.324.800 toneladas por ano. A organização tem sua sede na cidade de São Paulo (SP), com filiais no nordeste, norte, sul, sudeste e centro-oeste do país.

A filial no qual o estudo foi realizado está situada no estado do Mato Grosso do Sul, na cidade de Dourados. Ela foi projetada para uma capacidade nominal de 300 toneladas por dia, e tem desenvolvido trabalhos para melhorar sua produtividade, como por exemplo, o controle

de perdas por paradas não programadas. Este controle acontece diariamente, no qual as paradas são *inputadas* em planilhas de controles, para que ao final de cada semana seja realizado um diagnóstico da situação produtiva do moinho. Este diagnóstico serve como esteio para a realização de análises de falhas nas paradas mais significativas para a indústria.

Conhecendo e utilizando esta necessidade da indústria, o atual trabalho auxiliou na elaboração de um método, baseado no ciclo de melhoria DMAIC, para executar este diagnóstico semanal e para controlar a eficiência do moinho através de indicadores de desempenho e como já dito antes, a organização é hoje uma das maiores do ramo no estado do Mato Grosso do Sul, portanto, ela tem a necessidade de se adequar ao mercado e acompanhar o desenvolvimento de organizações que são líderes em moagem de trigo no Brasil. Esta melhoria, segundo o projeto DMAIC, pode ocorrer nos processos de produção da indústria.

A melhoria dos processos é, na atualidade, um dos maiores passos rumo ao diferencial competitivo que uma organização pode alcançar. Segundo Eckes (2001), um processo é definido como uma série de etapas e atividades de entrada que agregam valor e se transformam em um resultado. Portanto, dominar processos não é apenas um mal necessário, mas, é na verdade, uma forma de construir vantagens competitivas no oferecimento de valor para os clientes (PANDE; NEUMAN; CAVANAGH, 2001).

Este projeto tem como alvo principal o aprimoramento de processos de produção classificados como críticos. Com base nisso, o presente trabalho propõe para a indústria moageira de trigo melhorias para o processo de moagem que foi identificado e escolhido pela organização como o foco da implantação.

Assim sendo, apresenta-se a seguinte pergunta do trabalho, formulada na tentativa de descrever o direcionamento do problema:

Como reduzir as perdas por paradas não programadas em uma indústria moageira de trigo, mediante o uso da metodologia DMAIC?

1.2. Objetivos

1.2.1. Objetivo geral

Desenvolver e aplicar uma metodologia baseada na estrutura DMAIC de melhoria contínua para auxiliar na redução de perdas por paradas não programadas em uma indústria moageira de trigo.

1.2.2. Objetivos específicos

- Identificar os problemas globais que comprometem a eficiência e a capacidade produtiva do processo de moagem de uma indústria moageira de trigo.
- Medir o desempenho atual dos processos.
- Identificar os problemas específicos e validar suas causas-raízes.
- Desenvolver e propor soluções para eliminar as causas-raízes.
- Estabelecer medidas-padrão para controlar o desempenho.

1.3. Justificativa

O projeto DMAIC é um renascimento robusto dos ideais e métodos da qualidade e tem se revelado como um potencial aliado para o sucesso que excede os níveis de melhoria alcançados através de muitos esforços da qualidade total.

Conforme o sucesso de diversas empresas que adotaram este projeto, através do programa Seis Sigma, para investir no desenvolvimento de seus negócios, pode-se citar algumas que foram bem-sucedidas, tais como, Motorola, General Eletric, AlliedSigna, Cisco Systems, Black & Decker, Federal Express, Johnson & Johnson, Sony, Toshiba e muitas outras (PANDE; NEUMAN; CAVANAGH, 2001). Partindo do sucesso destas empresas, é possível descrever vários benefícios pela utilização desta metodologia, tanto para a melhoria de processos já existentes na organização quanto para a criação de novos processos (ECKES, 2001).

Conforme Pande, Neuman e Cavanagh (2001), os benefícios que o programa pode oferecer através do ciclo DMAIC são os seguintes:

- Gerar o sucesso sustentado, pois o ciclo de melhoria cria habilidades e cultura necessárias para um revigoramento constante.
- Intensificar o valor para o cliente, pelo fato das empresas aprenderem o que significa valor para os clientes e procurarem planejar como oferecer isto a eles obtendo lucros.
- Acelerar a taxa de melhorias através de ferramentas utilizadas para aprimorar o desempenho da organização.
- Promover aprendizagem por meio do compartilhamento de ideias.

- Executar mudanças estratégicas, pois o entendimento dos processos e procedimentos da organização pode proporcionar maior capacidade para realização de ajustes tanto menores como grandes mudanças no negócio.

Estes benefícios têm atraído várias empresas às ferramentas deste projeto de qualidade. Algumas aderem plenamente ao programa, outras apenas se interessam por ele e o utilizam de forma parcial, enquadrando o processo de melhoria DMAIC às suas necessidades. O atual estudo esteve focado nesta última abordagem. O método de melhoria foi utilizado para identificar problemas, suas causas-raízes e com base nestas, propor soluções que busquem reduzir, amenizar ou até eliminar estas causas. O programa Seis Sigma não foi implantado na organização, o trabalho utilizou o ciclo de melhoria apenas para mitigar perdas por paradas não-programadas no processo de moagem de trigo.

1.4. Delimitação do trabalho

A presente pesquisa baseia-se na metodologia DMAIC de qualidade que foi utilizada para análise e melhoria de um processo crítico identificado junto à gerência, supervisão e colaboradores da indústria. Dentro da metodologia foram aplicadas diversas ferramentas durante o processo de melhoria contínua. Contudo não foi contemplada a implantação do programa Seis Sigma, ou seja, após o término dessa pesquisa a empresa não poderá ser considerada como praticante de tal atividade. Segundo Pande, Neuman e Cavanagh (2001), uma Organização Seis Sigma, deve ser uma que se responsabilize com a ação de mensurar e aprimorar todos os processos, com o objetivo de criar uma cultura de contínua renovação. Este projeto aborda a implantação de um programa de melhoria baseado neste programa de qualidade, mas que ainda não se propõe a atingir o ideal de capacidade de processo do mesmo.

Outra limitação do estudo é quanto à utilização das ferramentas da qualidade. No capítulo 2 serão descritas diversas ferramentas que o programa Seis Sigma emprega no processo DMAIC, e que foram identificados na literatura. No entanto, foram utilizadas apenas aquelas ferramentas que se enquadraram nos dados coletados na indústria, conforme é demonstrado pelo método proposto no terceiro capítulo.

Este estudo também se limitou quanto aos processos de produção, no caso da indústria moageira de trigo, apenas ao processo de moagem. A pesquisa não contemplará os processos

de recebimento de trigo, análise de trigo, descarga de trigo, 1ª limpeza, descanso, 2ª limpeza, análise de farinha, transilagem, envase e armazenamento de farinha e de farelo.

O tempo destinado à coleta de dados também é outra limitação deste trabalho, pois para um excelente andamento do método, a disponibilidade de tempo é crucial para a obtenção de dados e informações concretas e verdadeiras. Serão utilizados apenas dois meses para a coleta de dados, sendo insuficientes para ampliar o escopo deste projeto, o qual será limitado apenas ao processo de moagem. Se houver interesse pela organização ou o autor achar necessário, após a conclusão desta pesquisa, a aplicação do ciclo DMAIC poderá ser realizada em outra oportunidade, abrangendo os demais setores da indústria, ou até sendo usada como base para uma futura implantação plena do método de melhoria contínua nos processos produtivos da organização.

1.5. Estrutura do trabalho

Este trabalho encontra-se estruturado em cinco capítulos, distribuídos em uma parte introdutória, revisão bibliográfica, procedimentos metodológicos, aplicação do método e conclusões.

No capítulo um procura-se dar uma visão geral do tema que foi tratado, a definição do problema, os objetivos e a justificativa do estudo. Ele também apresenta a delimitação e a estrutura geral da pesquisa.

O segundo capítulo contém a revisão de literatura obtida por meio de leituras, sínteses e construção dos conceitos que objetivam dar suporte ao direcionamento do projeto. Nele são abordados os temas Qualidade, com o foco na melhoria, Evolução da Qualidade e Gestão da Qualidade Total (TQM). Ainda, neste capítulo, são definidos os conceitos do Seis Sigma e quais ferramentas este programa possui, mediante aplicação do ciclo DMAIC de melhoria contínua.

O próximo capítulo descreve o procedimento metodológico que foi proposto pelo estudo. Neste mesmo capítulo, são apresentadas a classificação da pesquisa, a unidade e análise de amostra, a coleta e análise de dados, o método utilizado pelo autor e as limitações do método.

O quarto capítulo refere-se à apresentação e análise dos resultados, no qual é descrito o que foi observado e desenvolvido na prática, com base no método proposto. Finalmente, o último capítulo contempla as conclusões e as recomendações para futuros trabalhos.

2. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

Os conceitos, a evolução e a gestão da qualidade serão, aqui, introduzidos para contextualizar o desenvolvimento do programa Seis Sigma de Qualidade. Em seguida, serão apresentados o histórico, a definição e os métodos de aplicação da metodologia do mesmo, com o objetivo de explicar a sua utilização para este trabalho. Por fim, será descrito os passos do ciclo DMAIC e as ferramentas da qualidade que auxiliarão sua aplicação.

2.1. Qualidade

Nesta seção serão abordados os conceitos e a evolução da qualidade, explanando como os chamados “gurus da qualidade” contribuíram para a consolidação da qualidade como uma metodologia de suma importância para as organizações de qualquer estirpe. Ela também abordará a definição, o objetivo as forças e as fraquezas do programa Gestão da Qualidade Total (TQM), descrevendo os custos da qualidade e o ciclo PDCA (*plan, do, check, act*), como base do processo de melhoria contínua do TQM.

2.1.1. Conceitos da qualidade

Conforme Martins e Laugeni (2006), o conceito de qualidade se torna importante em 1970, com o renascimento da indústria japonesa, ao seguir os preceitos do consultor americano W. E. Deming. Ele fez da “qualidade uma arma para a vantagem competitiva” (MARTINS; LAUGENI, 2006, p. 498).

Para Slack *et al.* (1997), qualidade é “fazer certo as coisas”, no entanto o que a produção precisa fazer certo irá variar de acordo com o tipo de operação realizada. Os autores dizem que qualidade em um hospital, por exemplo, significa assegurar que os pacientes recebam o tratamento adequado, obtenham os medicamentos apropriados e sejam informados do que está acontecendo. Já em uma fábrica de automóveis, qualidade significa fabricar carros em conformidade com as especificações e que apresentem confiabilidade, sendo atraentes visualmente, sem manchas ou riscos. Em uma empresa de ônibus urbanos, qualidade significa horários rigorosos, número de frotas úteis, funcionários corteses e solícitos. Para um supermercado, qualidade significa possuir produtos na prateleira em boas condições, manter o ambiente sempre limpo e ter um layout claro e acessível ao consumidor.

Slack *et al.* (1997) também afirmam que a qualidade pode gerar dois benefícios para as organizações. O primeiro é a redução de custos, pois quanto menor for a quantidade de falhas em cada operação ou processo, menos tempo será dedicado à correção, que é um fator gerador de altos custos. O segundo benefício é o aumento da confiabilidade. Um processo que raramente apresenta erros, poderá se concentrar em aperfeiçoar todos os setores e dessa forma satisfazer plenamente seus clientes.

Paladini (2005) diz que qualidade é um conjunto de atributos ou componentes que fazem parte do produto ou do serviço. Segundo Corrêa e Corrêa (2006), a qualidade há muito tempo é aplicada como arma estratégica na aquisição de mercados. Garvin (1984) mostrou que o conceito de qualidade sofre modificações simultâneas às atividades de concepção, projeto, fabricação e comercialização do produto. Com isto, Garvin (1984) propôs cinco definições de qualidade que ele considera relevantes por estarem intimamente ligadas ao produto.

- **Transcendental:** é uma definição onde qualidade é entendida como sendo constituída de padrões “elevadíssimos”, reconhecidos universalmente;
- **Baseada no Produto:** a qualidade é definida como sendo composta de variáveis e atributos mensuráveis e controlados;
- **Baseada no Usuário:** qualidade é adequação ao uso, mas é necessário que a organização saiba conceituar uso e durabilidade e também identificar claramente o usuário;
- **Baseada na Fabricação:** qualidade é a busca de melhorias nas técnicas de projeto de produto, de projeto de processos e no estabelecimento de normas internas que gerarão produtos com boa aceitação no mercado;
- **Baseada no Valor:** além do produto ser adequado ao uso, ele precisa estar bem relacionado com o preço.

Portanto qualidade significa possuir processos e produzir produtos em conformidade com as especificações, adequados ao uso, adequados ao custo, com ausência de deficiências, com baixa variação e segundo os desejos e necessidades dos clientes e acionistas.

2.1.2. Evolução da qualidade

Segundo Carvalho (2005), a qualidade passou por uma evolução, iniciando-se com a Inspeção, na qual a verificação do produto era o foco principal, aprimorando-se para o Controle Estatístico do Processo, no qual os departamentos de controle de qualidade controlam o produto e diminuem a inspeção. Em seguida melhorou para a Garantia da Qualidade, que era um programa no qual toda a organização contribuía para coordenar a qualidade, e, finalmente, evoluiu para a Gestão da Qualidade Total, na qual qualidade passa a exercer um impacto estratégico em que toda a empresa é unida à alta gerência, a fim de suprir as necessidades do mercado e do cliente.

2.1.3. Gestão da Qualidade Total (TQM – *Total Quality Management*)

Segundo Slack *et al.* (1997) a noção da Gestão da Qualidade Total foi introduzida por Feigenbaum, em 1957. No entanto ela foi desenvolvida através de várias abordagens amplamente conhecidas, inseridas por vários “gurus da qualidade”, ou como Bouer (2004) chama, os “pioneiros da qualidade”. Conforme Carvalho (2005), os “gurus da qualidade” foram teóricos que mereceram esta denominação por construir, através da teoria e da intervenção em empresas, os conceitos da área da qualidade.

Para Slack *et al.* (1997), cada “guru da qualidade” apresenta forças e fraquezas em sua abordagem (veja Tabela 2.1), mas, segundo Chase, Jacobs e Aquilano (2006), todos tinham a mesma mensagem geral: para adquirir a qualidade excelente é necessário liderança da gerência mais experiente, um foco no cliente, envolvimento pleno da mão-de-obra e melhorias contínuas com base em análise e controle minucioso do processo.

Guru da Qualidade	Forças da Abordagem	Fraquezas da Abordagem
Feigenbaum	<ul style="list-style-type: none"> • Fornece abordagem total ao controle de qualidade. • Enfatiza a importância da administração. • Inclui ideias de sistemas sócio-técnicos. • Promove participação de todos os funcionários. 	<ul style="list-style-type: none"> • Não faz discriminação entre diferentes contextos de qualidade. • Não reúne diferentes teorias da administração em um todo coerente.
Deming	<ul style="list-style-type: none"> • Fornece lógica sistemática e funcional que identifica estágios da melhoria da qualidade. • Enfatiza que a administração antecede a tecnologia. • Liderança e motivação são reconhecidas como importantes. • Enfatiza o papel dos métodos estatísticos e quantitativos. • Reconhece os diferentes contextos do Japão e da América do Norte. 	<ul style="list-style-type: none"> • O plano de ação e os princípios metodológicos são, às vezes, vagos. • A abordagem de liderança e motivação é vista por alguns como idiossincrática. • Não trata situações políticas ou coercitivas.
Juran	<ul style="list-style-type: none"> • Enfatiza a necessidade de deixar de lado a euforia exagerada e os slogans de qualidade. • Destaca o papel do consumidor e do consumidor interno. • Destaca o envolvimento e o 	<ul style="list-style-type: none"> • Não se relaciona a outros trabalhos sobre liderança e motivação. • Para alguns, desconsidera a contribuição do trabalhador ao rejeitar iniciativas participativas. • Visto como sendo mais

	comprometimento da administração.	forte em sistemas de controle do que nas dimensões humanas das organizações.
Ishikawa	<ul style="list-style-type: none"> • Ênfase forte na importância da participação das pessoas no processo de solução de problemas. • Oferece um composto de técnicas estatísticas e de orientação para pessoas. • Introduz a ideia de círculos de controle da qualidade. 	<ul style="list-style-type: none"> • Parte de seu método de solução de problemas é visto como simplista. • Não lida adequadamente com a passagem das ideias para a ação nos círculos de qualidade.
Taguchi	<ul style="list-style-type: none"> • Abordagem que trata a qualidade desde o estágio de <i>design</i>. • Reconhece a qualidade como assunto da sociedade, além de organizacional. • Os métodos são desenvolvidos para engenheiros práticos em vez de estatísticos teóricos. • Forte em controle do processo. 	<ul style="list-style-type: none"> • De difícil aplicação quando o desempenho é difícil de medir (setor de serviços). • A qualidade é controlada principalmente por especialistas, em vez de gerentes e operários. • Considerando, geralmente, fraco para motivar e administrar pessoas.
Crosby	<ul style="list-style-type: none"> • Fornece métodos claros fáceis de seguir. • A participação do trabalhador é reconhecida como importante. • Forte em explicar a realidade da qualidade e em motivar as pessoas a 	<ul style="list-style-type: none"> • Visto por alguns como culpando os trabalhadores pelos problemas de qualidade. • Visto por alguns como enfatizando <i>slogans</i> e lugares comuns, em vez de reconhecer dificuldades

	iniciar o processo de qualidade.	genuínas. <ul style="list-style-type: none"> • O programa defeito zero é visto, às vezes, como algo que evita o risco. • Insuficiente ênfase em métodos estatísticos.
--	----------------------------------	--

Quadro 2.1: Forças e fraquezas de alguns gurus da qualidade

Fonte: Adaptado Slack *et al.* (1997, p. 654)

Para Chase, Jacobs e Aquilano (2006) a Gestão da Qualidade Total pode ser definida como gerenciamento da organização toda com a finalidade dela se destacar em todas as dimensões de produtos e serviços que o cliente considerar importante.

O objetivo do TQM consiste em obter constante satisfação do consumidor por meio de um sistema integrado de instrumentos, técnicas e treinamentos. Isto implica a melhoria de processos organizacionais, resultando em alta qualidade de produtos e serviços (REBELATO; RODRIGUES, 2010).

A Gestão da Qualidade Total é uma filosofia, uma forma de pensar e trabalhar, que tem a preocupação de atender as necessidades e as expectativas dos consumidores. Procura tirar o foco da qualidade de uma atividade meramente operacional, transformando-a em uma responsabilidade de toda a organização. Com o TQM, a qualidade torna-se preocupação de todas as pessoas de uma organização (SLACK *et al.*, 1997).

Este programa de qualidade é uma abordagem centrada no consumidor que utiliza ferramentas e técnicas estatísticas, seguindo o esquema PDCA (*Plan, Do, Check, Action*) para implantar, medir e incrementar os planos pré-estabelecidos. Ele é um conceito muito mais amplo que as iniciativas anteriores para a qualidade, envolvendo não somente produtos, serviços e melhoria da qualidade dos processos, mas também custos, produtividade e desenvolvimento humano (REBELATO; RODRIGUES, 2010).

Slack *et al.* (1997) tratam do conceito de melhoramento contínuo que implica literalmente em um processo sem fim, questionando sem parar as atividades detalhadas de uma operação. A natureza repetida e cíclica do melhoramento contínuo é bem explicada pelo chamado Ciclo PDCA (ou roda de Deming). Este processo é uma sequência de atividades que ocorrem de forma cíclica para melhorar processos.

O ciclo começa com o estágio P (planejar), que envolve a análise do atual método ou da área no qual o problema está sendo estudado. Isso inclui coletar e analisar os dados de

modo a formular um plano de ação que procura melhorar o desempenho. Uma vez que o plano de melhoramento tenha sido admitido, o próximo estágio é o D (*do*, fazer). Neste estágio o plano de ação é testado na operação, a fim de implementá-lo. Dentro do estágio D pode conter um miniciclo PDCA para resolução dos problemas de implementação. Logo após vem o estágio C (checar), em que a solução que acabou de ser implantada é avaliada, para verificar se houve resultado no aperfeiçoamento do desempenho esperado. E por último, vem o estágio A (agir). Neste estágio, se a mudança foi bem-sucedida, ela é consolidada ou padronizada, e as lições aprendidas com as tentativas de implementação são formalizadas antes que o ciclo inicie novamente (SLACK *et al.*, 1997).

O ponto mais importante sobre este método é que o ciclo começa de novo. Como a roda de Deming se enquadra na filosofia de melhoria contínua, ele nunca pára, o que torna a melhoria parte do trabalho de cada pessoa dentro da organização.

O TQM não é uma solução fácil para os problemas organizacionais, mas uma abordagem baseada na melhoria contínua e na mudança cultural. Com isto, o programa também tem como objetivo produzir produtos e serviços que se adéquem e, desejadamente, excedam as necessidades e expectativas dos consumidores (REBELATO; RODRIGUES, 2010).

Para Slack *et al.* (1997), a Gestão da Qualidade Total apresenta algumas características:

- Atende às necessidades e às expectativas dos consumidores: o TQM deixa o consumidor na linha de frente da tomada de decisão, ele não é visto como números estatísticos, mas como seres humanos, com suas necessidades e expectativas que merecem atenção e cortesia.

- Cobre todas as partes da organização: o TQM adota o conceito de consumidor e fornecedor interno, na qual todas as partes da organização contribuem, fazendo certo a sua parte, para a satisfação dos consumidores externos, satisfazendo, inicialmente, seus próprios consumidores internos.

- Qualquer pessoa da organização contribui para a organização: qualquer pessoa dentro de uma organização tem o potencial de prejudicar ou melhorar a qualidade dos produtos e serviços. Portanto, cada funcionário deve entender o seu comprometimento de não cometer erros. Além disto, com o TQM espera-se algo a mais, onde cada indivíduo é capaz de melhorar a maneira de executar suas atividades e também ajudar outros da organização a melhorar as suas.

O gerenciamento da qualidade provou ser algo bom e necessário a ser feito nas organizações. No entanto, esta administração tem um preço. Os custos de controle de qualidade podem não ser pequenos, sejam eles responsabilidade do pessoal ou de um departamento de controle de qualidade. Deste modo, se faz necessário verificar todos os custos e benefícios associados com a qualidade. Conforme Rotondaro (2008), estes custos da qualidade são classificados como *custos de prevenção*, *custos de avaliação*, *custos de falha interna* e *custos de falha externa* (veja tabela 2.2).

Custo da Qualidade	Descrição	Elementos
Prevenção	São os custos incorridos na prevenção de problemas, falhas e erros.	Administração da Qualidade
		Engenharia da Qualidade
		Planejamento da Qualidade por outros
		Avaliação da qualidade de fornecedores
		Treinamento
		Controle do processo
Avaliação	São todos os custos associados às atividades que compreendem as inspeções, testes e outras atividades usadas para determinar se os produtos e serviços estão em conformidade com os requisitos.	Teste de aceitação do laboratório
		Inspeção do processo
		inspeção e teste de materiais
		Auditorias da qualidade do produto
		Revisão de testes e dados de inspeção
		Manutenção de equipamento de teste
		Teste interno e atualização
		Avaliação de materiais
		Processamento de dados, inspeção e reportes de testes
Falhas internas	Estes custos estão associados à todos os erros que são identificados durante o processo de desenvolvimento do produto ou serviço.	Refugo
		Retrabalho e reparação
		Análise de defeitos
		Reinspeção e retestes
		Refugo e retrabalho: falhas do fornecedor
		Modificações permitidas e concedidas
Falhas externas	São todas as falhas que são identificadas pelo cliente.	Comprometimentos
		Serviços do produto: confiabilidade
		Retorno dos produtos
		Reparação de material retornado

	Garantia
	Perdas de clientes
	Perda de vendas

Quadro 2.2: Custos da Qualidade

Fonte: com base em Rotondaro (2008)

2.2. Seis Sigma

Esta seção tem como finalidade apresentar o histórico e as definições do programa Seis Sigma de qualidade, falando como o programa iniciou na Motorola e se tornou hoje uma metodologia estruturada, com aplicação da melhoria contínua visando a vantagem competitiva, tanto com uma abordagem estratégica quanto estatística. Ela também discorre sobre o processo DMAIC (*define, measure, analyze, improve, control*) de melhoria contínua, segmentando e descrevendo cada uma de suas etapas.

2.2.1. Histórico

Segundo Slack *et al.* (2002), é muito difícil que os detalhes técnicos da capacidade de um processo se tornem símbolos de um programa de qualidade de qualquer empresa, mas isto aconteceu com a Motorola. Vale salientar que capacidade do processo, de acordo com Carvalho (2005), é um estudo que tem por objetivo conhecer se um processo, cujo comportamento seja conhecido, é capaz de produzir itens ou prestar serviços conforme as especificações determinadas pelo cliente, no qual existe um índice, chamado de índice de capacidade, que, conforme Chase, Jacobs e Aquilano (2006), tem a função de demonstrar quão bem as peças produzidas se enquadram na faixa especificada pelos limites do projeto.

Slack *et al.* (2002) ainda afirmam que a Motorola está entre as maiores corporações industriais do mundo, e atua fabricando componentes eletrônicos, semicondutores e sistemas de comunicação, dentre outras coisas. Ela está alocada em mais de 50 fábricas em todo o mundo, empregando mais de 100.000 pessoas.

Slack *et al.* (2002) dizem que quando a empresa decidiu cumprir a meta de “satisfação total do consumidor”, os alicerces para a qualidade Seis Sigma foram implantados. Para a Motorola, esta meta só é atingida quando os produtos chegam nas mãos do cliente conforme o prometido, sem qualquer defeito, atrasos ou falhas quaisquer. Ela atingiu isto, concentrando-

se na remoção dos defeitos de manufatura. Ao iniciar este processo, em seguida ela percebeu que muitos dos problemas eram causados por defeitos escondidos dentro dos projetos dos seus produtos. A única maneira de eliminar estes defeitos seria possuir especificações do projeto muito enxutas e que seus processos fossem muito capazes.

Por meio da Motorola, surge o conceito de Qualidade Seis Sigma, que conforme Slack *et al.* (2002) significa que a variação normal de um processo (± 3 desvios-padrão) teria que estar no meio de sua faixa de especificações, ou seja, a faixa de especificação de qualquer parte ou produto deveria ser ± 6 vezes o desvio-padrão do processo.

2.2.2. Definições

Seis Sigma é uma metodologia estruturada que aprimora a qualidade através do uso da melhoria contínua nos processos envolvidos na produção de um bem ou serviço, considerando todos os aspectos significativos de um negócio. O objetivo do Seis Sigma é alcançar a eficácia em seus processos, aplicando a melhoria contínua, para obter uma vantagem competitiva (ROTONDARO, 2008). Sua visão é direcionar a indústria a desenvolver, processar e entregar produtos e serviços no padrão “ 6σ ”, isto é, reduzir variação, defeitos, erros e falhas, e ampliar a qualidade para além das expectativas do cliente. Estrategicamente, a metodologia usa uma estrutura dirigida por dados para atacar os defeitos e melhorar o nível sigma de seus produtos ou serviços (PANDE; NEUMAN; CAVANAGH, 2001, CARVALHO; ROTONDARO, 2005).

O Seis Sigma é uma estratégia gerencial que busca acelerar a melhoria em processos, produtos e serviços, através de mudanças tanto internas como externas numa organização. O termo *sigma* é uma letra grega usada na estatística e significa o desvio-padrão, ou seja, a medida de variação que os dados sofrem, e que avalia a capacidade do processo ser executado sem falhas. O programa SS busca reduzir a variação de defeitos dos produtos ou serviços entregues aos clientes numa proporção de 3,4 falhas por milhão ou 99,99966% de exatidão. (ROTONDARO, 2008)

No Seis Sigma, é importante que se entenda a definição de defeito. Para Chase, Jacobs e Aquilano (2006), um defeito é simplesmente qualquer elemento que não se enquadre dentro dos limites de especificações que o cliente exige. Todos os processos produtivos de uma empresa representam oportunidades para a ocorrência de defeitos, e esta metodologia procura mitigar a variação nos processos que causam esses defeitos.

O método SS é, também, um sistema flexível para o gerenciamento e o desempenho dos negócios, que possibilita alcançar benefícios após a sua implantação (PANDE; NEUMAN; CAVANAGH, 2001). Como um sistema, ele busca ligar ideias, tendências e ferramentas que estão desconectadas nos negócios, priorizando o cliente como o foco principal. As melhorias Seis Sigma são definidas com base no seu impacto sobre a satisfação dos clientes (RUTHES; CERETTA; SONZA, 2006).

Esta metodologia é rigorosa, pois utiliza ferramentas e métodos estatísticos para definir os problemas e situações a melhorar, medir para obter a informação e os dados, analisar a informação coletada, incorporar e empreender melhorias nos processos e, finalmente, controlar os processos ou produtos existentes, com a finalidade de alcançar etapas ótimas. O que sempre pregou os métodos tradicionais da qualidade: a Melhoria Contínua (CARVALHO; ROTONDARO, 2005).

O método de qualidade Seis Sigma é uma estratégia gerencial disciplinada, que tem por característica uma abordagem sistêmica e uma utilização intensa de técnicas estatísticas, com o objetivo de reduzir drasticamente a variação dos processos críticos e aumentar a lucratividade das empresas, através da otimização de produtos e processos, buscando satisfação de clientes e consumidores (CARVALHO; ROTONDARO, 2005).

Pyzdek, *apud* Rebelato e Oliveira (2006), afirmam que o modelo SS não se ocupa da qualidade no sentido clássico, ou seja, a conformidade com as normas e requisitos internos, mas sim um programa que define a qualidade como um valor agregado por um esforço produtivo focalizando a redução de defeitos e do desperdício nos processos.

Para Santos e Martins (2008), o Gerenciamento de Qualidade Seis Sigma apresenta duas abordagens: a estatística e a estratégica (veja a Tabela 2.3). A primeira tem foco na quantificação da variação, medidas em quantidades de desvios padrão (sigma) associadas a uma variável aleatória de interesse no estudo de um processo crítico. Esta abordagem está ligada aos conceitos de controle estatístico de processos (CEP), por isso os índices de capacidade do processo no Seis Sigma é descrito como Padrão “6 σ ”, dando origem ao valor 3,4 ppm, sendo este um valor descritivo da quase perfeição e do padrão de qualidade 6 Sigma (SANTOS; MARTINS; 2008).

Abordagem estatística	Abordagem estratégica
“Iniciativa chave que dá suporte à companhia no seu plano de satisfação total do cliente”. (MITCHELL, 1992)	“É um processo de negócio que permite à companhia melhorar drasticamente seus limites inferiores, projetando e monitorando diariamente

<p>“É um modo de medir a probabilidade de produzir um produto ou criar um serviço com zero defeito”. (TADIKAMALLA, 1994)</p>	<p>as atividades do negócio de uma maneira que minimizem o desperdício e os recursos enquanto aumentam a satisfação do cliente”. (HARRY; SCHROEDER, 2000)</p>
<p>“É uma maneira de medir a probabilidade de a companhia poder fabricar ou produzir qualquer unidade de um produto ou serviço com zero defeito. É a categoria que significa ‘<i>best in class</i>’, com somente 3,4 DPMO”. (BEHARA et al., 1995)</p>	<p>“É uma abordagem de melhoria de negócio que busca achar e eliminar causas de falhas e defeitos no processo de negócio, focando sobre as saídas que são de importância crítica para os clientes. É uma abordagem estratégica que trabalha através de todos os processos, produtos, funções da companhia e indústrias”. (SNEE, 2000)</p>
<p>“Estratégia que abastece as companhias com uma série de intervenções e ferramentas estatísticas que podem levar a ganhos substanciais em lucratividade e qualidade, tanto para produtos como serviços”. (HARRY, 1998)</p>	<p>“Um sistema abrangente e flexível para alcançar, sustentar e maximizar o sucesso empresarial. É singularmente impulsionado por uma estreita compreensão das necessidades dos clientes, pelo uso disciplinado de fatos, dados e análise estatística e a atenção diligente à gestão, melhoria e reinvenção dos processos de negócios”. (PANDE et al., 2001)</p>
<p>“É uma abordagem quantitativa disciplinada para melhoria de métricas definidas em processos de manufatura, serviços ou financeiro”. (HOERL, 1998)</p>	
<p>“É uma abordagem de alto desempenho, direcionada para dados para analisar as causas raízes dos problemas do negócio a fim de resolvê-los. Ela amarra os resultados de um negócio aos requisitos do negócio”. (BLAKESLEE, 1999)</p>	<p>“Uma estratégia para melhoria de negócios usada para melhorar a lucratividade do negócio, eliminar refugo, reduzir custo da não qualidade e melhorar a eficiência e eficácia de todas as operações, assim como encontrar, ou mesmo exceder as expectativas e necessidades dos clientes”. (CORONADO; ANTONY, 2002)</p>
<p>“É um nível otimizado de <i>performance</i> que se aproxima do zero defeito em um processo de confecção de um produto, serviço ou transação. Ele indica a obtenção e a manufatura de uma <i>performance</i> de alto nível. O Seis Sigma não é uma metodologia. É um fim, não um meio”. (PEREZ-WILSON, 1999)</p>	<p>“Para nós, Seis Sigma é mais do que uma metodologia e um conjunto de ferramentas. É também um modo de pensar que possibilita-nos mudar o modo de trabalho para torná-lo mais dirigido aos dados. Seis Sigma afasta-nos da decisão baseada na intuição”. (MOTWANI et al., 2004)</p>
<p>“Seis Sigma é baseado nas velhas ideias de engenharia da qualidade destinadas a entender e</p>	<p>“Hoje, Seis Sigma é uma estratégia abrangente de longo prazo para tomada de decisão mais do que</p>

eliminar as causas de variação e projetar a manufatura”. (DALE et al., 2000)	um programa estritamente focado na gestão da qualidade”. (ARNHEITER; MALEIYEFF, 2005)
“Seis Sigma é uma poderosa estratégia de negócios que emprega uma abordagem disciplinada para capturar variabilidade dos processos, usando a aplicação de ferramentas e técnicas estatísticas e não estatísticas de forma rigorosa”. (ANTONY, 2004)	“Seis Sigma é uma abordagem que impulsiona a melhoria do desempenho do negócio e a valorização da satisfação dos clientes, por meio do enfoque estratégico de gerenciamento; da aplicação do pensamento estatístico em todos os níveis de atividades; da medição de desempenho; da utilização da metodologia sistematizada que integre técnicas e métodos científicos para se avaliar e otimizar processos; e da aprendizagem decorrente da capacitação e comprometimento das pessoas”. (SANTOS, 2006)

Quadro 2.3: Definições Seis Sigma

Fonte: Santos e Martins (2008, p.45).

Segundo Rebelato e Rodrigues (2010), o objetivo do Seis Sigma está na melhoria dos processos com base no entendimento das necessidades dos consumidores, na redução da taxa de defeitos, na redução dos custos operacionais e no incremento do valor tanto para os consumidores quanto para os acionistas.

A gestão de qualidade Seis Sigma deve ser sustentada por algum procedimento. Pande, Neuman e Cavanagh (2001, p.69) propõem um procedimento que é definido em cinco etapas e que eles chamam de “O Mapa Rodoviário Seis Sigma”, conforme é descrito abaixo:

1. Identificar processos essenciais e clientes-chave: o primeiro passo tem como objetivo criar um entendimento claro de todas as atividades funcionais mais críticas na organização e como se relacionam com o cliente externo;
2. Definir necessidades de clientes: o passo dois visa estabelecer padrões de desempenho com base em informações colhidas das necessidades dos clientes e desenvolver ou melhorar estratégia de coletar dados dos clientes (Voz do Cliente);
3. Medir desempenho atual: o terceiro passo objetiva avaliar o desempenho dos processos em relação às exigências dos clientes e estabelece um sistema de medir saídas;

4. Priorizar, analisar e implementar melhorias: o passo quatro visa identificar oportunidades de melhoria de alto potencial, desenvolver e implementar com eficácia soluções para os processos com base em análise de fatos e pensamento criativo;
5. Expandir e integrar o sistema Seis Sigma: o último passo tem como objetivo criar uma organização Seis Sigma, com práticas contínuas de negócios que impulsionem a melhoria da medição, reexame e renovação constante de processos, procedimentos, produtos e serviços.

Eckes (2001), após adquirir muita experiência na Gestão de Processo de Negócios (GPN), elaborou alguns elementos essenciais para um bom desenvolvimento do sistema de GPN. E estes elementos também se aplicam ao Seis Sigma, e são chamados de “passos para a melhoria estratégica”. Abaixo estão detalhados os passos que Eckes (2001, p.29) formulou:

1. Criação e acordo sobre os objetivos estratégicos do negócio: este é o primeiro passo para que o programa Seis Sigma tenha sucesso na empresa;
2. Criação dos processos essenciais, subprocessos-chave e processos capacitadores: a empresa deve valorizar mais os processos do que os departamentos, pois os processos são o trajeto dos clientes dentro da empresa;
3. Identificação dos donos do processo: cada processo que foi criado deve possuir um dono;
4. Criação e validação dos painéis de mensuração: o dono do processo deve criar um painel para mensurar o processo que ele gerencia;
5. Coleta de dados para painéis: cada dono do processo coleta dados sobre o seu processo;
6. Definição dos critérios para a seleção de projetos e escolha dos primeiros projetos: estabelecer critérios para seleção dos projetos de melhoria, avaliação destes critérios e escolha dos projetos mais eficientes e eficazes.

De acordo com Pande, Neuman e Cavanagh (2001, p.98) as empresas buscam implementar o sistema Seis Sigma com os seguintes objetivos:

1. Transformação do negócio (mudança de cultura, mudança estrutural, atitudes focalizadas no cliente);
2. Melhoria estratégica (acelerar o desenvolvimento de produtos, eficiência da cadeia de suprimento);
3. Solução de problemas (altos custos, retrabalhos, atrasos, etc).

2.2.3. DMAIC – metodologia Seis Sigma

O desempenho do Seis Sigma dentro de uma organização é assegurado pela compreensão de dois conceitos: os CTQ's (*Critical to Quality*) do cliente e a metodologia DMAIC (definir, medir, analisar, melhorar e controlar). Os CTQ's são requisitos críticos para a qualidade definidos pelo cliente para um produto ou serviço. Eles podem ser um atributo ou um processo articulado pelo cliente, e são fundamentais para o sucesso de um produto ou serviço. Os CTQ's devem ser estabelecidos pelo cliente e ter como características ser mensurável e possuir a especificação com tolerância permissível (ANDRIETTA; MIGUEL, 2002).

O segundo conceito é a utilização do processo de melhoria conhecido como DMAIC. Esta metodologia é uma estrutura utilizada nos processos Seis Sigma para condução dos projetos. Os estágios do DMAIC buscam definir as oportunidades de melhoria, medir os desvios ou situações indesejadas através de dados coletados, analisar as informações obtidas, introduzir melhorias no processo através de novos conhecimentos e controlar os processos otimizados (ANDRIETTA; MIGUEL, 2002)..

O método DMAIC representa as fases fundamentais no desenvolvimento de projeto Seis Sigma. Pode-se dizer que o DMAIC é o aprimoramento do Ciclo PDCA e a aplicação da metodologia Seis Sigma. As fases que compõem este método garantem que as empresas apliquem a técnica em um metódico e disciplinado caminho, bem como a correta definição e execução dos projetos e incorporação dos resultados alcançados com eles (RUTHES; CERETTA; SONZA, 2006).

O DMAIC pode ser aplicado em qualquer área que necessite de melhoria, como (ECKES, 2001, PANDE; NEUMAN; CAVANAGH, 2001):

- Processos-chave:
 - Marketing
 - Vendas
 - Desenvolvimento de Produto
 - Produção
 - Pós-venda

- Faturamento
- Contas a Receber
- Administração de Contratos

- Processos de Apoio:
 - Administração de Pessoal
 - Treinamento e Desenvolvimento
 - Tecnologia da Informação
 - Benefícios
 - Tributação
 - Administração
 - Manutenção

A metodologia DMAIC é uma estrutura que passo a passo busca as soluções de problemas, e contempla, desta forma, as seguintes fases (CARVALHO; PALADINI, 2005, PANDE; NEUMAN; CAVANAGH, 2001, ECKES, 2001, ROTONDARO, 2008):

***Define* - DEFINIR**

A primeira fase é a definição clara e objetiva do projeto compreendendo os CTQ's (Fatores Críticos da Qualidade) e os requisitos técnicos. A definição deve ser específica, mensurável, descrever o impacto sobre o negócio ou a atividade da empresa e não concluir prematuramente as causas e soluções.

Os objetivos do DEFINIR são:

- Definir dentro do plano estratégico um processo a ser melhorado que seja importante para o negócio
- Definir um time
- Identificar e conhecer com clareza o processo e as informações relacionadas
- Identificar e analisar os requisitos críticos do cliente

- Identificar oportunidades de melhorias no processo analisado e selecionar as oportunidades mais importantes para o negócio
- Verificar o desvio entre a situação real e a ideal (desejada)
- Definir o problema a resolver
- Identificar indicadores críticos e a meta a ser atingida
- Identificar o impacto econômico do projeto

Vinculadas a estes objetivos, algumas atividades serão necessárias, e elas são:

- Convocar o time
- Desenvolver o mapeamento do processo a ser melhorado e o mapa das variações deste processo
- Definir qual será o indicador para medir os resultados do projeto
- Identificar famílias de produto, investimentos, pessoas a serem envolvidas e capacidade
- Identificar áreas que poderão ser facilmente resolvidas
- Identificar os requisitos dos clientes que são críticos para a qualidade (CTQ's)
- Desenvolver regras e papéis para o time
- Preparar um cronograma com prazos do trabalho de todos os responsáveis

Para a execução das atividades do DEFINIR, algumas ferramentas irão auxiliar, tais como: SIPOC (*Supplier Input Process Output Customer* – Fornecedor, Entradas, Processo, Saídas e Clientes), Lista de Verificação, *Project Charter*, Voz do Cliente (VOC), QFD (*Quality Function Deployment*), entre outras.

Measure – MEDIR

Nesta fase se determina a situação atual do processo, medindo o quanto ele é “bom” ou “ruim” em termos de σ sigma através da aplicação de ferramentas estatísticas, sendo também estabelecido metas de aprimoramento.

Os objetivos da fase MEDIR são:

- Identificar e desenvolver um sistema de mensuração capaz de coletar e analisar dados relacionados aos requisitos dos clientes
- Identificar as variáveis do processo
- Identificar as medidas-chave da eficiência e da eficácia e traduzí-las para o conceito Sigma
- Identificar e coletar dados para plotar gráficos e analisar as métricas definidas

Atividades necessárias para o cumprimento da fase MEDIR:

- Iniciar as reuniões do time, usando *brainstorming*, diagramas de afinidade, etc.
- Identificar as Variáveis de Entrada de Processos-Chave e Variáveis de Saída de Processos-Chave
- Estabelecer um plano para entradas-chave, processos e indicadores de saída
- Plotar gráficos com os dados obtidos na fase anterior e analisá-los
- Validar a capacidade do sistema de medição
- Determinar se há causas especiais de variação presentes

Algumas ferramentas são utilizadas para a realização das atividades: MSA (Análise do Sistema de Medição), Amostragem, Plano de coleta de dados, Análise de tendência e as Ferramentas da Qualidade (histograma, *Pareto*, Diagrama de *Ishikawa*, folha de verificação, carta de controle, fluxograma e diagrama de dispersão).

Analyze - ANALISAR

A fase ANALISAR consiste na determinação das causas dos problemas que precisam de melhoria. A análise é considerada a etapa mais importante do ciclo DMAIC, pois determina e valida a raiz do problema original, que é o alvo da busca de melhoria.

Seus objetivos são:

- Identificar e analisar as variações dos processos avaliados
- Determinar as causas-raízes dos problemas
- Identificar áreas que deverão ser focadas para solução de problemas
- Elaborar uma meta a ser alcançada, ou seja, uma situação ótima a ser obtida

Suas atividades são:

- Estratificar dados do processo e identificar os problemas específicos
- Realizar FMEAs preliminares – *Failure Mode and Effect Analysis* (Análise do Modo e Efeito de Falha)
- Desenvolver índices de capacidade
- Analisar a verificação das causas-raízes
- Testar as hipóteses de coleta de dados
- Clarear a descrição do problema
- Selecionar projetos de experimentos (DOE - *Design Of Experiments* / Planejamento de Experimentos)
- Definir um mapa do processo futuro

Ferramentas que serão utilizadas na fase ANALISAR: FMEA (Análise do Modo e Efeito de Falha), *Brainstorming*, Teste de Hipótese, ANOVA (Análise de Variância) e as ferramentas da qualidade.

***Improve* - MELHORAR**

Nesta etapa são priorizadas as ações a serem implementadas para a melhoria do processo. Nesta fase as relações entre as variáveis do processo são mais visíveis. Conforme Andrietta e Miguel (2002), MELHORAR é a soma das atividades relacionadas com a geração, seleção e implementação de soluções. A melhoria é conseguida com soluções que eliminem, atenuem ou minimizem as causas das causas dos problemas.

Os objetivos da fase *Improve* são:

- Propor uma solução de melhoria
- Avaliar se novas soluções serão necessárias
- Modificar o Mapa do Processo a fim de torná-lo mais simples e com um *lead time* menor
- Desenvolver treinamentos para a mudança cultural da organização

- Implementar e aprimorar a solução

Abaixo seguem as atividades necessárias na fase MELHORAR:

- Gerar, selecionar e implementar uma solução robusta
- Identificar pontos de controle
- Utilizar o DOE (*Design of Experiments*) para otimizar testes
- Avaliar FMEA - Análise do Modo e Efeito de Falha
- Desenhar o novo Mapa do Processo
- Proteger a propriedade intelectual do novo processo (manufatura ou processo de negócio)
- Avaliar os benefícios da solução

As ferramentas usadas nesta fase são as seguintes: FMEA (Análise do Modo e Efeito de Falha), DOE (*Design of Experiments*), 5W2H (*What, Who, When, Why, Where, How e How much*), *benchmarking*, teste de hipóteses e novamente as ferramentas da qualidade.

Control - CONTROLAR

CONTROLAR é a ação de garantir que as melhorias se sustentem ao longo do tempo. O controle deve acontecer nos níveis tático e estratégico, e é garantido por meio de soluções e gráficos da estatística que alertem quando acontecerem mudanças ou surgirem defeitos no processo (ANDRIETTA; MIGUEL, 2002). Com as poucas variáveis de entrada para o processo, e com seus valores otimizados para se obter a melhor resposta de saída do processo, deve-se realizar um plano de ação de controle para que o processo seja previsível e consistente. Esse plano deve ser rígido para que o processo não volte ao seu estado anterior.

Objetivos desta etapa:

- Desenvolver planos e processos de controle para manter as melhorias obtidas
- Disseminar lições aprendidas e transferir as melhorias para os responsáveis pelos processos

- Realizar treinamentos com as pessoas envolvidas com base no novo Mapa do Processo e no plano de controle gerado
- Focar todos os processos da organização nas melhorias identificadas
- Direcionar os processos da organização na direção de melhorias adicionais identificadas

Atividades executadas na fase CONTROLAR:

- Usar um plano de modelo de referência, se for necessário
- Implementar processos de controle
- Implementar novos padrões e procedimentos
- Desenvolver e implementar planos de treinamento
- Validar soluções e resultados
- Monitorar o processo e indicadores financeiros até a estabilidade do processo ser confirmada (de 6 a 12 meses)
- Identificar novo ponto de partida para novas melhorias

As ferramentas empregadas na última fase do ciclo de melhoria DMAIC são: Controle Estatístico de Processo (CEP), FMEA, *Poka-Yoke* e as ferramentas da qualidade.

2.3. Descrição das ferramentas da metodologia DMAIC

Os programas de qualidade que foram desenvolvidos no decorrer da evolução da qualidade se embasaram na utilização de ferramentas, pois elas têm a função de projetar e calcular um futuro desejável em relação a processos eficientes. No programa Seis Sigma, não é diferente. Pande, Neuman e Cavanagh (2001, p.14) afirmam que “a partir de uma perspectiva de ferramentas, o Seis Sigma é um universo bem vasto”. Com a utilização de ferramentas tanto da qualidade em geral como as de uso extenso no Seis Sigma, beneficiarão qualquer projeto de melhoria que for desenvolvido.

Esta seção trata de uma forma geral as ferramentas que são utilizadas no processo de melhoria contínua DMAIC, apresentando todas aquelas que são discutidas por diversos autores na literatura e descrevendo de forma mais profunda aquelas que são utilizadas com maior intensidade no programa Seis Sigma. Na seção 2.2.3 (DMAIC – metodologia Seis

Sigma) são apresentadas as ferramentas mais empregadas em cada fase do processo de melhoria DMAIC. Na atual seção, porém, não serão detalhadas todas elas, apenas as mais discutidas na literatura e as que serão utilizadas no presente trabalho.

2.3.1. Ferramentas da qualidade

Segundo Corrêa e Corrêa (2006) as ferramentas da qualidade devem ser entendidas literalmente como ferramentas, e não como um *slogan* para vender um produto. Corrêa e Corrêa (2006) também afirmam que ferramentas não servem para resolver ou melhorar situações, as pessoas são responsáveis por isto. Estas ferramentas dão suporte e auxiliam pessoas na tomada de decisões para eliminar ou mitigar problemas de produção.

Pande, Neuman e Cavanagh (2001) dizem que quando a Motorola começou a usar o Seis Sigma muitas empresas aprenderam que muitos problemas e muitas oportunidades podem ser resolvidos com técnicas estatísticas disponíveis a todo o mundo. Segundo eles, uma dos motivos do sucesso do sistema Seis Sigma é a aplicação de ferramentas sofisticadas que trazem maior sustentação para os esforços de Melhoria.

Na literatura existem diversas ferramentas estatísticas que podem ser usadas para análise da qualidade de processos ou de produtos. Alguns autores enfatizam aquelas ferramentas que eles mais têm maior familiaridade. Por exemplo, Braz (2008) fala sobre cinco ferramentas da qualidade que podem ser usadas para analisar preliminarmente o processo: Diagrama de *Pareto*, Diagrama de Causa e Efeito, Histograma, *Box-plot* e Análise de Modo e Efeito de Falha (FMEA – *Failure Mode and Effect Analysis*). Corrêa e Corrêa (2006) apresentam sete ferramentas para apoiar na resolução e no controle de problemas de qualidade: Diagrama de Processos, Análise de *Pareto*, Diagrama de Causa e Efeito (ou Diagrama de *Ishikawa*), Diagramas de Correlação, Histogramas, Cartas Controle de Processos e Folhas de Verificação.

Pande, Neuman e Cavanagh (2001) descrevem algumas ferramentas, que eles chamam de as “ferramentas poderosas” ou “ferramentas avançadas”, para auxiliar no emprego das técnicas Seis Sigma: Controle Estatístico e Gráficos de Controle, Provas de Significância Estatística (Qui-quadrado, Teste-t e Análise de Variância), Planejamentos de Experimentos (DOE - *Design of Experiments*), Correlação e Regressão, FMEA (Análise de Modo e Efeito de Falha), *Poka-Yoke* (Dispositivo à Prova de Falhas) e Desdobramento da Função Qualidade (QFD – *Quality Function Deployment*). Além das ferramentas avançadas, Pande, Neuman e Cavanagh (2001), também falam das ferramentas que eles nomeiam de “visuais para análise

de dados”: Gráfico de *Pareto* (Análise de *Pareto*), Histograma (Tabela de Frequência), Gráfico de Linha (Gráfico de Tendência, Diagrama de Dispersão) e Diagrama de Causa e Efeito.

Ramos (2004) discorre sobre seis ferramentas básicas para a qualidade: Cartas de Controle, Histograma, Diagrama de Causa e Efeito (Diagrama de *Ishikawa*), Diagrama de *Pareto*, Gráfico Linear e Diagrama de Dispersão. Slack, Chambers e Johnston (2002) chamam estas ferramentas de “técnicas de melhoramento”, utilizadas para melhorar o desempenho de uma operação: Controle Estatístico de Processo (SPC – *Statistical Process Control*), FMEA (Análise de Efeito e Modo de Falha), Análise Entrada-Saída, Fluxogramas, Diagramas de Relacionamento, Diagramas de Causa e Efeito (Diagrama “Espinha de Peixe”), Diagrama de *Pareto* e Análise Por quê - Por quê.

Chase, Jacobs e Aquilano (2006) expõem sobre dois tipos de ferramentas, as que são comuns para todo o esforço de qualidade, incluindo o Seis Sigma, e as que são extensamente utilizadas nos projetos Seis Sigma. No primeiro tipo estão: Fluxogramas, Diagramas de dispersão, Diagrama de *Pareto*, Listas de verificação, Diagramas de causa-e-efeito, Diagrama de fluxo de oportunidade e Cartas de controle; no segundo estão: Análise de modo e efeito de falha (FMEA) e Projetos de experimentos (DOE).

2.3.2. Ferramentas Seis Sigma

As ferramentas da qualidade são utilizadas por muitos anos nos programas de qualidade tradicionais de melhoria contínua. O que torna única a aplicação destas ferramentas ao Seis Sigma é o fato delas se integrarem em um sistema gerencial para toda a organização. Embora as ferramentas Seis Sigma estejam englobadas nas ferramentas tradicionais, esta seção tem o objetivo de detalhá-las melhor.

Com base nestes autores, foi possível eleger, para o estudo deste trabalho, aquelas técnicas que mais são utilizadas na Metodologia DMAIC e que são em comum entre os autores. Abaixo são listadas e descritas estas ferramentas:

1. Diagrama de SIPOC (*Supplier, Input, Process, Output, Customer*) ou Diagrama de FEPSC (*Fornecedor, Entrada, Processo, Saídas, Clientes*)

O Diagrama de SIPOC, segundo Pande, Neuman e Cavanagh (2001), é uma das técnicas mais úteis e usadas de gestão e melhoria de processos. Sua função é apresentar uma

visão rápida dos fluxos de trabalho. O SIPOC pode ser de grande ajuda para fazer com que as pessoas vejam os negócios através de uma perspectiva de negócio. Pande, Neuman e Cavanagh (2001) dizem que entre suas vantagens, ele mostra um conjunto de atividades transfuncionais em um único diagrama simples e usa uma estrutura aplicável a processos de todos os tamanhos (veja figura 2.1).

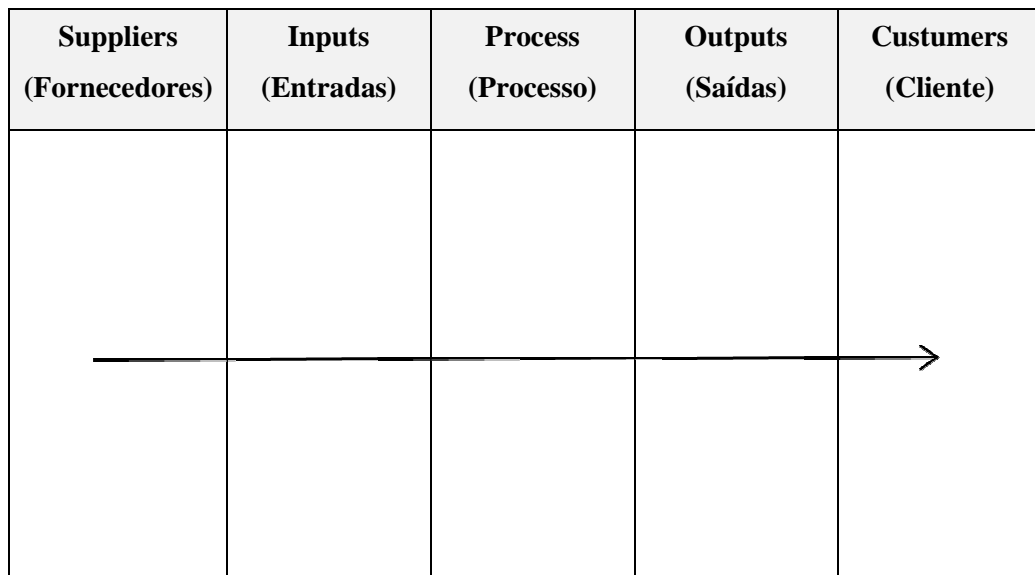


Figura 2.1: Diagrama de SIPOC

O SIPOC aplica-se a todo tipo de trabalho, seja ele repetitivo por natureza ou único. Para sua elaboração, Rotondaro (2008, p.225) propõe uma sequência lógica:

- i. Determinar o propósito:
 - Por que existe este processo?
 - Qual é o propósito deste processo?
 - Qual é o resultado?
- ii. Análise das saídas:
 - Que produto faz este processo?
 - Quais são as saídas deste processo?
 - Em que ponto termina este processo?
- iii. Dados dos clientes:
 - Quem usa os produtos deste processo?
 - Quem são os clientes deste processo?

- iv. Análise das entradas e fornecedores:
 - De onde vem as informações ou material com o qual você trabalha?
 - Quem são seus fornecedores?
 - O que eles fornecem?
 - Onde afetam o fluxo do processo?
 - Que efeito têm no processo e nos resultados?
- v. Determinar os passos do processo
 - O que ocorre com cada *input*?
 - Que atividades de conversão acontecem?

2. Fluxograma (Diagrama de Processos):

Segundo Corrêa e Corrêa (2006), o objetivo do diagrama de processos é listar todas as fases do processo de uma maneira simples e de fácil visualização e compreensão. Com o fluxograma é possível identificar o caminho real e ideal para o produto ou serviço, facilitando a identificação de desvios. Corrêa e Corrêa (2006) também afirmam que clareza e fidelidade são requisitos básicos para qualquer fluxograma. Clareza, no sentido de promover a participação das pessoas e facilitar a análise, e fidelidade, no intuito de documentar todas as alterações que ocorrerem no processo, para garantir que o diagrama reflita a realidade dos processos.

Conforme Slack, Chambers e Johnston (2002), o fluxograma registra estágios da passagem de informações, produtos, trabalho ou clientes. E uma meta final da diagramação do processo é entender o fluxo e a variação no trabalho ao longo do tempo (PANDE; NEUMAN; CAVANAGH, 2001).

Um diagrama de processos utiliza símbolos facilmente reconhecidos para denotar os diferentes tipos de operações em um processo.

3. Folhas de verificação

As folhas de verificação, segundo Corrêa e Corrêa (2006), é a ferramenta mais simples dentre as outras. Ela tem a função de proporcionar a garantia da aplicação das demais ferramentas. Segundo Corrêa e Corrêa (2006), nas folhas de verificação devem estar anotados,

de maneira pontual e simples, o procedimento reformulado ou criado e o controle que deve existir neste processo para prevenir que os problemas ocorram novamente.

4. Gráfico de *Pareto*

Como afirma Braz (2008), Vilfredo Pareto foi um economista italiano do século XVI que apresentou um estudo sobre a má distribuição de renda, mostrando sua desigualdade, pois a maior parte da riqueza pertencia a um grupo pequeno de pessoas. Braz (2008) diz que J. M. Juran, um dos “gurus da qualidade”, ao perceber que ocorria um fenômeno semelhante com os problemas de qualidade, adaptou os conceitos de Pareto e concluiu que as melhorias mais expressivas podem ser adquiridas se houver maior concentração nos “poucos problemas vitais” e, logo em seguida, nas “poucas causas vitais” desses problemas.

A análise de *Pareto* é usada para estratificar dados em grupos, do maior para o menor. Apresenta-se em uma forma de gráficos de barras, que ajuda a identificar as ocorrências mais comuns de um problema. Esta análise baseia-se na “Regra 80/20” desenvolvida por Pareto, em que 80% de perdas de uma organização são ocasionadas por 20% dos problemas (PANDE; NEUMAN; CAVANAGH, 2001).

Braz (2008, p.136) descreve como construir o Diagrama de Pareto, em cinco passos:

- i. Defina o tipo de problema a ser estudado:
 - Custo, gravidade ou tempo gasto, por exemplo.
- ii. Liste os possíveis fatores de estratificação (categorias):
 - Determine a classificação dos dados: por produto, por máquina, por turno, por operador etc.
- iii. Realize a coleta de dados:
 - Estabeleça o método e o período de coleta de dados;
 - Elabore uma lista de verificação apropriada.
- iv. Elabore uma planilha com os seguintes dados:
 - Categorias;
 - Quantidades;
 - Percentagens do total geral;
 - Percentagens acumuladas.

- v. Trace o diagrama e a linha de percentagem acumulada.

Segundo Ramos (2004), o diagrama de Pareto é usado para dar atenção aos problemas de forma sistemática e para resolver sistemas com um grande número de problemas e recursos limitados. Se o diagrama for construído corretamente, ele indicará as áreas mais problemáticas, seguindo uma ordem de prioridade.

5. Histograma

O histograma é um gráfico composto por retângulos justapostos em que a base de cada um deles corresponde ao intervalo de classe e a sua altura à respectiva frequência. A construção de histogramas tem caráter preliminar em qualquer estudo e é um importante indicador da distribuição de dados. Um histograma pode indicar se uma distribuição aproxima-se de uma função normal, como pode indicar se é uma mistura de populações, quando a distribuição se apresenta bimodal. Na estatística, um histograma é uma representação gráfica da distribuição de frequências de uma massa de medições, normalmente um gráfico de barras verticais (CORRÊA; CORRÊA, 2006; RAMOS, 2004; BRAZ, 2008).

Os histogramas, conforme Pande, Neuman e Cavanagh (2001), são utilizados para demonstrar o quanto um grupo de dados pode variar em relação ao seu alcance e à sua profundidade. De acordo com Braz (2008), o histograma é utilizado para variáveis contínuas, sem mudança de posição em função da frequência, uma vez que a posição da classe segue a ordem crescente dos valores da variável resposta. São nestes pontos que o histograma difere do diagrama de Pareto, pois este se aplica a variáveis discretas, apresentando classificações, em ordem decrescente e uma curva de frequência acumulada.

Para a construção de um histograma, são necessários alguns passos, que estão descritos abaixo (BRAZ, 2008):

- i. Adquirir uma amostra de 50 a 100 dados ($50 \leq n \leq 100$);
- ii. Determinar o maior e o menor valor ($X_{\text{máx}}$ e $X_{\text{mín}}$);
- iii. Calcular a amplitude total dos dados ($R = X_{\text{máx}} - X_{\text{mín}}$);
- iv. Determinar o número de classes ($k = (n)^{-2}$);
- v. Calcular a amplitude das classes ($h = R/k$);

- vi. Determinar os limites das classes;
- vii. Construir uma tabela de frequências;
- viii. Traçar o diagrama.

6. Cartas de controle

De acordo com Ramos (2004), as cartas ou gráficos de controle é a ferramenta de Controle Estatístico de Processo (CEP) mais importante e também, segundo Ramos (2008), a principal na aplicação da etapa de controle da metodologia DMAIC. O objetivo das cartas de controle é assegurar o controle de um processo mediante a assistência do comportamento de uma ou várias medidas, verificando se o processo permanece com o desempenho previsível, fazer previsões dos desempenhos futuros e, quando necessário, gerar sugestões para ações corretivas. (CORRÊA; CORRÊA, 2006, PANDE; NEUMAN; CAVANAGH, 2001, RAMOS, 2008).

Conforme Ramos (2008), existem dois tipos de gráficos de controle:

- i. Variáveis: são empregadas em amostras que podem ser representadas por unidades quantitativas de medida (altura, tempo, peso, temperatura, comprimento etc). Os principais tipos de gráficos de controle para variáveis são:
 - a. Gráfico de média e amplitude (\bar{x} -barra e R);
 - b. Gráficos da média e desvio-padrão (\bar{x} -barra e s);
 - c. Gráficos do valor individual e amplitude móvel (x e Rm).
- ii. Atributos: são utilizadas em casos que as características desejadas não podem ser medidas numericamente (número de defeitos, número de unidades defeituosas etc). Os principais tipos de gráficos de controle para atributos são:
 - a. Gráfico da fração defeituosa (p);
 - b. Gráfico do número de defeituosos na amostra (np);
 - c. Gráfico do número de defeitos na amostra (c);
 - d. Gráfico do número de defeitos por unidade de inspeção (u).

Eckes (2001, p.219) fala sobre cinco passos para a utilização do gráfico de controle como ferramenta de controle do ciclo DMAIC:

1. Coletar dados em seqüência cronológica: para identificar causas comuns ou especiais no processo é preciso coletar dados que variam no decorrer de um período de tempo. Com isto, esta coleta tem que ser seqüencial, pois se for tomado uma amostra aleatória, o gráfico não irá indicar uma variação de causa especial;
2. Cálculo das médias dos subgrupos e faixas dos subgrupos;
3. Cálculo dos limites de controle com base nas estatísticas: calcular os limites de variação do processo.
 - Limite Superior de controle (LSC) = $\bar{X} + A_2\bar{R}$
 - Limite Inferior de controle (LIC) = $\bar{X} - A_2\bar{R}$
4. Colocar as médias, as faixas dos subgrupos e os limites de controle no gráfico;
5. Analisar, interpretar e utilizar o gráfico para manutenção e posteriores melhorias: os passos de 1 a 4 são realizados por programas informatizados, no entanto, o passo 5 requer análise imperativa pela equipe Seis Sigma. Alguns elementos, segundo Eckes (2001) e Pande, Neuman e Cavanagh (2001), precisam ser examinados em um gráfico de controle para obter consistência nas tomadas de decisões:
 - i. Pontos discrepantes ou fora de controle: são pontos fora de controle, tanto nas médias quanto nas faixas;
 - ii. Desvios ou deslocamentos: uma seqüência de mais ou menos sete pontos acima ou abaixo do centro ou linha média;
 - iii. Tendências: uma seqüência de mais ou menos sete pontos em ascensão ou queda contínua;
 - iv. Padrões incomuns ou periodicidade: uma seqüência de pontos alternando acima e abaixo da média, com forma de uma “onda”.

De acordo com Pande, Neuman e Cavanagh (2001, p.372), os gráficos de controle oferecem três aplicações importantes no programa Seis Sigma:

1. Na etapa de medição do ciclo DMAIC, eles ajudam a identificar o tipo e a repetição de problemas ou de situação “fora de controle”;
2. No caso de se implementar uma solução, auxiliam no rastreamento dos resultados, mostrando como as variações e o desempenho foram afetados;

3. Os gráficos de controle também alertam o observador para qualquer variação incomum no processo.

7. Diagrama de dispersão ou diagrama de correlação

Conforme Eckes (2001), o diagrama de dispersão é um gráfico cartesiano que relaciona duas variáveis existentes, visando verificar se uma variável resultante (Y) pode ser esclarecida por uma variável do processo (X). E pode ser usado para determinar o grau em que o aumento de um fator está ligado ao aumento ou diminuição de outro fator e também para avaliar a relação entre uma suposta causa de um problema e o seu sintoma (PANDE; NEUMAN; CAVANAGH, 2001). Sua elaboração é muito simples e, segundo Eckes (2001, p.153), basta seguir os seguintes passos:

- Coletar dados brutos sobre X e Y.
- Determinar os incrementos para X e Y.
- Rotular os eixos X e Y.
- Interpretar o diagrama segundo o padrão estabelecido.

Pande, Neuman e Cavanagh (2001, p.276) apresentam diversos tipos de correlações que podem ser encontradas em um diagrama de dispersão:

- Correlação positiva: quando o aumento de um fator acompanha o outro;
- Correlação negativa: o aumento ou diminuição de um fator equivale ao efeito oposto do outro;
- Correlação curvilínea: para alguns fatores que apresentam correlação positiva ou negativa, em certo ponto se transformam no oposto.

8. Diagrama de causa e efeito ou diagrama de *Ishikawa*

Conforme Corrêa e Corrêa (2006), o diagrama de causa e efeito é uma ferramenta muito simples, porém eficaz, pois auxilia na condução de *brainstorming* (técnica utilizada para explorar a criatividade de uma equipe, através de ideias, para avaliar e solucionar problemas). Segundo Slack, Chambers e Johnston (2002), Ramos (2004) e Braz (2008), o

diagrama de *Ishikawa* é um método efetivo para ajudar a identificar as causas-raízes dos problemas, utilizando seis elementos (6 M's) para esta identificação: mão-de-obra, máquinas, métodos, materiais, meio ambiente e medida (veja figura 2.2).

Para se construir um diagrama de causa e efeito, o procedimento é o seguinte (SLACK; CHAMBERS; JOHNSTON, 2002, p.610):

1. Destacar o problema no local do efeito;
2. Identificar as categorias das causas potenciais do problema (6 M's);
3. Buscar sistematicamente fatos e informações sobre as possíveis causas de cada categoria;
4. Registrar as causas potenciais no diagrama dentro de cada categoria e discutir os itens para determinar as causas reais do problema.

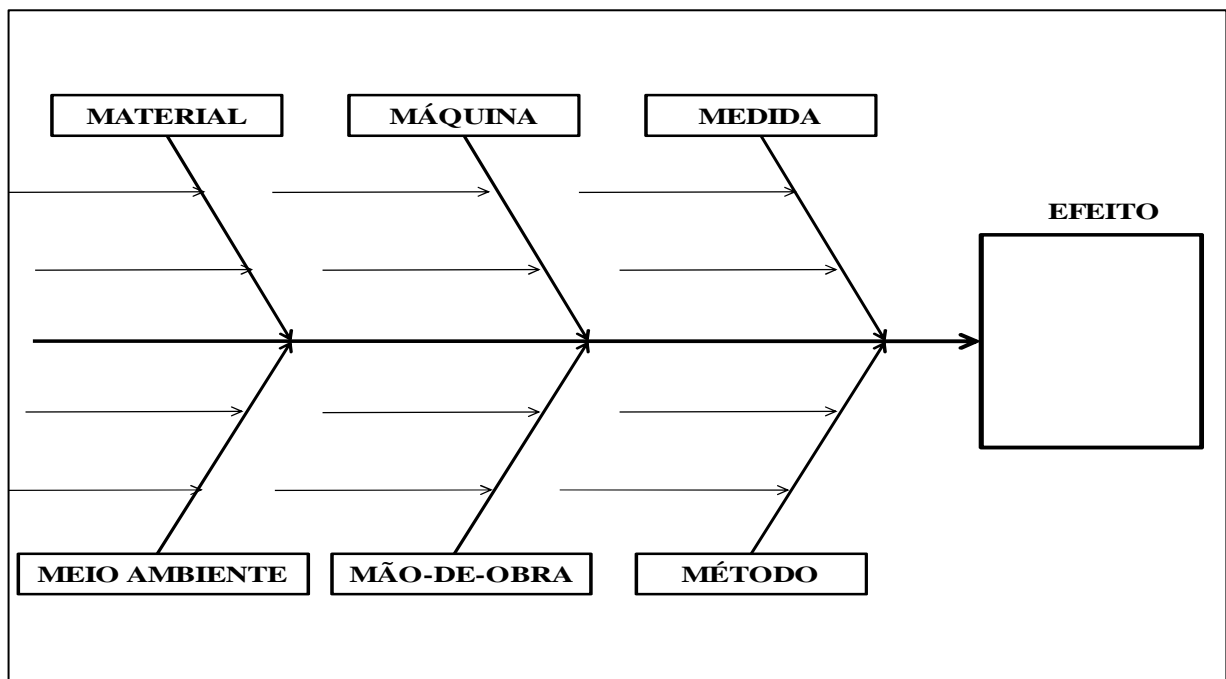


Figura 2.2: Diagrama de Ishikawa

9. Análise de modo e efeito de falha (FMEA – *Failure Mode and Effect Analysis*)

De acordo com Chase, Jacobs e Aquilano (2006), o FMEA “é uma abordagem estruturada para identificar, estimar, priorizar e avaliar o risco de possíveis falhas em cada estágio de um processo”. Esta ferramenta, segundo Pande, Neuman e Cavanagh (2001), é composta por um conjunto de diretrizes, um processo e uma forma de se identificar falhas. O

FMEA é utilizado para identificar todos os tipos de falhas potenciais, determinar o efeito destas falhas sobre o desempenho do processo ou do produto, dar prioridade aos modos de falhas em função de seus efeitos, através de índices de severidade, de ocorrência e de detecção, e identificar ações para mitigar ou eliminar a possibilidade da falha voltar a ocorrer (BRAZ, 2008).

Segundo Braz (2008), o FMEA é constituído basicamente por uma única tabela, que é o próprio roteiro para o seu desenvolvimento (ver Figura 2.3).

Função do Processo	Modo de falha potencial	Efeito(s) potencial(is) da falha	Índice de severidade	Causa(s) e mecanismo(s) potencial(is)	Índice de ocorrência	Controles atuais do processo	Índice de detecção	NPR	Ações recomendadas	Responsável e prazo	Ações Tomadas	Resultado das ações					
												Severidade	Ocorrência	Deteção	NPR		

Figura 2.3: Formulário básico

Fonte: BRAZ, 2008, p.156

Pande, Neuman e Cavanagh (2001, p.388) descrevem como o FMEA funciona, apresentando algumas etapas e conceitos-chave sobre o roteiro de desenvolvimento desta ferramenta:

- i. Identificar o processo ou produto;
- ii. Fazer uma lista dos problemas potenciais (Modo de falha potencial);
- iii. Classificar os problemas por severidade, frequência de ocorrência e detectabilidade;
- iv. Calcular o número de prioridade de risco (NPR) e definir as prioridades das ações;
- v. Desenvolver ações para reduzir o risco.

10. Análise dos Cinco Porquês

A análise dos Cinco Porquês é uma ferramenta que auxilia na análise de falhas, no qual se procura explicar as causas-raízes identificadas. Através de um *brainstorming* estas causas-raízes são questionadas e levantadas diversas hipóteses para que se consiga entender o porquê elas aconteceram.

Embora a análise sugira cinco perguntas, certamente isso serve apenas como uma orientação. Algumas análises podem levantar seis ou sete ideias, enquanto outras, apenas três ou quatro (ECKES, 2001).

11. Planejamento de experimentos (DOE – *Design of Experiments*)

O planejamento de experimentos (DOE) é uma ferramenta utilizada para testar e aprimorar o desempenho de processos, produtos ou soluções, buscando determinar a relação de causa e efeito entre as variáveis de um processo, produto ou soluções (Xs) e as variáveis de resultado (Y). Esta ferramenta difere dos testes estatísticos padrão, por permitir experimentar diversas variáveis ao mesmo tempo após uma cuidadosa seleção de um conjunto (CHASE; JACOBS; AQUILANO, 2006).

Em um programa Seis Sigma, o DOE pode ser empregado de diversas maneiras, auxiliando: na avaliação do sistema Voz do Cliente (coleta de informações sobre clientes e, às vezes, até de concorrentes), na escolha de fatores para selecionar a causa-raiz vital de um problema, na avaliação de produtos e processos para identificar problemas potenciais e reduzir defeitos e no teste de soluções potenciais para identificar a solução ótima (PANDE; NEUMAN; CAVANAGH, 2001).

Pande, Neuman e Cavanagh (2001, p.385) propõem algumas etapas para o desenvolvimento do DOE:

- i. Identificar os fatores a serem avaliados;
- ii. Definir os níveis dos fatores a serem testados;
- iii. Criar uma lista de combinações experimentais;
- iv. Conduzir o experimento sob as condições prescritas;
- v. Avaliar os resultados e as conclusões.

2.4. Considerações finais

A finalidade deste capítulo é oferecer um conhecimento teórico da metodologia Seis Sigma, iniciando com a conceituação e evolução da qualidade, prosseguindo com um sucinta explicação do TQM e concluindo com a apresentação do programa Seis Sigma, do processo de melhoria contínua DMAIC e das ferramentas utilizadas na metodologia estudada.

Com o conhecimento obtido neste capítulo será possível aplicar a metodologia Seis Sigma como base de referência para análise dos resultados da presente pesquisa.

3. PROCEDIMENTOS METODOLÓGICOS

No desenvolver deste capítulo será apresentado o método de pesquisa utilizado para a realização do trabalho, seguido da seleção da unidade de análise e pesquisa, das técnicas escolhidas para coleta e análise de dados, da limitação do trabalho e do método proposto aplicado à indústria moageira de trigo e baseado na metodologia DMAIC, no qual será realizada a identificação de problemas no processo e de suas respectivas causas-raízes, e a proposta de uma melhoria, mediante a elaboração de um plano de ação.

3.1. Classificação da pesquisa

A presente pesquisa visa à compreensão dos conceitos da metodologia Seis Sigma, aprofundando-se no ciclo de melhoria contínua DMAIC (definir, medir, analisar, melhorar, controlar), com o intuito de aplicar estes conceitos na busca de soluções adequadas para os problemas identificados nos processos de produção de uma indústria de alimentos.

O atual trabalho discorre sobre questões ligadas a problemas de produção identificados e melhorados através de técnicas da metodologia Seis Sigma. Portanto, a forma de abordagem do problema será predominantemente quantitativa, utilizando a mensuração dos resultados obtidos para comprovar a eficácia e a eficiência deste sistema de qualidade. Porém, a interpretação dos resultados do programa de melhoria será feita segundo a abordagem qualitativa.

O objetivo da pesquisa é descobrir, entender e resolver os problemas em um processo produtivo, portanto a pesquisa explicativa é a que mais se enquadra a este trabalho, pois busca

descrever as causas e os fatores de ocorrência dos problemas e suas respectivas soluções. Será possível propiciar à empresa melhorias nos seus processos de produção, pois o estudo realizado visa gerar conhecimento mediante revisão bibliográfica, através de livros e artigos sobre o gerenciamento da qualidade e a estratégia Seis Sigma, e pesquisa-ação na indústria, para auxiliar na coleta e análise de dados, na identificação de problemas e na avaliação dos resultados obtidos. Com o desenvolvimento destes conhecimentos será possível propiciar à empresa melhorias nos seus processos de produção.

Este estudo foi dividido em quatro fases, descritas abaixo:

1. Revisão bibliográfica: pesquisa e análise de livros e artigos sobre gestão da qualidade e estratégia Seis Sigma;
2. Escolha de unidade de análise: neste caso, uma indústria de alimentos foi escolhida, pelo fato do seu interesse na melhoria de seus processos produtivos;
3. Análise e coleta de dados: levantamento e análise de dados sobre os processos de produção;
4. Análise de resultados: os resultados obtidos serão analisados com o objetivo de propor melhorias para os processos críticos identificados.

3.2. Coleta e análise de dados

Considerando a natureza deste trabalho, as seguintes técnicas foram utilizadas para coleta de dados:

- Observação direta para examinar o ambiente de estudo, conhecer os processos produtivos e avaliar comportamentos importantes.
- Análise documental para comprovar e tornar mais confiáveis as evidências adquiridas com a coleta de dados.

A indústria a ser estudada apresenta um sistema de produção contínuo, no qual sua produção, segundo Slack, Chambers e Johnston (2002), opera com volumes altos e variedade baixa, produzindo produtos inseparáveis e com fluxo ininterrupto e previsível. A tecnologia utilizada neste processo é relativamente inflexível e de capital intensivo. Com base no objetivo deste trabalho e no sistema produtivo da indústria, a coleta de dados se voltará à demarcação dos tempos de paradas nos setores de produção. Estes tempos foram anotados

num livro de controle de paradas não programadas, livro este que contém as seguintes informações sobre as paradas: data, equipamento (máquina), hora inicial, hora final, sintoma, causa, solução e operador. A cada parada que há na produção, os operadores preenchem este livro, e cumprem a primeira etapa da coleta de dados.

A segunda etapa da coleta de dados é transportar os dados coletados no livro para uma lista de verificação de controle de paradas. Nesta lista é preenchida a data, o equipamento, a falha, a descrição da falha, a hora total e a tonelada que cada parada anotada no livro representa.

A terceira etapa da coleta de dados é verificar semanalmente a lista de controle de paradas, e em seguida elaborar um relatório da situação produtiva da fábrica em relação às perdas de produção provenientes das paradas não programadas.

3.3. Metodologia Proposta

Segundo Pande, Neuman e Cavanagh (2001, p.293), o foco do processo de melhoria Seis Sigma se baseia em:

1. Encontrar um problema e o esclarecer (Definir).
2. Medir o problema e o estreitar (Medir).
3. Mergulhar em dados e no processo, aprender a respeito do problema e descobrir o que o estava causando (Analisar).
4. Considerar a causa e direcionar soluções para minimizá-la, amenizá-la ou eliminá-la (Melhorar).

O autor faz uso de um método que tem como base a estrutura DMAIC de melhoria contínua, seguido os passos do ciclo até a etapa Melhorar, como descrito no item “Limitação do método”. Em cada etapa serão discriminada as entradas do processo, as atividades necessárias para sua realização, incluindo suas respectivas ferramentas da qualidade e, por fim, as saídas do processo.

Como se pode ver, o programa Seis Sigma tem como guia de aplicação o ciclo DMAIC, embora a implantação do Seis Sigma não seja o foco deste trabalho. Portanto, o procedimento de melhoria DMAIC será a base desta pesquisa-ação, no qual serão seguidos seus passos e aplicadas as ferramentas que mais se adéquem a necessidade do processo analisado. Segue abaixo o fluxograma do método utilizado para melhorar processos produtivos:

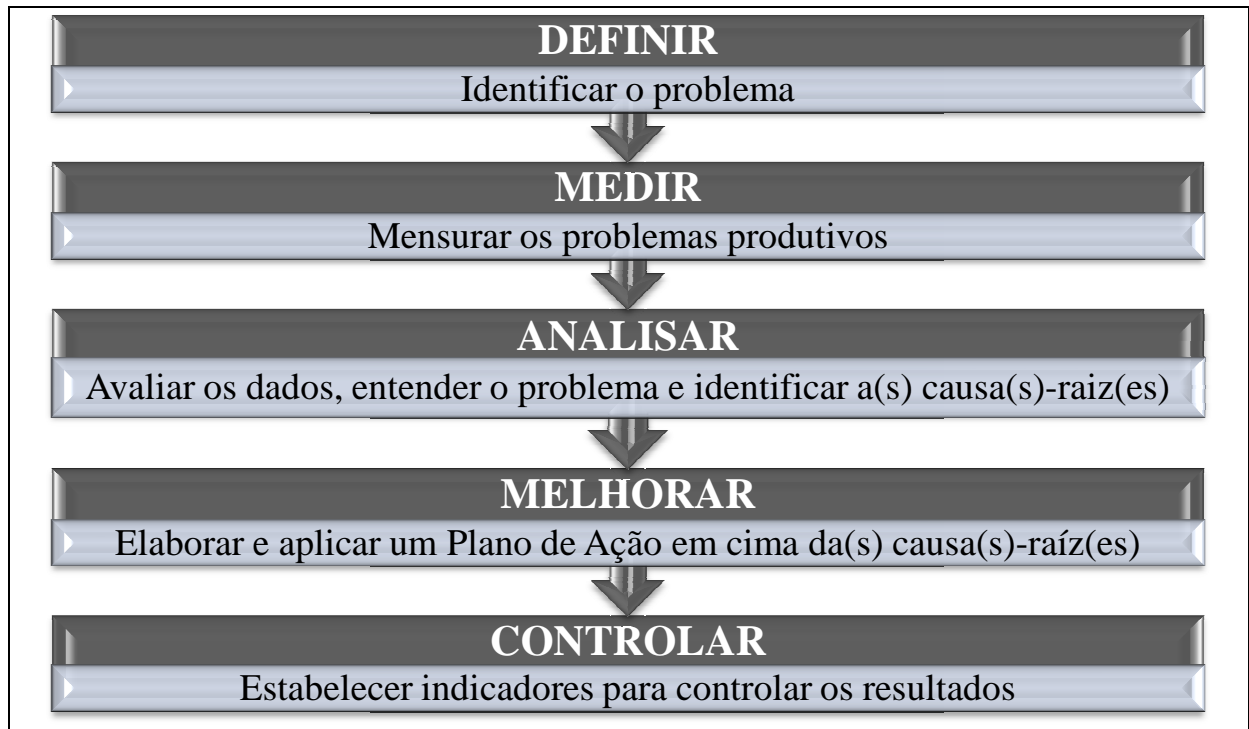


Figura 3.1: Fluxograma do método proposto

3.3.1. Definir - Identificando o Problema

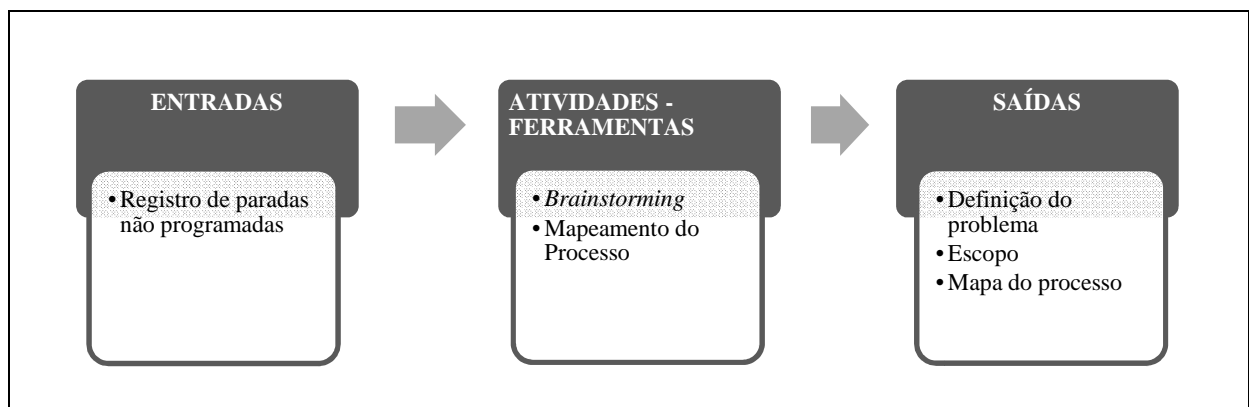


Figura 3.2: Definir

A definição do problema

Para uma boa definição do problema, a primeira atitude a ser tomada é determinar um período de tempo específico. De acordo com o cronograma deste trabalho e a disponibilidade

da empresa, os dados foram coletados nos meses de março e abril. Portanto, o problema identificado está situado dentro deste período. A segunda iniciativa é específica e mensurável, tornando perceptível a magnitude e o quanto o problema pode ser melhorado. No caso da indústria moageira, esta especificidade e mensurabilidade se darão em quantidades de horas que o processo ficou parado (ECKES, 2001).

O terceiro passo é descrever o quanto o problema impactará sobre os negócios, gerando perdas para a indústria. Este impacto será representado em quantidade de toneladas de farinha que o moinho deixou de produzir. E, por fim, o quarto, e último passo, é deixar claro a lacuna que existe entre a situação desejada e a situação real. Através da especificação e mensuração do problema, é possível deixar visível aos acionistas a distância que há entre o produção real e a produção orçada (ECKES, 2001).

O Escopo

Segundo Pande, Neuman e Cavanagh (2001), o escopo são os limites dentro das atividades dos processos que foram utilizadas para a aplicação do programa Seis Sigma. Para que seja possível defini-lo, é preciso conhecer os processos de produção da indústria. Tais processos se dividem em: Recebimento, Análise, Descarga e Armazenamento de Trigo, 1ª Limpeza, Descanso, 2ª Limpeza, Moagem, Transilagem (Farinha e Farelo), Envase (5 X 5, 10 X 1, Carrossel, Pré-mistura e Farelo) e Armazenamento (Farinha e Farelo).

O Mapa do Processo

Conforme Eckes (2001), um mapa do processo deve ser uma figura de alto nível que consiga representar como o processo em questão está operando no momento. Após determinar o processo crítico, será necessário criar seu mapeamento, que não é nada mais do que uma série de retângulos (atividades) e losangos (decisões), ligados por setas que representam o fluxo do processo (PANDE; NEUMAN; CAVANAGH, 2001).

Criar o Mapa do Processo é o último passo da etapa “Definir” do Ciclo DMAIC. Além de encerrar esta etapa, a criação do mapa auxilia no esclarecimento do trabalho realizado e do funcionamento do processo, trazendo à luz alguns problemas corriqueiros do setor.

3.3.2. Medir – Mensurando os problemas através da coleta de dados



Figura 3.3: Medir

O que medir?

Segundo Eckes (2001), a mensuração se inicia com o Mapa do Processo, ou seja, com a compreensão do processo a ser medido. E com base nos estudos em campo de processos contínuos, o tempo é a medida mais coerente à análise a ser realizada. Pande, Neuman e Cavanagh (2001) dizem que o tempo é uma das coisas mais fáceis de serem medidas e também uma das mais importantes na esfera de negócios atualmente.

Tipo de dados

Segundo Pande, Neuman e Cavanagh (2001), existem dois tipos de dados: os discretos e os contínuos. Os dados discretos são os fatores que não podem ser medidos em uma escala divisível. Eles são do tipo binário (sim ou não, ligado ou desligado, etc). Os dados contínuos, por sua vez, existem em um *continuum* divisível, como temperatura, tempo, altura, peso, etc.

Para a definição do dado a ser utilizado, é preciso analisar como o processo afeta diretamente o cliente. Portanto é necessário entender o processo produtivo da indústria e buscar aplicar as ferramentas que mais se enquadram no cenário da organização. Dentro de um processo de manufatura, por exemplo, os dados que mais irão interessar ao programa de melhoria DMAIC são a quantidade produzida, a quantidade de defeitos, entre outros fatores.

Com base nisto, indicadores de desempenho são utilizados para medir a situação da indústria. Abaixo estão descritos alguns destes indicadores:

- Tempo de ciclo da operação;
- Produtividade do equipamento;
- Produtividade da mão-de-obra;
- Índices de refugos e retrabalhos;
- Capacidade nominal;
- Capacidade efetiva;
- Utilização da capacidade da fábrica;
- Eficiência da capacidade da fábrica;
- Eficácia dos equipamentos;
- Taxa de defeitos;
- Taxa de falhas;
- Tempo médio entre falhas;
- Índice de disponibilidade;
- Defeitos por unidade.

- **Capacidade de Produção**

Capacidade é a produção máxima de uma fábrica, ou seja, é o máximo nível de atividade de valor agregado que o processo pode realizar em um determinado período de tempo sob condições normais de operação (MARTINS; LAUGENI, 2005). Segundo Chase, Jacobs e Aquilano (2006, p. 378), capacidade “é a quantidade de saída que um sistema é capaz de atingir sobre um período específico de tempo”. Slack, Chambers e Johnston (2009) apresentam duas definições para medir a capacidade produtiva de uma fábrica. Estas medidas estão diretamente relacionadas com o foco da empresa. No caso de empresas de serviços, em que os insumos são mais críticos, ela é definida como **medida de capacidade de insumos**. Para empresas industriais, ela é definida como **medida de capacidade de volume de produção**.

Dentro destes conceitos de capacidade, Slack, Chambers e Johnston (2009) e Martins e Laugeni (2005) apresentam algumas formas de entendê-la:

1. **Capacidade Teórica ou Capacidade do Projeto:** é a capacidade de produção que os fabricantes ou fornecedores projetaram para os equipamentos;
2. **Capacidade Efetiva:** é a capacidade que o equipamento apresenta deduzindo todas as paradas tecnicamente necessárias para que o sistema produtivo opere adequadamente;
3. **Volume de Produção Real:** é o quanto foi produzido atualmente;
4. **Capacidade Nominal:** capacidade de produção média durante períodos longos sem sobrecarregar recursos internos. Neste caso, a fábrica pode até produzir acima da capacidade, no entanto existem razões técnicas que não aconselham uma produção fora desta escala nominal.

Estas definições de capacidade são de grande importância para auxiliar na determinação de alguns indicadores de desempenho, que podem ser utilizados na etapa de Mensuração do programa Seis Sigma. A capacidade teórica é o quanto a fábrica pode operar segundo especificações do seu projeto. A capacidade efetiva é a capacidade teórica deduzindo as perdas do processo.

Dentre os indicadores ligados à capacidade produtiva, a *utilização* e a *eficiência da planta* são os mais utilizados.

→ **Utilização da capacidade**

De acordo com Slack, Chambers e Johnston (2009), utilização é a proporção entre o volume de produção realmente alcançado por uma operação e a capacidade teórica:

$$\text{UTILIZAÇÃO} = \text{VOLUME DE PRODUÇÃO REAL} / \text{CAPACIDADE DE PROJETO}$$

Segundo Corrêa e Corrêa (2006), a utilização dá uma noção de quanto a capacidade teórica está disponível para uso. A capacidade efetiva se difere da capacidade teórica pelo que Corrêa e Corrêa (2006) chamam de “indisponibilidade”. Conforme os autores, há paradas no processo produtivo, como quebra de equipamento, falta de energia, mudança de produção ou outras causas, que indisponibilizam os ativos durante a produção. Estas paradas acontecem por duas causas: as inevitáveis ou planejadas e evitáveis ou não-planejadas. As planejadas se referem a uma queda de energia, uma manutenção preventiva ou um *setup*, por exemplo. As não-planejadas são exemplificadas por quebras de um equipamento ou falhas operacionais.

→ **Eficiência**

A eficiência da planta, conforme Slack, Chambers e Johnston (2009), é a proporção entre o volume de produção real e a capacidade efetiva:

$$\text{EFICIÊNCIA} = \text{VOLUME DE PRODUÇÃO REAL} / \text{CAPACIDADE EFETIVA}$$

De acordo com Corrêa e Corrêa (2006), a eficiência busca demonstrar quão bem o tempo disponível do processo está sendo utilizado. Este indicador procura refletir quanta saída está sendo gerada de fato em relação com a capacidade trabalhando efetivamente.

Taxa de falhas (TF)

De acordo com Slack, Chambers e Johnston (2009), a taxa de falhas é número de falhas que ocorrem em um determinado período de tempo. Esta taxa representa a quantidade de falhas que vieram a acontecer em um tempo de operação especificado:

$$\text{TF} = \text{NÚMERO DE FALHAS} / \text{TEMPO DE OPERAÇÃO}$$

Tempo médio entre falhas (TMEF)

O TMEF é definido como o inverso da Taxa de Falhas (TF) descrito acima (CORRÊA e CORRÊA, 2006). O TMEF representa o tempo que se deve esperar para que uma falha aconteça.

$$\text{TMEF} = \text{TEMPO DE OPERAÇÃO} / \text{NÚMERO DE FALHAS}$$

ou

$$\text{TMEF} = 1 / \text{TF}$$

Tanto o TMEF ou MTBF (*mean time between failures*) quanto a TF são obtidos através de ensaios sobre uma amostra no qual se mede quantas falhas ocorreram no teste, com um período de tempo determinado (CORRÊA; CORRÊA, 2006).

Tempo médio de reparo (TMDR)

Slack, Chambers e Johnston (2009) chamam de TMDR ou MTTR (*mean time to repair*), o tempo médio que é necessário para restaurar a produção, do momento da falha até o momento em que volta a operar. Para Corrêa e Corrêa (2006) este tempo médio para reparar uma falha ou realizar uma manutenção preventiva é chamado de Tempo médio para reparação (TMPR). O TMDR ou TMPR é uma ação que consome o tempo estipulado para a operação, ocasionado assim um comprometimento na disponibilidade da capacidade de produção.

De acordo com Corrêa e Corrêa (2006), o TMDR compreende o tempo consumido desde a parada do recurso por causa de uma falha ou manutenção até o recurso voltar a operar normalmente.

Disponibilidade (D)

Disponibilidade, segundo Slack, Chambers e Johnston (2009), é o nível em que a operação está apta para funcionar. Para Corrêa e Corrêa (2006), a disponibilidade é quando o recurso está pronto para ser usado, considerando a relação entre o tempo em que está realmente disponível e o tempo total previsto para a sua operação:

$$\mathbf{D = TEMPO DISPONÍVEL / TEMPO TOTAL}$$

O tempo que um recurso está disponível é representado pelo tempo entre duas falhas sucessivas, que é representado pelo TMEF. Já o tempo total é a soma entre o tempo disponível (TMEF) e o tempo que o recurso está em manutenção ou aguardando por ela, neste caso o TMDR (CORRÊA; CORRÊA, 2006).

$$\mathbf{D = TMEF / (TMEF + TMDR)}$$

Eficácia geral de equipamento (OEE – Overall Equipment Effectiveness)

Conforme Santos e Santos (2007), o indicador OEE é uma ferramenta utilizada pelas empresas para que elas possam analisar as reais condições de uso dos seus ativos. Este índice busca levar em consideração todos os impactos que ocorreram na operação em consequência da indisponibilidade de seus recursos (CORRÊA e CORRÊA, 2006). A análise destes impactos se inicia com a identificação das perdas que existem no processo produtivo, envolvendo os desempenhos de disponibilidade, *performance* e qualidade do equipamento (SANTOS e SANTOS, 2007).

A Eficácia Geral de Equipamentos pode ser calculada pelo produto destes desempenhos analisados:

$$\text{OEE} = \text{DISPONIBILIDADE} \times \text{PERFORMANCE} \times \text{QUALIDADE}$$

O **índice de disponibilidade**, como já descrito anteriormente, é a relação que existe entre o tempo total que o equipamento está disponível, também chamado tempo de carga, com o tempo em que o equipamento realmente operou (CHIARADIA, 2004). Este tempo de carga pode ser calculado pela diferença entre o tempo teórico disponível e as paradas programadas (manutenção preventiva e preditiva, treinamentos, limpezas, *setups*, etc) :

$$\text{TEMPO DE CARGA} = \text{TEMPO TEÓRICO DISPONÍVEL} - \text{PARADAS PROGRAMADAS}$$

Para calcular o tempo que o equipamento está operando efetivamente, basta deduzir as paradas não-programadas do tempo de carga, e dessa forma identificar o índice de disponibilidade:

$$\text{ÍNDICE DE DISPONIBILIDADE} = (\text{TEMPO DE CARGA} - \text{PARADAS NÃO PROGRAMADAS}) / \text{TEMPO DE CARGA}$$

O **índice de performance** é o quanto o tempo de ciclo real está próximo do tempo teórico (CHIARADIA, 2004). Este índice leva em consideração as perdas de ritmo que ocorrem devido a problemas nos recursos, como equipamento ocioso, atrasos, redução de velocidade, etc (CORRÊA e CORRÊA, 2006).

$$\text{ÍNDICE DE PERFORMANCE} = (\text{TEMPO DE CICLO TEÓRICO} \times \text{QUANTIDADE PRODUZIDA}) / \text{TEMPO DE OPERAÇÃO}$$

O terceiro índice para calcular o OEE, é o **índice de qualidade**, que avalia o quanto o equipamento está livre de falhas (Slack, Chambers e Johnston, 2009). Ele leva em conta os refugos e os reprocessos que originaram de falhas na produção (CORRÊA e CORRÊA, 2006).

$$\text{ÍNDICE DE QUALIDADE} = (\text{PRODUÇÃO} - \text{REFUGOS} - \text{REPROCESSOS}) / \text{PRODUÇÃO TOTAL}$$

Com relação a aplicação dos indicadores de manutenção TMEF/MTBR, TMDR/MTTR e Disponibilidade, Slack, Chambers e Johnston (2009) afirmam que eles são uma medida alternativa de falhas e que podem ser utilizados para controlar tanto um componente como um sistema. Neste caso, todos estes indicadores serão aplicados para mensurar a situação do moinho, eles não irão mensurar o nível de cada equipamento do sistema.

3.3.3. Analisar – Analisando o processo e os dados coletados para identificação das causas raízes

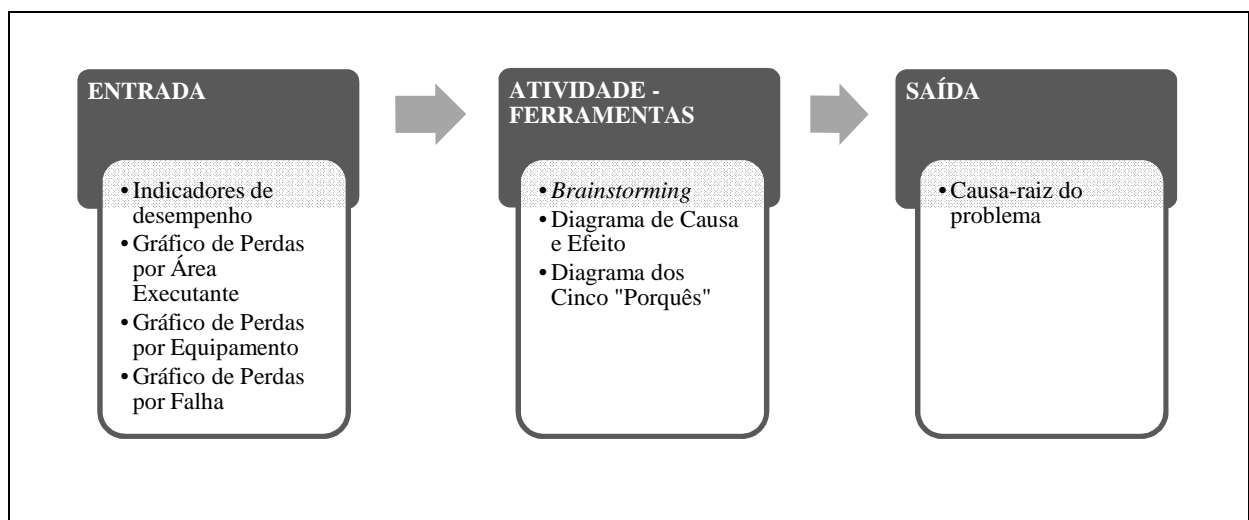


Figura 3.4: Analisar

A análise de dados é realizada através da utilização das medidas e dos dados já coletados na etapa de Mensuração, para compreender padrões, tendências ou outros fatores que possam auxiliar na identificação das causas possíveis do problema. A análise de processos, por sua vez, é executada por meio de uma investigação e entendimento de como o trabalho está sendo realizado. Esta investigação irá auxiliar na identificação das inconstâncias, das irregularidades, da falta de atenção do pessoal ou das áreas que estão causando ou contribuindo para o problema (PANDE; NEUMAN; CAVANAGH, 2001).

Nesta etapa, os dados que foram coletados e mensurados nas etapas anteriores serão analisados em relação aos indicadores de desempenho calculados, para que seja possível tanto

diagnosticar a situação da indústria em relação a estes indicadores como poder demonstrar o problema com maior incidência dentre aqueles que ocorreram no período deste trabalho.

Análise da Raiz do Problema

Para realizar esta análise e identificar o problema, será realizada uma integração dos dados de paradas não programadas, e através de um gráfico de perdas por área executante será identificado a área no qual mais aconteceram paradas neste período. Conhecendo a área executante com maior tempo de parada, será utilizado o gráfico de Pareto para demonstrar em qual equipamento e qual a falha no qual as perdas por paradas mais incidiram.

Com estas informações, será realizado um *brainstorming* para atacar este problema e identificar sua causa-raiz mediante o uso do Diagrama de Ishikawa e posteriormente a Análise dos Cinco Porquês.

3.3.4. Melhorar – Elaboração e aplicação de um Plano de Ação

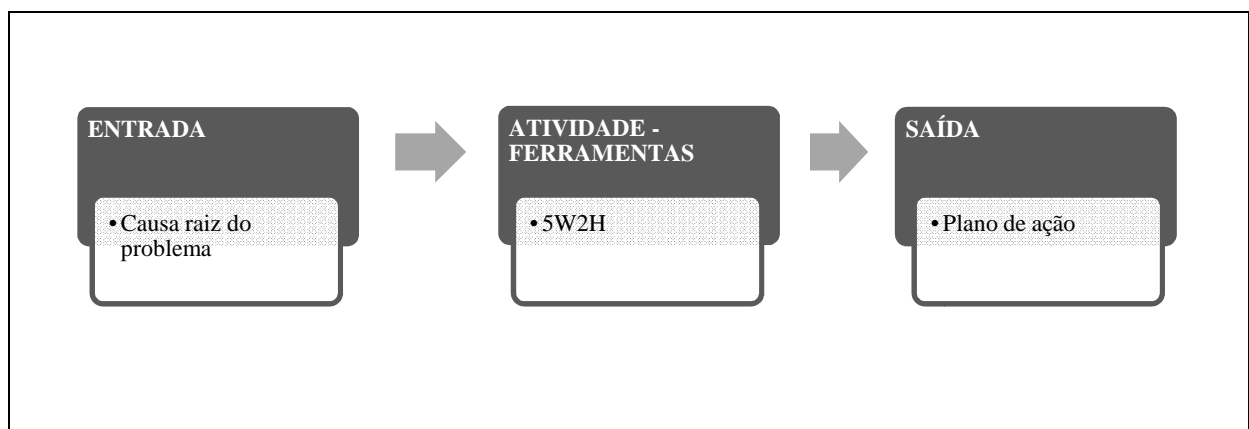


Figura 3.5: Melhorar

Depois de ter identificado, na etapa ANALISAR, as causas raízes que impactam o problema, existem duas coisas que podem ser feitas na etapa MELHORAR:

- I. Verificar se as causas identificadas realmente afetam o problema;
- II. Gerar ações que melhorem o processo.

Segundo Eckes (2001), a etapa MELHORAR tem como objetivo encontrar soluções para as causas levantadas na fase anterior, buscando eliminar, mitigar ou neutralizar seus efeitos. Nesta etapa, é necessária a elaboração de ações, com base nestas causas, que venham solucionar o problema. Conforme Ramos (2008), uma ferramenta que auxilia no planejamento da implantação destas ações é o **plano de ação**. Esta ferramenta tem a função de garantir que as ações planejadas sejam tomadas e que as mudanças estabelecidas sejam realizadas em tempo hábil.

O plano de ação é realizado através de um *brainstorming* entre os envolvidos com o problema, no qual o objetivo central da reunião é chegar às seguintes informações:

- Que ações devem ser tomadas para eliminar, reduzir ou neutralizar a causa raiz identificada?
 - Como estas ações serão realizadas?
 - Por quem serão realizadas?
 - Onde serão realizadas?
 - Qual a data prevista para o cumprimento delas?
 - Se houver algum custo, quanto estas ações irão custar?

Com estas informações é possível gerar o plano de ação, no qual pode ser utilizado o método 5W2H para armazená-las. O 5W2H é conjunto de perguntas que servem como um roteiro para o preenchimento do plano de ação. Nesta planilha contém as seguintes perguntas:

- O que (What)?
- Por que (Why)?
- Como (How)?
- Onde (Where)?
- Quem (Who)?
- Quando (When)?
- Quanto custa (How much)?

Depois de obter estas informações é muito importante que seja utilizado um indicador para acompanhar estes planos, como uma coluna que aponte o *status* do plano: Iniciada, Não Iniciada, Em andamento ou Concluída. Acompanhar a situação das ações é uma das partes mais importantes do plano de ação. Não basta planejar sem haver execução, pois projeto que fica apenas “papel” não gera melhorias no processo.

Outra característica do plano de ação, é que neste método ele será utilizado de forma dinâmica, ou seja, quando um problema for detectado no processo produtivo, em seguida ele é analisado e gerado um plano para solucionar suas causas-raízes.

3.3.5. Controlar – Estabelecendo Indicadores de desempenho

Devido à falta de tempo para acompanhar a evolução das melhorias que serão sugeridas pelo método proposto, a etapa CONTROLAR não será executada até o fim. No entanto, serão estabelecidos indicadores para serem utilizados pela empresa a fim de poderem demonstrar o seu desempenho. Estes indicadores foram descritos na etapa MEDIR, e devem ser representados para a empresa através do seguinte painel de indicadores:

INDICADOR	ATUAL	META		FÓRMULA	INSTRUMENTO	FREQUÊNCIA	RESPONSÁVEL
		MELHORIA	PRAZO				

Quadro 3.1: Quadro para a estruturação do painel de indicadores

Os elementos deste painel de indicadores podem ser explicados pelo quadro 3.2 abaixo:

Elemento	Significado
Indicador	É aquilo que se deseja medir. Além das medidas relacionadas com as metas, pode-se sugerir outros indicadores relevantes.
Atual	É a mensuração atual do indicador.
Meta	É dividida em melhoria e prazo. A melhoria é o quanto se deseja atingir no indicador e o prazo é em quanto tempo a meta deve ser alcançada.
Fórmula	É a maneira de quantificar o indicador. Se for necessário, deve ser definida em termos matemáticos, na forma de uma equação.
Instrumento	Refere-se às fontes de informação e ao procedimento de coleta de dados.
Frequência	Representa a periodicidade em que cada indicador deve ser medido.
Responsável	É a pessoa que deve fazer a medição e apresentar os indicadores periodicamente.

Quadro 3.2: Elementos constituintes do painel de indicadores
 Fonte: adaptado Santos e Gohr (2010, p. 109).

3.4. Limitação do método

Sempre existirão pontos fracos nos métodos utilizados pelas pesquisas. Neste trabalho, os pontos fracos estão na acuracidade dos dados coletados. Como a indústria ainda carece de um sistema de informação mais robusto em toda a fábrica, a coleta de dados pode sofrer pequenos desvios, porque as paradas que ocorrem na produção não são anotadas no momento em que a falha ocorre. A cada parada, os operadores devem buscar uma solução paliativa o mais rápido possível. Com isto, os dados só são anotados depois de a falha ser amenizada ou solucionada. Neste tempo, a informação da hora inicial e da hora final da parada podem não ser totalmente precisas, com desvio de alguns minutos.

Com relação à aplicação da metodologia, vale ressaltar, que a abordagem aqui utilizada, se limitará até a etapa MELHORAR (*Improve*) do ciclo DMAIC. Esta limitação ocorrerá devido à falta de tempo para o monitoramento dos resultados que exige a etapa CONTROLAR. Nesta fase, o trabalho deixará de apresentar a documentação e a padronização

da melhoria e um sistema de controle e verificação dos resultados. Embora a etapa CONTROLAR não seja realizada, os indicadores de desempenho serão definidos.

O método seguirá os demais passos (Definir, Medir, Analisar, Melhorar e Controlar), identificando as entradas, as atividades, suas respectivas ferramentas e as saídas de cada etapa.

3.5. Considerações finais

Neste capítulo foi descrito que o atual trabalho é classificado como uma pesquisa aplicada, que tem em vista identificar e propor melhorias em problemas no processo de produção estudado. Sua abordagem se direcionará para a abordagem quantitativa, pois será realizada a mensuração e a análise dos dados obtidos. Com relação ao objetivo deste trabalho, o ciclo de melhoria DMAIC será utilizado para descobrir, entender e propor soluções para os problemas encontrados nos processos produtivos, enquadrando-se em uma pesquisa explicativa.

O capítulo também apresenta como a coleta de dados será realizada e quais as limitações que o trabalho apresentará. Estas limitações ocorrerão por causa de dois fatores. O primeiro fator está ligado à falta de acurácia nos dados coletados, pois estes são anotados pelos próprios operadores, podendo incorrer em erros humanos. O outro fator está relacionado à falta de tempo para a aplicação deste trabalho. Segundo Eckes (2001), para que seja possível visualizar os resultados de uma melhoria que foi proposta e implantada, é necessário um período de mínimo 120 dias, diante disto, não será possível concluir a etapa CONTROLAR, ainda que os indicadores de desempenho sejam estabelecidos, e nem acompanhar totalmente a etapa MELHORAR, sendo que este trabalho não conseguirá apresentar o resultado da melhoria proposta.

E por fim, o capítulo propõe uma metodologia para identificar, medir, analisar e melhorar processos de produção com base no ciclo DMAIC. Esta metodologia utiliza princípios do programa Seis Sigma, objetivando reduzir, eliminar ou neutralizar as causas dos problemas produtivos, no qual cada etapa apresenta respectivamente suas entradas (*inputs*), suas atividades/ferramentas e suas saídas (*outputs*).

4. APLICAÇÃO DO MÉTODO

O capítulo quatro tem o objetivo de apresentar a aplicação do método proposto no capítulo anterior no processo de fabricação de farinha de trigo. Inicialmente, é feita uma breve caracterização da empresa, descrevendo sua origem e o setor no qual o método será aplicado. Em seguida, apresenta-se o detalhamento da aplicação do método, conforme as etapas da metodologia DMAIC: Definir, Medir, Analisar, Melhorar e Controlar.

4.1. Descrição da organização

A indústria em que o método foi aplicado pertence a uma empresa de grande porte, produtora de farinha de trigo. Sua sede é localizada na cidade de São Paulo (SP), com filiais em Belém (PA), Canoas (RS), Rio de Janeiro (RJ), Recife (PE), São Luís (MA) e Dourados (MS). A indústria faz parte de uma multinacional localizada na Suíça, sendo uma das líderes mundiais em industrialização e exportação de *commodities*.

A filial estudada será a de Dourados (MS), na qual a análise, mediante à metodologia DMAIC, será realizada no setor de Moagem. Este setor foi escolhido por três motivos. Primeiro, porque a moagem é considerada pelos moleiros e moageiros o processo principal da fabricação de farinha de trigo. Sem moagem, não há farinha. Segundo, porque este é o setor onde estão concentrados os maiores índices de investimentos e de gastos da indústria. E terceiro, porque é o setor que pode gerar maiores lucros para a empresa, pois quanto maior a porcentagem de extração retirada dos grãos de trigo, maior é a lucratividade da empresa, devido a eficiência do processo (relação *output/input*).

A filial não possui o programa Seis Sigma no seu escopo de trabalho, mas iniciou há algum tempo a implantação de algumas metodologias para a melhoria da qualidade, como o “5S”, o APPCC (Análise de Perigo e Pontos Críticos de Controle) e o POP (Procedimento Operacional Padrão). Este trabalho, como dito no capítulo 1, não tem como objetivo implantar o programa Seis Sigma de Qualidade na empresa, mas apenas usar a metodologia de melhoria contínua DMAIC (preconizada pelo programa Seis Sigma) para eliminar, reduzir ou amenizar problemas no processo de moagem. As técnicas do DMAIC foram utilizadas para melhorar este processo, com ênfase nos problemas relacionados com a manutenção industrial e no aumento da capacidade produtiva do moinho. Caso a indústria apresente interesse, o método poderá ser utilizado para atuar nos demais setores após o fim deste trabalho.

A indústria moageira de trigo, no qual o método será aplicado, tem profunda necessidade de melhorias em seu atual sistema de produção. Como o seu processo produtivo é de fluxo contínuo, as perdas por paradas de máquina são significativas para o seu orçamento. Com o intuito de se aliar às necessidades processuais da indústria, a metodologia DMAIC, será utilizada para alcançar a meta de reduzir as paradas não-programadas e os custos que estas paradas proporcionam.

A seguir apresenta-se a aplicação do método proposto:

4.2. DEFINIR

A primeira etapa do método descreve o problema identificado com os dados coletados, o escopo geral da indústria de moagem de trigo e o mapa do processo de moagem.

4.2.1. Definição do problema

O problema foi definido com base em estudos de paradas não programadas que ocorreram nos meses de março e abril de 2011 no setor de moagem. Ele foi mensurado em perdas de produção ocasionadas por estas paradas de máquina.

Problema: Nos meses de março e abril de 2011, o setor de moagem deixou de moer 1.183,54 toneladas de trigo, gerando uma perda de produção de aproximadamente 887,65 toneladas de farinha devido a paradas não-programadas.

4.2.2. Escopo Geral

Para limitar o campo de análise do atual trabalho, os processos foram avaliados junto à gerência da indústria com o seguinte critério: processo que apresente maior valor agregado à produção de farinha de trigo. Com este critério, o processo de Moagem foi selecionado. Portanto, o escopo deste trabalho se limitará a apenas este processo, como representado na figura 4.1 abaixo.

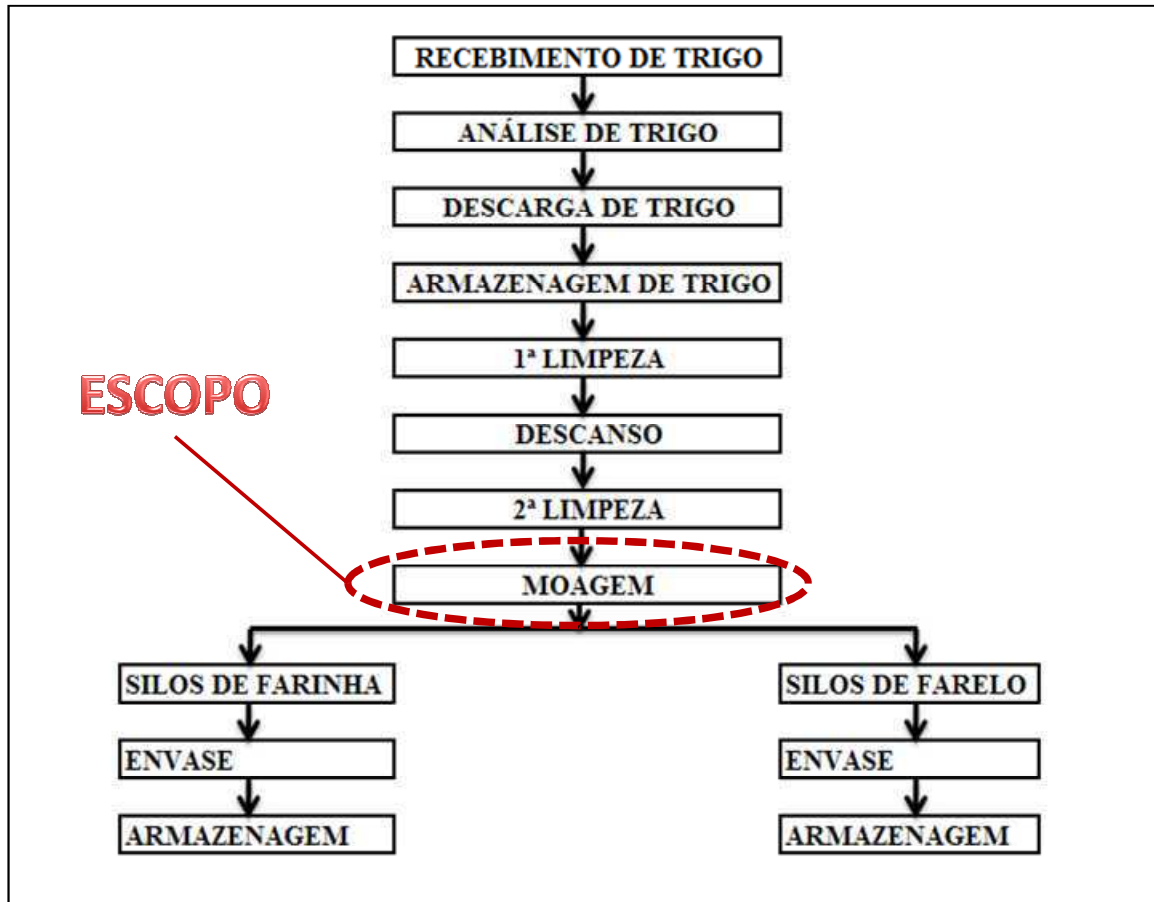


Figura 4.1: Fluxograma de produção de farinha de trigo e escopo da aplicação da metodologia

4.2.3. Mapa do processo

Com a definição do escopo do trabalho para o processo de moagem, o próximo passo foi a elaboração do Mapa do Processo, que é o fluxograma do processo. A indústria possui um diagrama que descreve o fluxo do produto no sistema, no entanto, ele não apresenta quais são as funcionalidades de cada etapa da moagem. Diante disto foi elaborado um mapa conciso que demonstra o fluxo do produto por etapas funcionais no processo de moagem, como mostra a figura 4.2.

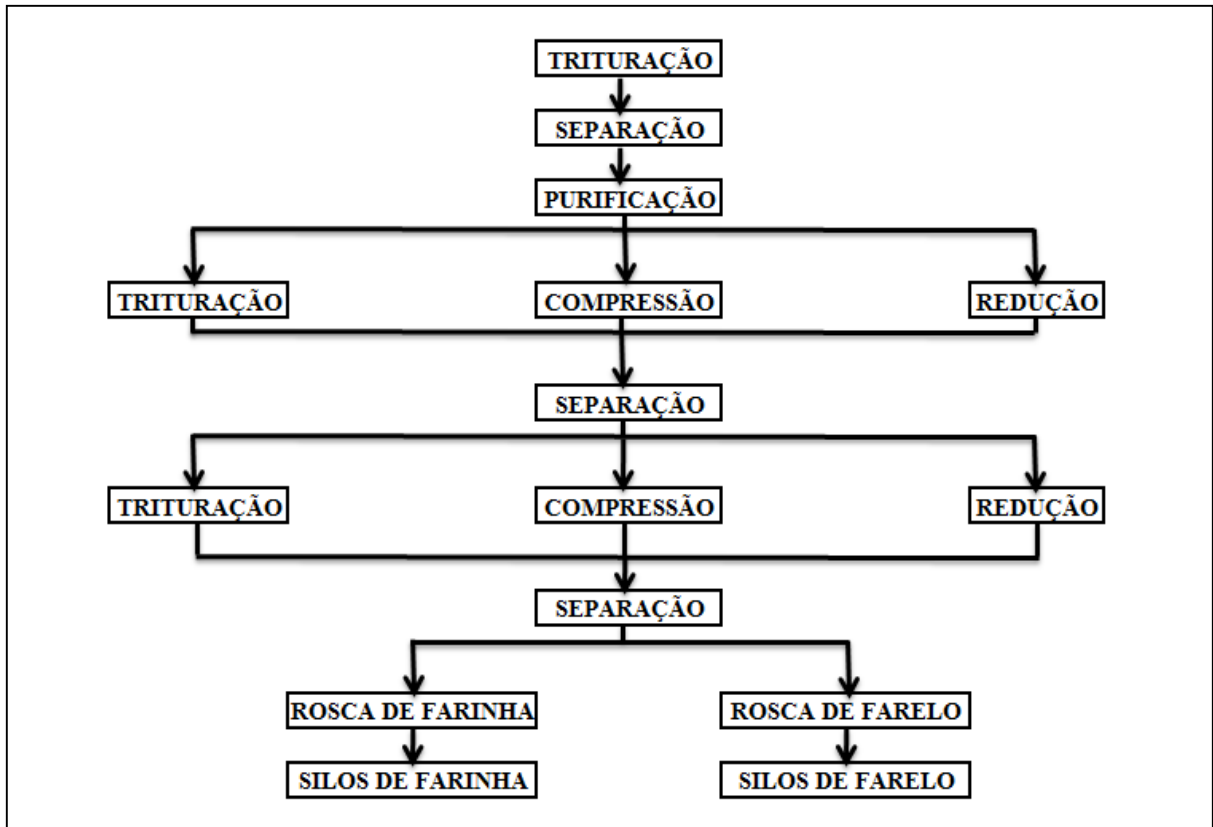


Figura 4.2: Fluxograma geral do processo de moagem

4.3. MEDIR

A segunda etapa do método apresenta os dados coletados para o desenvolvimento do trabalho, os indicadores utilizados como base para a mensuração do problema e, por fim, seus respectivos resultados.

4.3.1. O que medir?

Conforme foi identificado como necessidade da organização, as áreas que foram focadas neste estudo são a manutenção e capacidade de moagem da indústria. Baseando-se nestas áreas, a coleta de dados foi realizada com o foco nas paradas programadas e não programadas que ocorreram no processo de moagem durante os meses de março e abril de 2011. Também foram coletados dados referentes à capacidade produtiva do moinho, como a moagem nominal (capacidade nominal) e a moagem real (volume de produção real).

4.3.2. Mensuração dos dados

A base da coleta de dados está nos registros de paradas não programadas do moinho. Integrando estes dados, a mensuração das perdas por estas paradas que ocorreram no processo de moagem está representada pelas tabelas 4.1 e 4.2. Estas paradas foram separadas por áreas de execução, como é utilizado pela indústria. Estas áreas de execução são as especialidades destas paradas, ou seja, são as classificações das falhas. Estas áreas são divididas em operacional, mecânica, elétrica e externo. A falha operacional é aquela que procede de um erro humano. As falhas mecânicas e elétricas são provenientes de problemas mecânicos e elétricos, respectivamente, que ocorrem nas máquinas do moinho. E por fim, a falha externa é decorrente da queda de energia ou outros fatores externos ao processo de moagem. As falhas que ocorreram nestes dois meses estão representadas pela tabela. 4.3.

TABELA 4.1: Paradas não programadas do mês de Março/2011

MARÇO	
ÁREA DE EXECUÇÃO	HORAS:MIN
Operacional	23:56
Elétrica	6:05
Mecânica	5:18
Externo	0:15
TOTAL	35:34

Fonte: Autor

TABELA 4.2: Paradas não programadas do mês de Abril/2011

ABRIL	
ÁREA DE EXECUÇÃO	HORAS:MIN
Mecânica	31:44
Operacional	15:37
Elétrica	8:44
Externo	3:02
TOTAL	59:07

Fonte: Autor

Área Executante	Operacional	Mecânica	Elétrica	Externo
Falha	Trigo sem descanso	Quebra de correia	Mudança de mescla	Queda de energia
	Farinha Pontada	Queda da chaveta da engrenagem	Válvula travando	Outros
	Silo Cheio	Troca de motor	Pistão travando	
	Aperto de rolos	Quebra de acoplamento da esclusa	Tempo de descarga excedido	
	Repasse de farinha	Falha na rosca de alimentação	Vazamento de ar	
	Globo cheio		Aquecimento do compressor	
	Outros		Válvula do pneumático não abre	

Quadro 4.1: Falhas dos meses de março e abril

Fonte: Autor

TABELA 4.3: Capacidade produtiva do moinho

Março e Abril de 2011		
Capacidade Nominal (ton)	Capacidade Disponível (ton)	Moagem Real (ton)
18.300	10.369	8.615

Fonte: Autor

Com base na mensuração das paradas não programadas, que estão separadas pelas áreas executantes (mecânica, elétrica, operacional e externo), e na análise da capacidade produtiva do moinho, conforme a tabela 4.4, alguns indicadores podem ser calculados e têm a função de auxiliar na manutenção das melhorias implantadas pelo método (estes indicadores foram usados na etapa CONTROLAR do ciclo DMAIC). No quadro 4.1 abaixo, segue a mensuração

destes indicadores, no qual o “valor atual” é a medida agregada dos indicadores de março e abril:

INDICADOR	SIGLA	VALOR ATUAL	UNIDADE
Utilização da Planta	-	47,08	%
Eficiência da Planta	-	83,08	%
Taxa de Falhas	TF ou λ	0,07092	falhas/hora
Tempo Médio Entre Falhas	TMEF ou MTBF	14,22	horas
Tempo Médio De Reparo	TMDR OU MTTR	1,46	horas
Disponibilidade Operacional	-	90,71	%
Eficácia Geral de Equipamentos	OEE	73,08	%

Quadro 4.2: Mensuração dos indicadores nos meses de março e abril

Para o cálculo da Eficácia Geral de Equipamentos (OEE), foram analisados outros três indicadores, como foi descrito no capítulo anterior. O índice de disponibilidade, com o valor de 88,59%, o índice de *performance*, com 83,08%, e o índice de qualidade, com 99,28%.

4.4. ANALISAR

Diante dos dados mensurados na etapa anterior, a etapa ANALISAR estudou aprofundadamente estes dados e identificou primeiro, o problema que mais incidia em cada mês, chamado de Análise do Problema, e segundo, sua(s) respectiva(s) causa(s)-raiz(es), chamado de Análise da Raiz do Problema. Este procedimento foi realizado para cada mês de estudo (março e abril).

4.4.1. Análise do Problema - Março

Após a análise das paradas não programadas do mês de março, elas foram divididas por área executante, como representada na tabela 4.1 da etapa MEDIR. Para facilitar a visualização destas paradas, estes dados foram colocados em um gráfico, de acordo com a figura 4.3 abaixo.

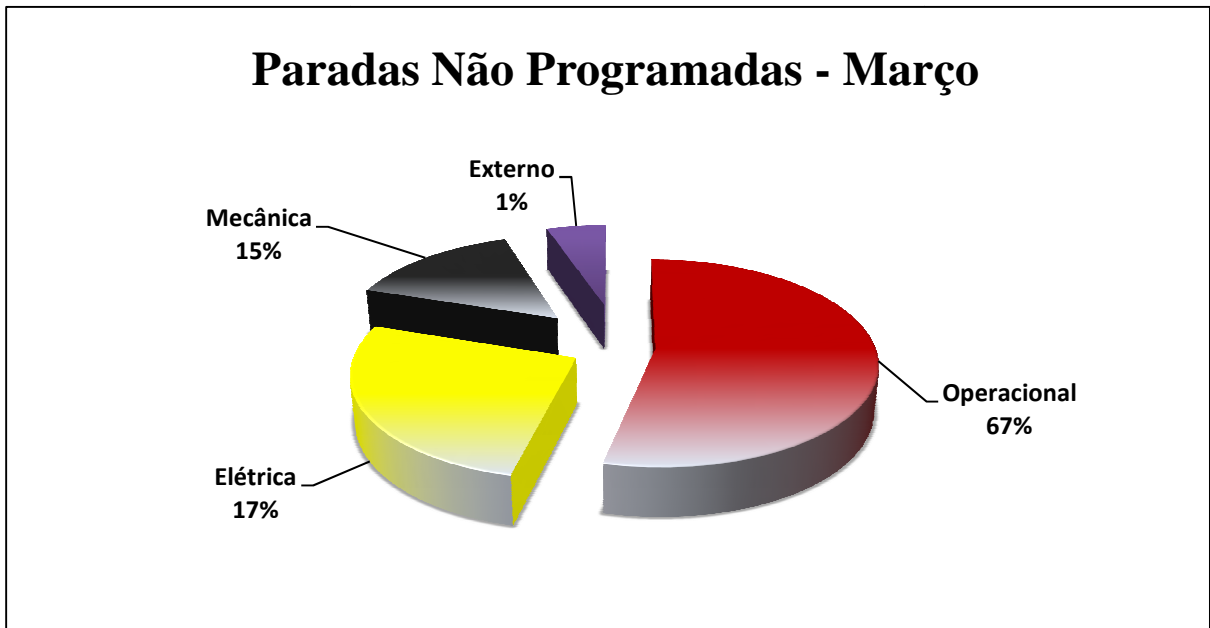


Figura 4.3: Gráfico de paradas não programadas de moagem por área executante do mês de Março

Como se pode ver na figura 4.3, a área executante que apresentou maior perda é a **operacional**, com **67%** do total de paradas não programadas. Dentre estas falhas operacionais, a que mais se destacou neste período foi a falha **trigo sem descanso**, como mostra o gráfico da figura 4.4. Esta falha ocorre quando os operadores demoram para limpar e condicionar o trigo no descanso. Mas, no mês de março, a indústria enfrentou alguns problemas com as transportadoras de trigo, que deixaram de entregar as cargas no tempo previsto. Assim, houve dias em que a produção estava programada, mas a indústria não tinha trigo descansado para moer, gerando esta falha trigo sem descanso. Diante disto, a área que o método investigou foi alterada para a **elétrica**, que conforme o gráfico da figura 4.3, representou **17%** das paradas não programadas.

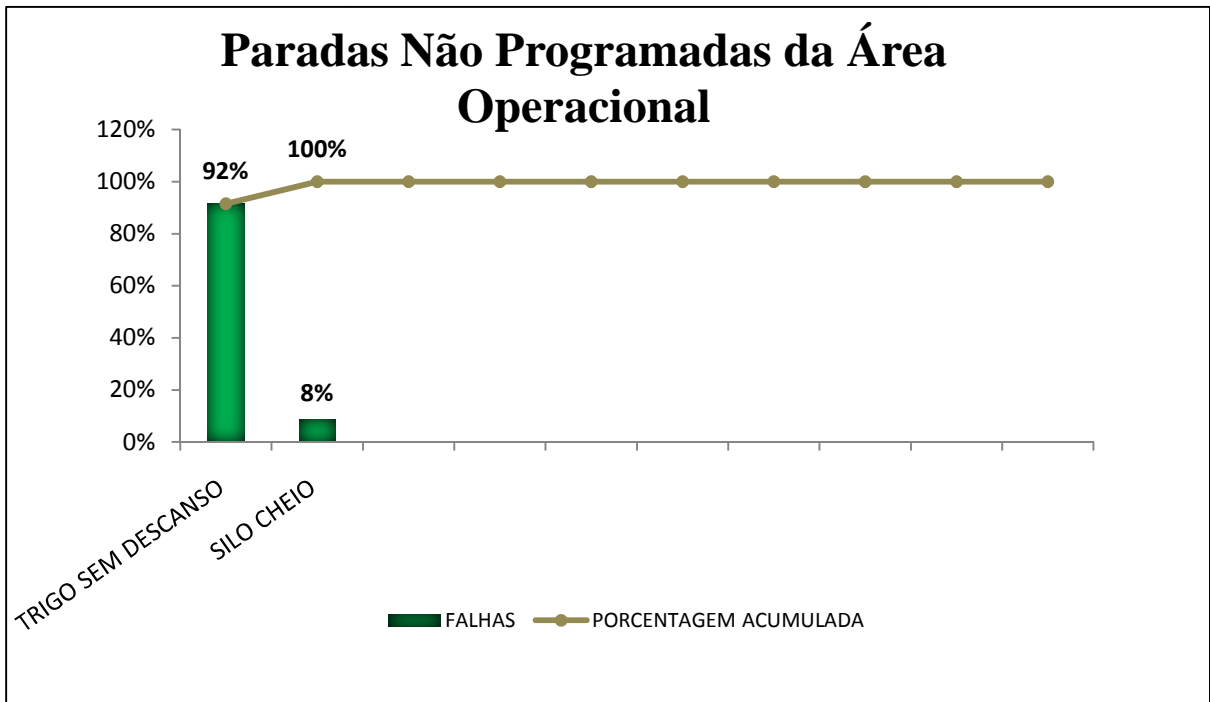


Figura 4.4: Gráfico de falhas operacionais do mês de Março

Ao definir a área de execução que apresentou perdas significativas á indústria, o próximo passo é identificar o equipamento no qual estas falhas mais ocorreram. Para esta identificação foi utilizado o Gráfico de Pareto (como também no gráfico da figura 4.4) para demonstrar qual equipamento apresentou maiores falhas no mês de março, de acordo com a figura 4.5 abaixo.

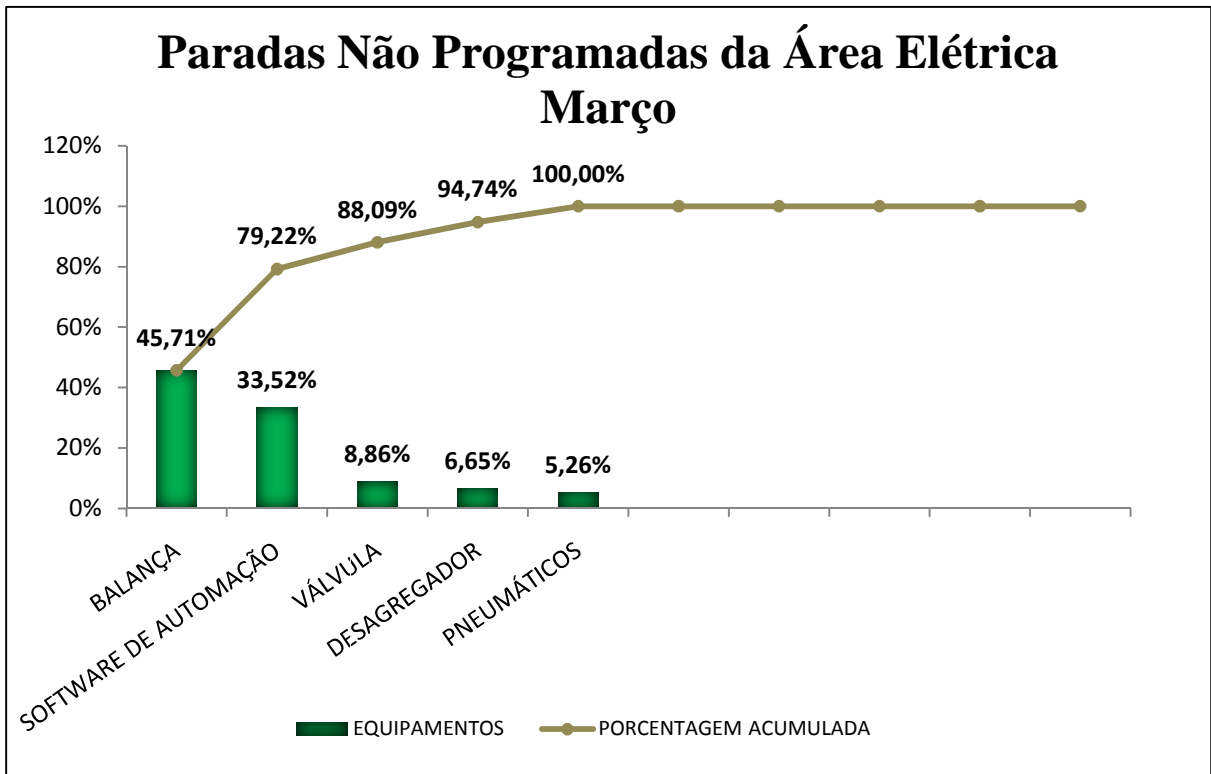


Figura 4.5: Gráfico de paradas não programadas por equipamento - área elétrica - março

Após separar o equipamento que mais aconteceram paradas, novamente foi usado o Gráfico de Pareto para, desta vez, isolar a falha que mais ocorreu no mês analisado, conforme o gráfico da figura 4.6 abaixo.

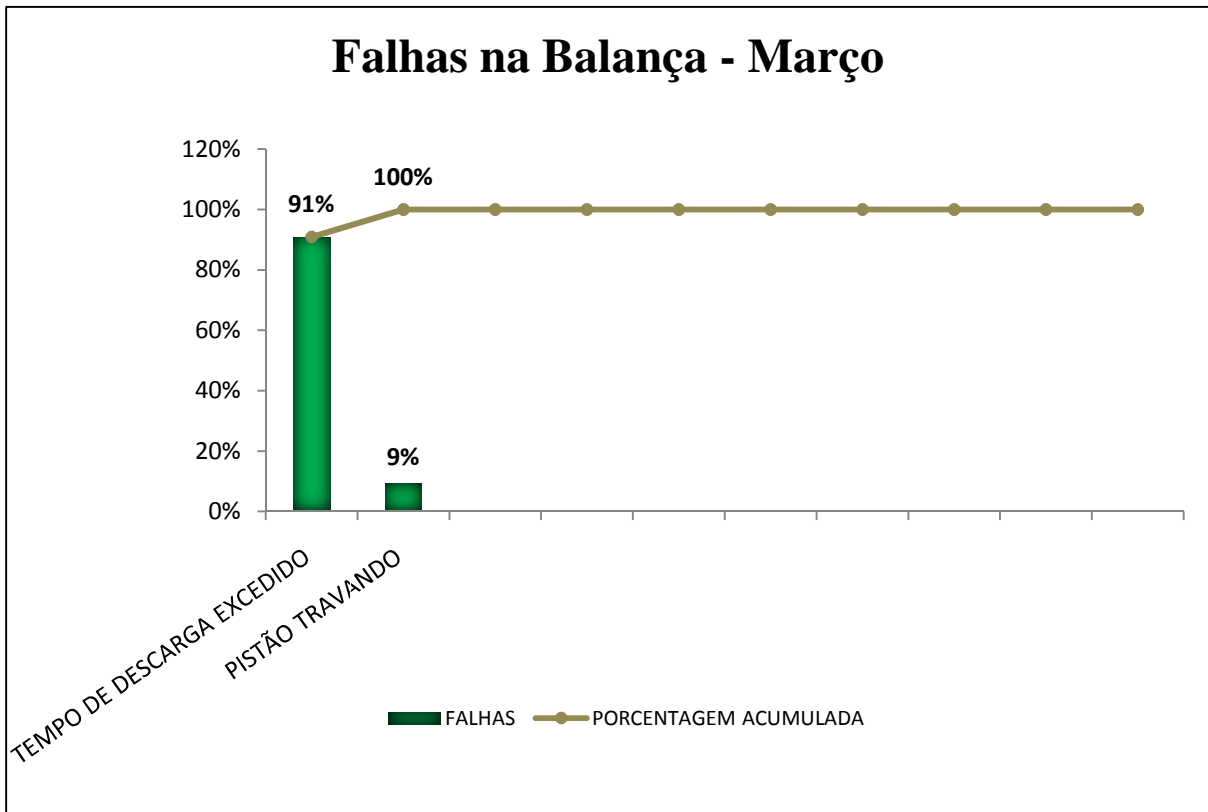


Figura 4.6: Gráfico de falhas da balança do mês de Março

Ao identificar a falha que mais ocorreu no mês de março, encerra-se a Análise do Problema. Esta primeira parte da etapa ANALISAR iniciou-se verificando qual área executante apresentou mais paradas não programadas. Neste mês a área com maior tempo de paradas foi a operacional, mas devido a uma particularidade da indústria neste período, o método alterou sua investigação para a área **elétrica**. Nesta área foi identificado que o equipamento no qual as paradas não programadas mais incidiram foi na **balança** (balança de fluxo), e a falha que proporcionou estas paradas foi o **tempo de descarga excedido**.

Com estas informações, a etapa ANALISAR deu continuidade passando para sua segunda parte: a Análise da Raiz Problema.

4.4.2. Análise da Raiz do Problema - março

Diante das informações obtidas na Análise do Problema, a próxima parte da etapa ANALISAR foi a Análise da Raiz do Problema. Nesta parte foi realizado um *brainstorming* com as pessoas que estavam envolvidas diretamente no problema identificado (tempo de descarga excedido da balança de farelo) com o objetivo de encontrar suas respectivas causas-raízes. A equipe foi composta por um facilitador, o electricista da indústria e um operador do

moinho. Esta análise de falha foi guiada através de duas ferramentas bem conhecidas pela qualidade: o Diagrama de *Ishikawa* e a Análise dos Cinco Porquês. Segue abaixo as conclusões geradas através deste *brainstorming*.

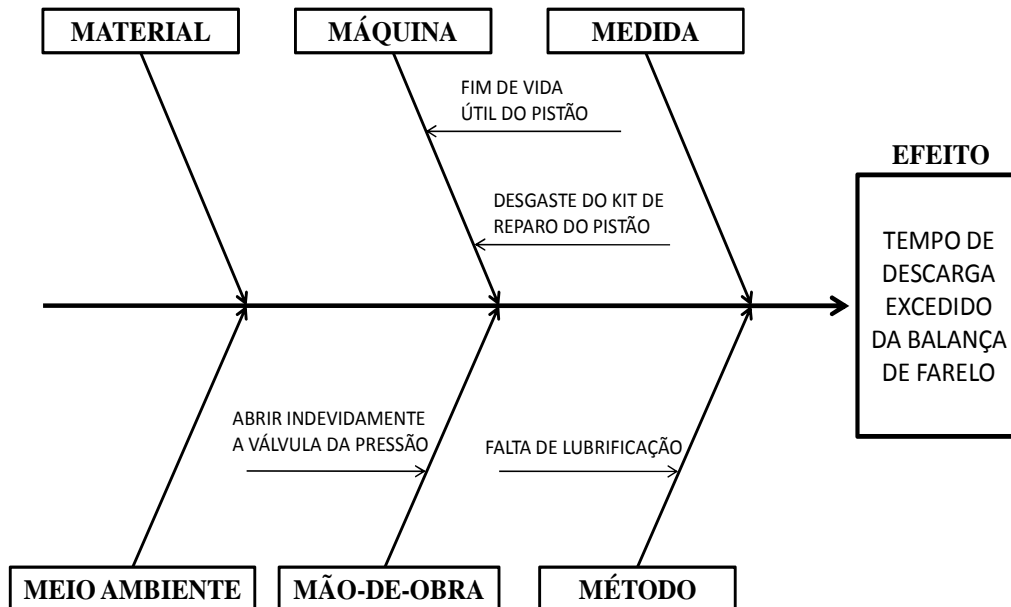


Figura 4.7: Diagrama de Ishikawa - março

Segundo a análise de falhas do diagrama de Ishikawa (fig. 4.7), foram identificadas quatro causas potenciais: **fim de vida útil do pistão**, **desgaste do kit de reparo do pistão**, **abrir indevidamente a válvula da pressão** e **falta de lubrificação**. Destas causas, o **fim de vida útil do pistão** e a **falta de lubrificação** foram descartadas, pois foi conferido que o pistão estava dentro do limite da sua vida útil e a lubrificação estava sendo feita na periodicidade correta e controlada pelo PCM (Planejamento e Controle de Manutenção). Já as causas **desgaste do kit de reparo do pistão** e **abrir indevidamente a válvula de pressão** foram identificadas como causas-raízes, pois foi verificado junto ao técnico eletrônico que o kit de reparo do pistão realmente não estava em boas condições de funcionamento e que os operadores de moagem estavam abrindo a válvula de pressão para liberar o pistão sempre que havia um problema na balança de fluxo. (veja quadro 4.2).

1º PORQUÊ	2º PORQUÊ	3º PORQUÊ	4º PORQUÊ	5º PORQUÊ
Desgaste do kit de reparo do pistão	Entrada de óleo no kit de reparo vindo do compressor	Falha no sistema de retenção de óleo do compressor		
Abrir indevidamente a válvula de pressão	Toda falha que houver nas balanças a primeira ação é abrir a válvula	Falta de conhecimento técnico das balanças		

Quadro 4.3: Análise dos Cinco Porquês - março

Com a Análise dos Cinco Porquês, a etapa ANALISAR para o mês de março é encerrada, definindo assim as causas-raízes do problema e sendo a entrada para a próxima etapa do ciclo DMAIC: a MELHORIA.

4.4.3. Análise do Problema – abril

Para o mês de abril foi realizado o mesmo procedimento utilizado no mês de março, conforme é descrito nos gráficos que seguem abaixo.

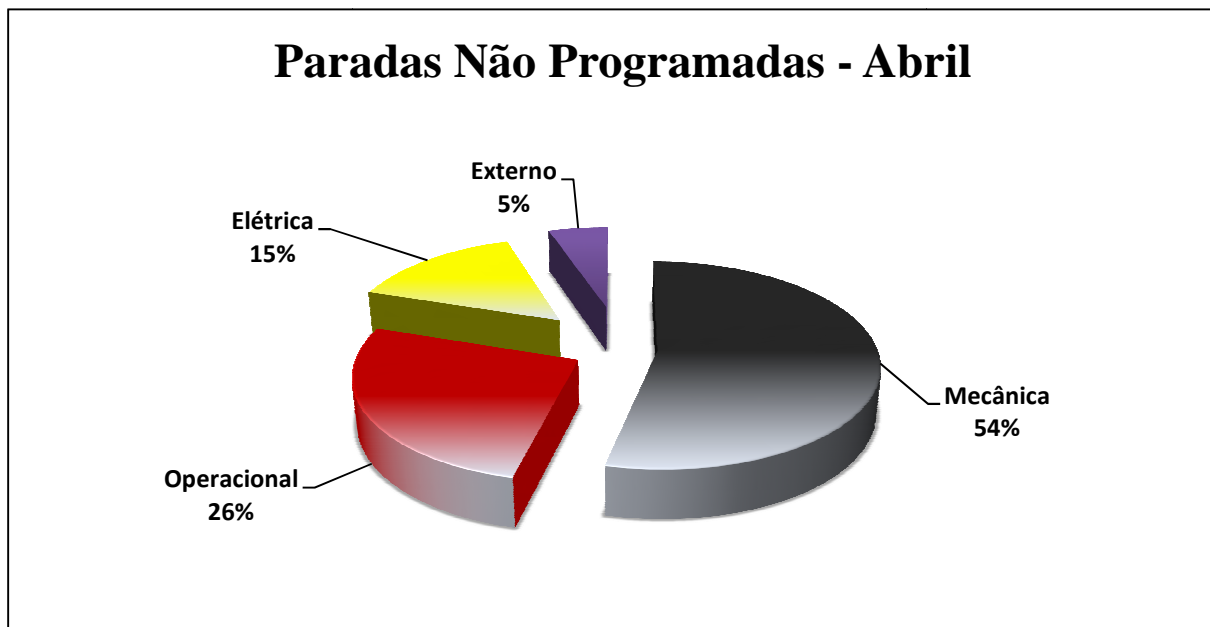


Figura 4.8: Gráfico de paradas não programadas de moagem por área executante do mês de abril

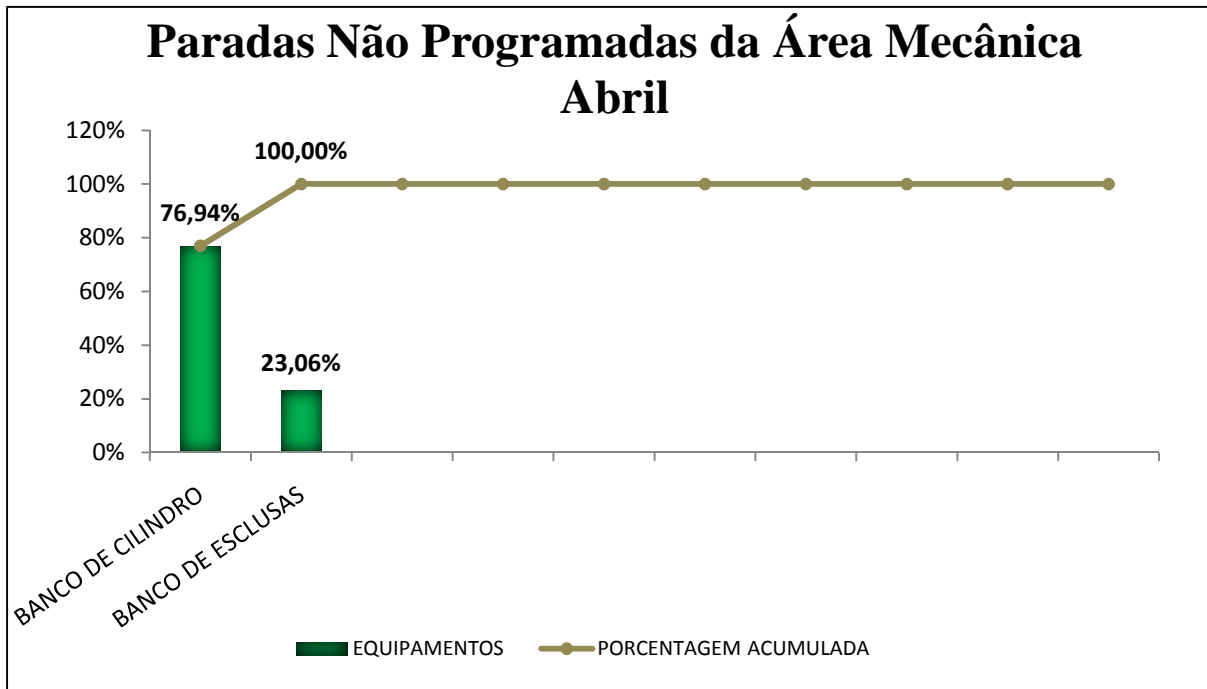


Figura 4.9: Gráfico de paradas não programadas por equipamento - área mecânica - abril

No caso das perdas analisadas no mês de abril, a área de execução **mecânica** foi a que mais apresentou paradas não programadas, com **54%** do total de paradas, como mostra o gráfico da figura 4.8. Com base nisto, utilizando o Gráfico de Pareto, foi identificado que o banco de cilindro foi o equipamento no qual ocorreram mais paradas, de acordo com o gráfico da figura 4.9. A falha que ocorreu no banco de cilindro foi uma peculiaridade relativa à entrega de peças por parte de fornecedores. O PCM (Planejamento e Controle de Manutenção) havia programado uma troca de motores, mas o fornecedor não conseguiu acompanhar o planejamento, e não concluiu sua etapa neste processo. Esta falha pode ser visualizada no gráfico da figura 4.10 abaixo:

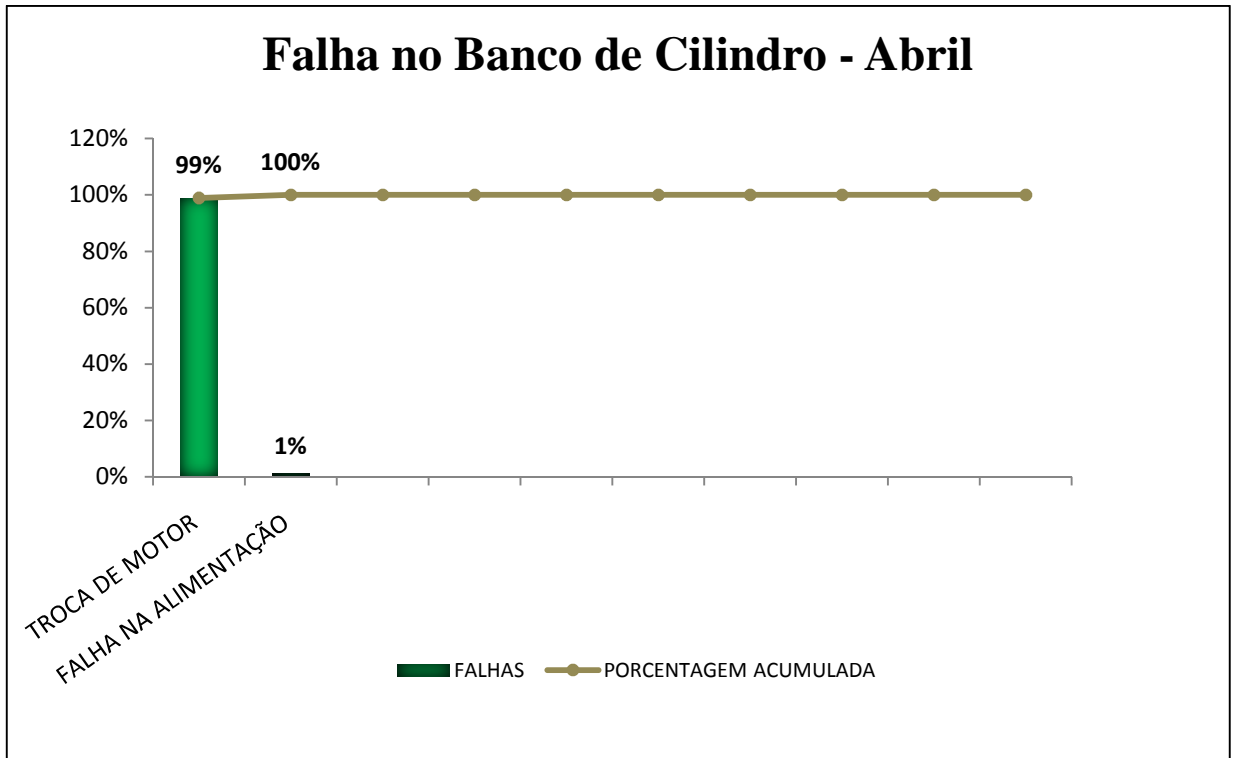


Figura 4.10: Gráfico de falhas no banco de cilindro do mês de abril

Com isto, o equipamento que foi investigado pelo método foi o **banco de esclusas**, que conforme a figura a 4.9 apresentou **23,06%** das paradas no mês de abril. As falhas que ocorreram neste equipamento estão descritas no gráfico da figura 4.11.

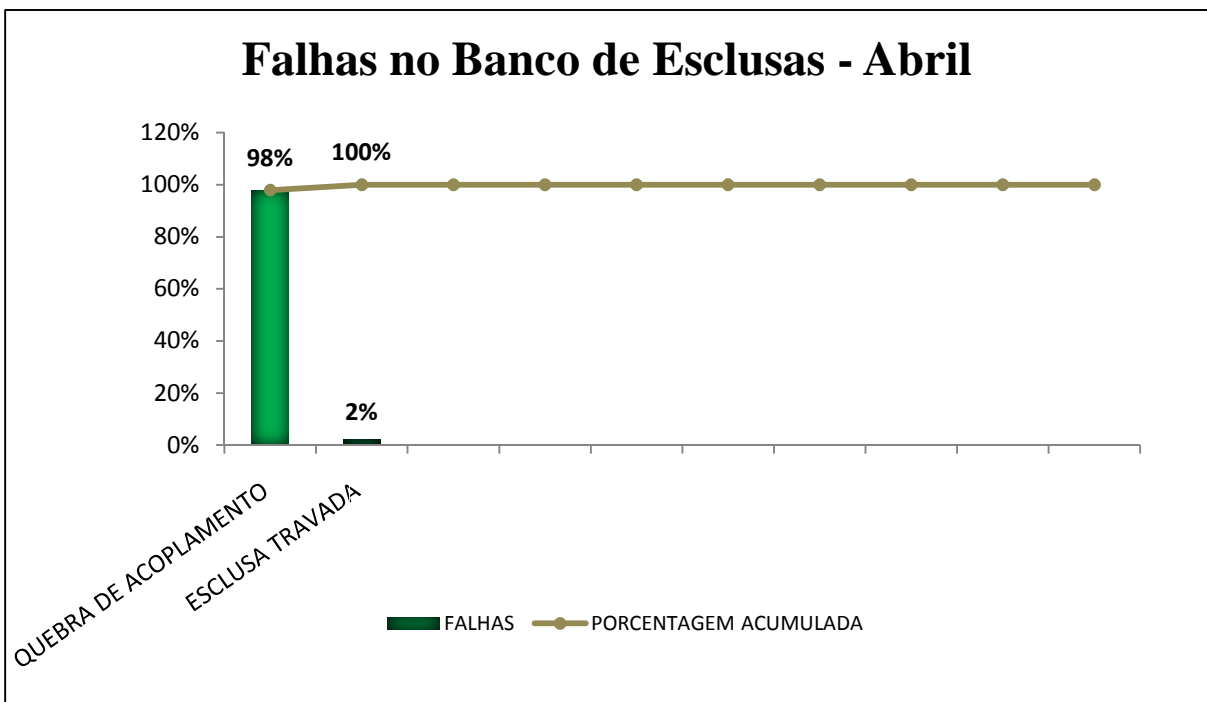


Figura 4.11: Gráfico de falhas no banco de esclusas do mês de Abril

De acordo com a Análise do Problema realizada acima, o problema investigado no mês de abril foi a **quebra de acoplamento do banco de esclusas**. A próxima parte a ser realizada foi identificar a raiz do problema.

4.4.4. Análise da Raiz do Problema - abril

O procedimento de Análise da Raiz do Problema também é o mesmo realizado no mês de março, no entanto, apresenta suas particularidades referentes ao problema que ocorreu neste mês e às pessoas que estiveram ligadas a ele. Os envolvidos no *brainstorming* desta falha foram um facilitador, dois operadores do moinho, o primeiro mecânico da indústria e o gerente de produção. Com este *brainstorming* chegou-se às seguintes informações:

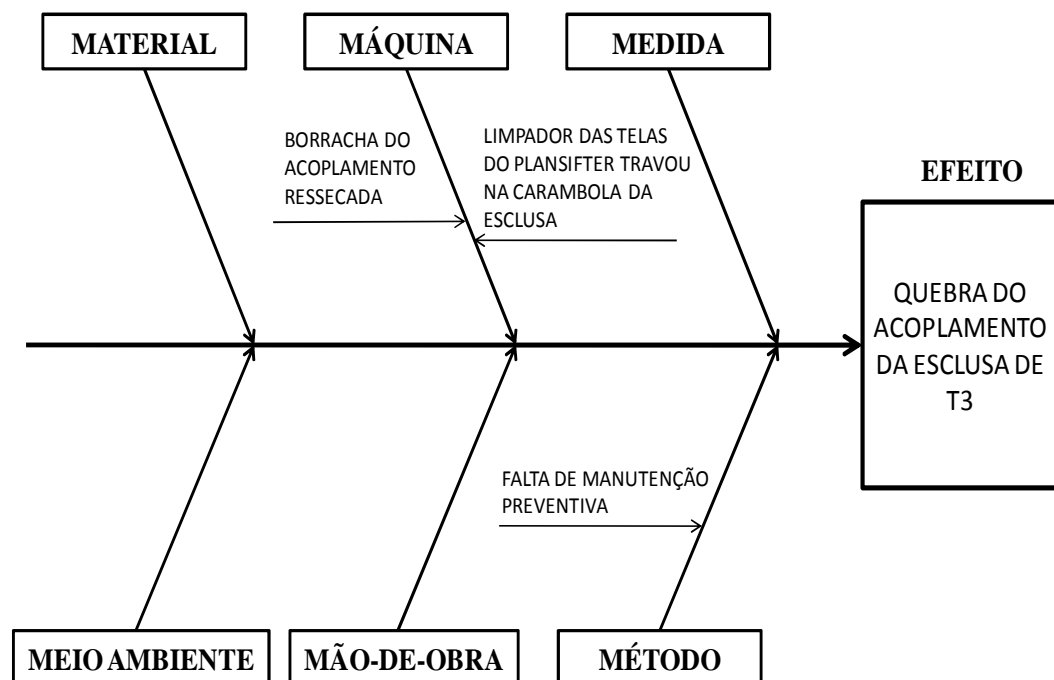


Figura 4.12: Diagrama de Ishikawa – abril

Dentre as causas potenciais que foram levantadas pelo diagrama de Ishikawa no mês de abril (fig. 4.12), as causas **borracha do acoplamento ressecada** e **falta de manutenção preventiva** foram descartadas. Isto porque a borracha do acoplamento estava em boas

condições e a manutenção preventiva dos bancos de esclusa estava em dia. No entanto, a causa **limpador de telas do *plansifter* (T1/T2) travou na carambola da esclusa** foi identificada no *brainstorming* como a raiz do problema **quebra do acoplamento da esclusa de T3**. Esta causa ocorreu devido ao limpador ter desprendido das telas do *plansifter*, que estavam sendo mal fixadas pelos operadores ao realizarem a sua manutenção (veja quadro 4.3).

1º PORQUÊ	2º PORQUÊ	3º PORQUÊ	4º PORQUÊ	5º PORQUÊ
Limpador de telas do <i>plansifter</i> (T1/T2) travou na carambola da esclusa	Limpador desprendeu das telas do <i>plansifter</i>	Telas mal fixadas	Falta de manutenção operacional da telas de metal do <i>plansifter</i>	

Quadro 4.4: Análise dos Cinco Porquês - abril

As duas figuras do diagrama de Ishikawa (fig. 4.7 e 4.12) mostram apenas algumas possíveis causas, quatro na análise de março e três na análise de abril. Como é a primeira vez que esta análise de falhas é realizada na empresa, não existiam registros anteriores de causas potenciais para os problemas identificados. À medida que a metodologia proposta tiver continuidade no seu uso, pretende-se catalogar os problemas que ocorrerem nos equipamentos e assim arquivar as possíveis causas destes problemas, com a finalidade de atualizar os diagramas e compor um futuro manual de procedimentos para lidar com as falhas de equipamentos.

4.5. MELHORAR

A quarta etapa da metodologia proposta é a MELHORAR. Nesta etapa, a sua entrada são as causas-raízes encontradas na análise do problema. Com base nestas causas, esta etapa propõe a elaboração de um plano de ação, através da ferramenta da qualidade 5W2H, para solucionar ou prevenir a incidência da causa-raiz do problema.

Como a etapa ANALISAR realizou um procedimento para cada mês estudado, a etapa agregou as causas dos dois meses em um plano de ação unificado (veja quadro 4.4).

<i>What</i> Ação	<i>Why</i> Causa-raiz	<i>How</i> Procedimento	<i>Where</i> Local	<i>Who</i> Responsável	<i>When</i> Prazo	<i>How much</i> Recursos	<i>STATUS</i>
Reter óleo na saída do secador do compressor	Falha no sistema de retenção de óleo do compressor /secador	Instalando dois filtros na saída do secador	Sala do Compressor	Eletricista	Até 15/04/2011	Dois filtros	Concluída
Preparar um manual sobre Princípios Funcionais das Balanças	Falta de conhecimento técnico das balanças por parte dos operadores e eletricista	Elaborando um manual para possíveis falhas e respectivas soluções para as balanças de fluxo.	Sala do CLP	Técnico Eletrônico	Até 19/04/2011	Manual impresso	Concluída
Treinar equipe para a manutenção das telas do <i>plansifter</i>	Falta de Manutenção Operacional das telas do <i>plansifter</i>	Reformulando a Instrução de Trabalho (IT) e Reciclando os operadores de moagem	Moinho	Trainee de Produção	Até 28/04/2011	IT impresso	Concluída

Quadro 4.5: Plano de ação das causas dos problemas dos meses de março e abril

Dentre estas ações, a ação referente à causa-raiz **falta de manutenção operacional das telas do *plansifter***, foi planejada para ser realizada até o dia 28 de abril de 2011, conforme o plano de ação do quadro 4.4. Esta ação ocorreu ainda no mês de abril porque as análises de falhas estavam sendo feitas semanalmente, e esta falha (**quebra do acoplamento da esclusa de T3**), que aconteceu no dia 5 de abril, foi analisada, através de um *brainstorming*, no dia 12 de abril de 2011.

4.6. CONTROLAR

A última etapa do ciclo DMAIC (CONTROLAR), como foi descrito nos capítulos anteriores, não será realizada completamente. No entanto, como foi visto na etapa MEDIR, foram gerados alguns indicadores que estão relacionados ao controle de paradas não programadas. Estes indicadores poderão ser acompanhados mês a mês para verificar a evolução da aplicação do método proposto por este trabalho para a indústria moageira de trigo, com base nas metas que provém da sede da indústria em São Paulo (SP), segundo a tabela 4.5.

TABELA 4.4: Indicadores de controle de moagem

INDICADOR	ATUAL	META		FÓRMULA	INSTRUMENTO	FREQUÊNCIA	RESPONSÁVEL
		MELHORIA	PRAZO				
UTILIZAÇÃO	47,08%	Atingir 65%	3 meses	Moagem Real / Capacidade Nominal	Relatório de controle de Moagem	Mensal	Supervisor de Produção
EFICIÊNCIA	83,08%	Atingir 95%	3 meses	Moagem Real / Capacidade Disponível	Relatório de controle de Moagem	Mensal	Supervisor de Produção
TAXA DE FALHAS	7,09%	Atingir 1%	3 meses	Nº de falhas / Tempo de operação	Registro de paradas não programadas	Mensal	Supervisor de Manutenção
TMEF	14,22 h	Atingir 75 h	3 meses	1 / Taxa de Falhas	Registro de paradas não programadas	Mensal	Supervisor de Manutenção
TMDR	1,46 h	Atingir 1 h	3 meses	Tempo de reparo / Nº de falhas	Registro de paradas não programadas	Mensal	Supervisor de Manutenção
DISPONIBILIDADE OPERACIONAL	90,71%	Atingir 99%	3 meses	TMEF / (TMEF + TMDR)	Registro de paradas não programadas	Mensal	Supervisor de Manutenção
OEE	73,08%	Atingir 80%	3 meses	ID x IP x IQ	Registro de paradas não programadas	Mensal	Supervisor de Manutenção

Fonte: Autor

4.7. Considerações Finais

O atual capítulo teve a finalidade de aplicar a metodologia proposta no capítulo anterior. Este método segue os princípios do ciclo DMAIC de melhoria contínua, no qual a primeira etapa definiu a problemática na qual o método irá atuar para reduzi-la ou amenizá-la. A segunda etapa da metodologia integrou e mensurou os dados coletados para facilitar o diagnóstico da situação da indústria moageira de trigo.

A etapa ANALISAR, por sua vez, utilizou os dados que foram mensurados para cada mês estudado e identificou os problemas críticos e suas respectivas causas-raízes para cada um destes meses. A etapa seguinte utilizou estas causas-raízes para a elaboração de planos de ação, com o intuito de propor melhorias tanto corretivas como preventivas para os problemas. E por fim, a etapa CONTROLAR foi iniciada e será utilizada para acompanhar o desempenho da indústria através dos indicadores gerados na etapa MEDIR.

5. CONCLUSÃO

Com base nesse projeto observa-se que os contextos nele descritos, tanto de qualidade (melhoria) quanto de perdas por paradas não programadas numa indústria moageira de trigo, foram abordados, tendo como foco uma resposta para a pergunta direcionada ao problema deste estudo: Como reduzir as perdas por paradas não programadas em uma indústria moageira de trigo, mediante o uso da metodologia DMAIC? Ao final desta pesquisa, foi obtida e defende-se a seguinte resposta: as perdas por paradas não programadas em uma indústria moageira de trigo podem ser reduzidas com a aplicação do método proposto pelo projeto.

Para consolidar o método proposto, foram estudados na literatura, assuntos concernentes à metodologia Seis Sigma de Qualidade. Com base nesta metodologia, foi identificado que o processo DMAIC (*define, measure, analyze, improve e control*) de melhoria contínua poderia ser usado como guia deste trabalho. O ciclo DMAIC defende que a busca e a priorização da melhoria precisa de uma abordagem sólida, que fixe sua aplicação não apenas em aspectos técnicos, mas também, em aspectos estratégicos, enfatizando os resultados que realmente a organização deseja. A etapa DEFINIR, por exemplo, só demonstra um problema, desde que o mesmo esteja dentro do escopo estratégico da organização. A etapa MEDIR, por outro lado, é enfatizada pela metodologia DMAIC como uma das forças do método, na qual ela apresenta a mensuração não apenas como uma simples tarefa, mas como um esforço primordial e contínuo, focando a melhoria do desempenho produtivo.

Enfim, o modelo proposto é fundamentado na metodologia DMAIC de melhoria contínua, o qual permite, de uma forma simples e consistente, medir a eficácia do processo analisado, identificar os problemas que estão impedindo o seu desempenho ótimo, propor melhorias para reduzir os efeitos das causas-raízes e controlar a evolução da *performance* do processo.

5.1. Atendimento aos objetivos

Com a aplicação do método proposto foram alcançados os objetivos estabelecidos por esta pesquisa. O quadro 5.1, retoma os objetivos apresentados no capítulo 1 e os relaciona com os principais resultados obtidos com o trabalho realizado.

Objetivos específicos	Resultados
Identificar os problemas globais que comprometem a eficiência e a capacidade produtiva do processo de moagem de uma indústria moageira de trigo	Foi identificado um problema global da indústria moageira de trigo, que ocorreu nos meses de março e abril e gerou uma perda de produção de aproximadamente 887,65 toneladas de farinha devido a paradas não programadas
Medir o desempenho atual dos processos	O processo de moagem foi medido em relação às paradas não programadas e à produção nominal, disponível e real.
Identificar os problemas específicos e validar suas causas-raízes	Foram identificados dois problemas prioritários, sendo que a análise ocorreu para cada um dos dois meses (março e abril). Também foram identificadas duas causas-raízes para o problema de março e uma para o problema de abril.
Desenvolver e propor soluções para eliminar as causas-raízes	Foram desenvolvidas soluções para as causas-raízes através de um plano de ação unificado que abordou os problemas dos dois meses.
Estabelecer medidas-padrão para controlar o desempenho	Foram elaborados indicadores de desempenho para controlar a evolução da indústria em relação às melhorias propostas, com metas, prazos, instrumentos, frequências e responsáveis.

Quadro 5.1: Objetivos específicos x Resultados

Ao atingir os objetivos específicos deste projeto foi possível atingir também o seu objetivo geral através da elaboração de um método que, primeiro, identifica os motivos das paradas não programadas com maior incidência no processo de moagem, segundo, propõe melhorias para eliminá-las ou reduzi-las, e, terceiro, gera indicadores para acompanhar o seu desempenho.

O método conseguiu ligar as ideias, as tendências e as ferramentas que de certa forma já existiam na empresa, mas que ainda estavam desconexas. A indústria moageira de trigo possuía um registro de paradas não programadas, no entanto este registro não era controlado assiduamente e nem analisado com o devido rigor, levando em conta que o moinho é dependente do funcionamento eficaz de seus equipamentos. Com este trabalho, foi possível organizar estas informações e, através do método proposto, auxiliar não apenas a controlar, mas também a analisar e a até eliminar as paradas não programadas. Isto resultará em um menor tempo de parada no processo e uma maior eficiência de moagem.

Para a elaboração deste método, se levantaram diversos desafios. Um deles está relacionado à coleta das paradas não programadas. Como a indústria não realizava um controle rígido das anotações destas paradas, muitos destes dados não eram precisos. Diante disto, foram necessárias algumas reuniões semanais com os operadores de moagem para instruí-los a preencherem o registro de paradas não programadas corretamente e apresentar a eles os benefícios que o preenchimento fiel deste registro poderia gerar para a empresa.

Outro desafio encontrado neste projeto foi a criação de um cadastro com todos os equipamentos e com todas as potenciais falhas do processo de moagem. Para isto, foi necessário um estudo aprofundado tanto do fluxo do processo de moagem, para definir os equipamentos, como do histórico de falhas da unidade de Dourados e da sede em São Paulo, para estabelecer as potenciais falhas do processo.

No entanto, o maior desafio encontrado neste projeto foi adequar a metodologia DMAIC para uma indústria de fluxo contínuo. A literatura apresenta poucos estudos sobre a aplicação do programa Seis Sigma em indústrias com processos contínuos. A maioria dos casos estudados é para manufatura discreta de produtos fabricados em massa. Por este motivo, no início houve dificuldades para definir o que era um defeito ou um problema neste processo. Num processo em massa, os defeitos são mais fáceis de serem visualizados e contabilizados, porém num processo ininterrupto, como num fluxo contínuo, os defeitos ou a falta de qualidade no produto são difíceis de serem identificados por eles serem literalmente inseparáveis. No entanto, ao estudar o processo, foi possível aplicar o método para avaliar a eficiência e a capacidade produtiva do moinho, com base no tempo de paradas não programadas que ocorriam no processo de moagem.

Analisando a elaboração do método proposto, e sabendo que ele foi fundamentado no ciclo de melhoria da nova ferramenta, este trabalho pôde propiciar os seguintes aprendizados:

- O ciclo DMAIC garante um vasto campo de oportunidades para ser aplicado, não se restringindo apenas à produção, mas podendo ser usado também nas áreas de engenharia, manutenção, recursos humanos, finanças e marketing;
- Ele também não se limita em buscar apenas à qualidade do produto, mas a melhoria de uma maneira geral, incluindo todos os processos da organização, os maquinários, a mão-de-obra, os procedimentos, a infra-estrutura predial, entre outros.

Com relação aos resultados obtidos, eles se relacionam com a Engenharia de Produção no ponto que um engenheiro tem sua função orientada a gerir um processo dirigido por dados e fatos. Ainda hoje é possível verificar que muitas indústrias se baseiam em opiniões subjetivas para tomadas de decisões nos seus negócios. Os resultados que este projeto obteve deixam claro que a mensuração é a chave para avaliar o desempenho da organização, e com base nestes indicadores, os engenheiros podem apresentar medidas para a otimização do negócio.

Com a elaboração do método, foi estabelecido um procedimento para identificar, investigar e eliminar ou reduzir as falhas e no decorrer do tempo, a aplicação deste método irá gerar uma gestão proativa para a indústria com relação às falhas provenientes das paradas não programadas. Este hábito proativo, que será estabelecido na indústria, propiciará a ela a formulação de ações preventivas para problemas específicos e a definição e revisão frequente de objetivos que ela traçar futuramente. Esta gestão proativa contribui significativamente para a prática da Engenharia de Produção na empresa, pois os hábitos reativos apenas tornam os gerentes mais atarefados, criando uma pseudo-sensação de estarem fazendo seu trabalho. No entanto, o que na verdade está acontecendo, é que eles estão perdendo o controle do processo. Por outro lado, os hábitos proativos, são mais analíticos, e com isso proporcionam um gerenciamento menos dispendioso, mais criativo e aberto a mudanças mais efetivas.

5.2. Recomendações para futuros trabalhos

Perante às delimitações da aplicação relatada, é possível fazer algumas recomendações para futuros trabalhos:

- Aplicar o método em outros setores da indústria moageira de trigo

A primeira recomendação para futuros trabalhos é a utilização do método proposto nos demais setores da indústria. Como a metodologia serviu de modelo para a aplicação do DMAIC no processo de moagem, ela também poderá ser usada para qualquer setor da indústria, desde que os dados sejam coletados com grande precisão e haja um controle ativo durante a aplicação de cada etapa.

Atualmente, esta recomendação já está sendo iniciada no meio industrial. O método será aplicado no setor de Envase (empacotamento “10 x 1”). Os dados estão sendo coletados, e em breve as etapas DEFINIR e MEDIR já estarão concluídas.

→ Implementar a estratégia Seis Sigma no processo de moagem ou em outros setores da indústria

Esta recomendação pode ser realizada retomando os conceitos do programa Seis Sigma de Qualidade, no qual tem como prioridade possuir processos que produzam produtos em conformidade com a necessidade dos clientes e que apresentem o menor nível de defeitos de produção. Para que isto seja realizado, será necessário um estudo mais aprofundado dos problemas que o processo de moagem vem enfrentado e que podem ser mensurados dentro dos parâmetros Seis Sigma. Isto irá requerer que o processo seja medido com relação a sua capacidade e controlado através do CEP (Controle Estatístico do Processo), identificando seu sigma atual (nível de defeitos) e buscando alcançar o “6 σ ” no processo (3,4 DPMO). Ele pode ser aplicado, por exemplo, para a quantidade (em toneladas) de farinha que é produzida fora do padrão especificado, como cor, percentual de aditivos (xilanase, ferro ou peróxido de benzoíla) ou força do glúten (estabilidade).

Utilizando a mesma ideia descrita acima, o projeto pode ser continuado com a implantação do programa Seis Sigma em outros setores da indústria moageira de trigo, como por exemplo, o envase. Neste setor, a aplicação do programa pode abordar um novo prisma, o qual se deslocará do sistema de produção de fluxo contínuo para o sistema de fluxo discreto, ou seja, o projeto deixará de abordar a quantidade de toneladas processadas por unidade de tempo e passará a analisar o número de fardos produzidos num determinado tempo. O tipo de medida deixará de ser em toneladas por hora e passará a ser em fardos ou em pacotes por hora. Esta mudança facilitará a mensuração dos defeitos de produção, deixando mais claro o cálculo do nível sigma do processo, que poderá ser realizado, por exemplo, no número de pacotes que rasgam na enfardadeira, no número de pacotes fora do peso padrão, no número de pacotes mal colados, dentre muitos outros defeitos que podem ser identificados no processo.

→ Aplicar o método em indústrias de outros setores

Com o aprimoramento do método, incorporando a estratégia Seis Sigma, é possível dar continuidade no projeto aplicando-o até em outras indústrias, com o intuito de controlar o processo e reduzir a variação do seu desempenho. Como Pande, Neuman e Cavanagh (2001) afirmam, o Seis Sigma não é verdadeiramente um programa ou uma técnica no qual a organização irá encaixar perfeitamente no seu processo produtivo e usufruir dos seus benefícios. Será preciso flexibilizar e adaptar estas técnicas para que melhor atendam aos ambientes de fabricação da indústria. Com isto, este trabalho pode ser continuado em outra indústria desde que ela consiga adequar o método em conformidade com a sua necessidade operacional.

REFERÊNCIAS

- ANDRIETA, João M.; MIGUEL, Paulo A. C. A importância do método Seis Sigma na Gestão da Qualidade analisada sob em abordagem teórica. **Revista de Ciência & Tecnologia**, Piracicaba, v. 11, n. 20, p.91-98, jul. 2002.
- BOUER, Gregório. **Qualidade: conceitos e abordagens**. In: CONTADOR, José Celso. **Gestão de operações: a Engenharia de Produção a serviço da modernização da empresa**. 2. ed. São Paulo: Edgard Blücher, 2004. Cap. 14, p. 177-188.
- BRAZ, Moacyr A. **Ferramentas e gráficos básicos**. In: ROTONDARO, R. G. **Seis Sigma: Estratégia Gerencial para a Melhoria de Processos, Produtos e Serviços**. 1. ed. São Paulo: Atlas, 2008. Cap. 5, p. 135-163.
- CABRERA JUNIOR, Alvaro. **Dificuldades de implementação de programas Seis Sigma: Estudos de caso em empresas com diferentes níveis de maturidade**. 2006. 137 f. Dissertação (Mestrado) - Curso de Engenharia de Produção, Universidade de São Paulo, São Carlos, 2006.
- CARVALHO, Marly M. **Histórico da Gestão da Qualidade**. In: PALADINI, Edson Pacheco; CARVALHO, Marly Monteiro de. **Gestão da qualidade: teoria e casos**. Rio de Janeiro, 2005. Cap. 1, p. 1-24.
- CARVALHO, Marly M.; ROTONDARO, R. G. **Modelo Seis Sigma**. In: PALADINI, Edson Pacheco; CARVALHO, Marly Monteiro de. **Gestão da qualidade: teoria e casos**. Rio de Janeiro, 2005. Cap. 4, p. 125-152.
- CHASE, Richard B; JACOBS, F. Robert e AQUILANO, Nicholas J. **Administração da produção para a vantagem competitiva**. Porto Alegre: Bookman, 2006.
- CORRÊA, Henrique L.; CORRÊA, Carlos A. **Administração de produção e de operações: manufatura e serviços uma abordagem estratégica**. São Paulo: Atlas, 2006.
- ECKES, George. **A revolução Seis Sigma: um método que levou a GE e outras empresas a transformar processos em lucros**. 9. ed. Rio de Janeiro: Elsevier, 2001.
- GARVIN, David A. What does “product quality” really mean? **Sloan Management Review**, v. 26, n. 1, p. 25-43, 1984.
- MARTINS, Petrônio G., LAUGENI, Fernando G. **Administração da produção**. São Paulo: Saraiva, 2006.
- PALADINI, Edson Pacheco; CARVALHO, Marly Monteiro de. **Gestão da qualidade: teoria e casos**. Rio de Janeiro, 2005.
- PANDE, P. S.; NEUMAN, R. P.; CAVANAGH, R. R. **Estratégia seis sigma: como a GE, a Motorola e outras grandes empresas estão aguçando seu desempenho**. Rio de Janeiro: Qualitymark, 2001.

- RAMOS, Alberto W. **Controle Estatístico de Processo**. In: CONTADOR, José Celso. **Gestão de operações: a engenharia de produção a serviço da modernização da empresa**. 2. ed. São Paulo: Edgard Blücher, 2004. Cap. 15, p. 189-200.
- RAMOS, Alberto W. **Mantendo o processo sob controle**. In: ROTONDARO, R. G. **Seis Sigma: estratégia gerencial para a melhoria de processos, Produtos e Serviços**. 1. ed. São Paulo: Atlas, 2008. Cap. 10, p. 294-357.
- REBELATO, Marcelo Giroto; OLIVEIRA, Iraci Sobral de. Um estudo comparativo entre a gestão da qualidade total (TQM), o Seis Sigma e a ISO 9000. **Gestão Industrial**, Ponta Grossa, v. 2, n. 1, p.106-116, 2006.
- REBELATO, Marcelo Giroto; RODRIGUES, Andréia Marize. Seis Sigma: uma derivação do TQM?. **Gestão Industrial**, Ponta Grossa, v. 06, n. 01, p.30-49, 2010.
- ROTONDARO, R. G. **Seis Sigma: estratégia gerencial para a melhoria de processos, Produtos e Serviços**. São Paulo: Atlas, 2008.
- RUTHES, Sidarta; CERETTA, Paulo Sérgio; SONZA, Igor Bernardi. Seis Sigma: melhoria da qualidade através da redução da variabilidade. **Gestão Industrial**, Ponta Grossa, v. 2, n. 2, p.173-190, 2006.
- SANTOS, Adriana Barbosa; MARTINS, Manoel Fernando. Modelo de referência para estruturar o Seis Sigma nas organizações. **Gestão da Produção**, São Carlos, v. 15, n. 1, p.43-56, jan./abr. 2008.
- SANTOS, Luciano Costa; GOHR, Cláudia Fabiana. **Introdução à estratégia de produção**. Dourados: UFGD, 2010.
- SLACK, Nigel. CHAMBERS, Stuart; JOHNSTON, Robert. **Administração da Produção**. 1. ed. São Paulo: Atlas, 1997.
- SLACK, Nigel; CHAMBERS, Stuart; JOHNSTON, Robert. **Administração da Produção**. 2. ed. São Paulo: Atlas, 2002.
- SLACK, Nigel; CHAMBERS, Stuart; JOHNSTON, Robert. **Administração da Produção**. 3. ed. São Paulo: Atlas, 2009.