

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

**ANÁLISE CRÍTICA DE UM PROJETO
SEIS SIGMA EM UMA INDÚSTRIA PETROQUÍMICA**

Luis Antonio dos Santos Franz

Porto Alegre, 2003

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

**ANÁLISE CRÍTICA DE UM PROJETO
SEIS SIGMA EM UMA INDÚSTRIA PETROQUÍMICA**

Luis Antonio dos Santos Franz

Orientador: Professora Dr^a. Carla Schwengber ten Caten

Banca Examinadora:

Flávio Sanson Fogliatto, Dr.
Prof. Depto. Engenharia de Produção / UFRGS

Nilo Sérgio Medeiros Cardozo, Dr.
Prof. Depto. Engenharia Química / UFRGS

Tabajara Lucas de Almeida , Dr.
Prof. Depto. Matemática / FURG

Dissertação submetida ao Programa de Pós-Graduação em Engenharia de
Produção como requisito parcial à obtenção do título de
MESTRE EM ENGENHARIA DE PRODUÇÃO

Área de concentração: Qualidade

Porto Alegre, 12 de dezembro de 2003

F837a Franz, Luis Antonio dos Santos

Análise crítica de um projeto Seis Sigma em uma indústria petroquímica/
Luis Antonio dos Santos Franz; orientador professora Dr^a Carla Schwengber
ten Caten. – Porto Alegre: UFRGS: Escola de Engenharia, 2003.

Dissertação de Mestrado submetida ao Programa de Pós-Graduação em Enge
nharia de Produção, área de concentração: Qualidade.

1. Qualidade 2. Seis Sigma 3. DMAIC 4. Indústria Petroquímica
I. Caten, Carla Schwengber ten II. Universidade Federal do Rio Grande do
Sul. Escola de Engenharia

CDD 658.3

Esta dissertação foi julgada adequada para a obtenção do título de Mestre em Engenharia de Produção e aprovada em sua forma final pelo Orientador e pela Banca Examinadora designada pelo Programa de Pós-Graduação em Engenharia de Produção.

Prof^a. Carla Schwengber ten Caten, Dr^a.
PPGEP / UFRGS
Orientadora

Prof. José Luis Duarte Ribeiro, Dr.
Coordenador PPGEP/UFRGS

Banca Examinadora:

Flávio Sanson Fogliatto, Dr.
Prof. Depto. Engenharia de Produção / UFRGS

Nilo Sérgio Medeiros Cardozo, Dr.
Prof. Depto. Engenharia Química / UFRGS

Tabajara Lucas de Almeida, Dr.
Prof. Depto. Matemática / FURG

Dedico este trabalho aos meus pais Osair Franz e Sylvia Franz, aos meus irmãos e à minha amada Evirlene, por serem estes mais do que entes queridos: são os que alimentam a minha fé de que ao final, tudo sempre valerá à pena.

AGRADECIMENTOS

A minha orientadora professora Carla Schwengber ten Caten pelo conhecimento transmitido, pelo apoio dispensado nos momentos difíceis e pela paciência ao conduzir o trabalho.

Aos funcionários da empresa que integraram o projeto pela chance de aplicar os conceitos teóricos em ambiente real e pela interatividade, pelo apoio e pelo respeito, dispensados durante o desenvolvimento da pesquisa.

Aos professores que integram o LOPP, pela forma como sempre estiveram presentes e dispostos a me auxiliar, quando se fez necessário.

Aos meus pais, Osair Franz e Sylvia Franz, meu maior exemplo força, fé e amor à vida. Aos meus irmãos Silvia, Silvio e Orlandi, que alicerçam constantemente a luta na conquista dos meus ideais.

Finalmente, agradeço a minha amada Evirlene por ser uma fonte inesgotável de encorajamento, reabastecimento e amor. És muito especial para mim.

SUMÁRIO

LISTA DE FIGURAS	8
LISTA DE QUADROS	9
LISTA DE TABELAS.....	10
RESUMO	11
ABSTRACT	12
INTRODUÇÃO	13
1.1 Considerações Iniciais	13
1.2 Tema e Objetivos	14
1.3 Justificativa do Tema e dos Objetivos	15
1.4 Método de Desenvolvimento Proposto.....	16
1.5 Limitações.....	18
1.6 Estrutura do Trabalho	19
2 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA.....	21
2.1 Um Breve Histórico Sobre a Evolução da Qualidade	21
2.2 O Seis Sigma.....	22
2.2.1 Seis Sigma como conceito estatístico.....	23
2.2.2 Seis Sigma sob o aspecto gerencial.....	30
2.3 Análise dos Modos de Falha e seus Efeitos.....	31
2.4 Projeto de Experimentos.....	34
2.5 Análise de Sistemas de Medição	39
2.6 Controle Estatístico de Processos	43
2.6.1 Cartas de controle para variáveis	45
2.6.2 Cartas de controle de atributos	47
2.6.3 Capacidade de processos.....	49
2.7 Seis Sigma e Aprendizagem Organizacional.....	50

3 APRESENTAÇÃO DO MÉTODO DMAIC	55
3.1 As fases do método DMAIC.....	55
3.1.1 Fase Definir.....	55
3.1.2 Fase Medir.....	57
3.1.3 Fase Analisar.....	57
3.1.4 Fase Melhorar.....	58
3.1.5 Fase Controlar.....	59
3.2 O método DMAIC e o PDCA.....	59
3.2.1 Aspectos observados com respeito ao método DMAIC e PDCA	62
3.3 Passos do Método DMAIC Utilizados na Implantação do Projeto Seis Sigma	63
4 IMPLANTAÇÃO DO PROJETO SEIS SIGMA.....	65
4.1 Descrição do Objeto da Pesquisa.....	65
4.1.1 Reação	65
4.1.2 Separação dos monômeros	67
4.1.3 Coagulação	67
4.1.4 Acabamento.....	69
4.2 Fase Definir	70
4.2.1 Definição do problema a ser tratado no projeto Seis Sigma	70
4.2.2 Definição das metas para o Projeto	70
4.2.3 Declaração das diretrizes para condução das demais fases do projeto	72
4.2.4 Aspectos observados na fase Definir	73
4.3 Fase Medir	74
4.3.1 Determinação dos técnicos que devem auxiliar na fase Medir	74
4.3.2 Realização do Mapeamento do processo	75
4.3.3 Realização de brainstorming e elaboração do diagrama causa e efeito	78
4.3.4 Inserção de entradas e saídas no mapa do processo	80
4.3.5 Elaboração da matriz causa e efeito	82
4.3.6 Elaboração do FMEA do Processo.....	85
4.3.7 Aspectos observados na fase Medir	86
4.4 Fase Analisar	87
4.4.1 Análise do sistema de medição	88
4.4.2 Avaliação de VM em função da troca do rotor velho por um novo.....	89
4.4.3 Avaliação de VM em função da pressão usada nos viscosímetros	91
4.4.4 Avaliação de VM em função da temperatura do látex e do operador	92
4.4.5 Influência da posição do termosensor na obtenção de VM.....	94
4.4.6 Aspectos observados na fase Analisar	98
4.5 Fase Melhorar	99
4.5.1 Aspectos observados na fase Melhorar	100
4.6 Fase Controlar.....	101
4.6.1 Aspectos observados na fase Controlar.....	102
CONCLUSÃO	104
5.1 Sugestões para Trabalhos Futuros.....	107
REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....	109
APÊNDICE A	113

APÊNDICE B	117
APÊNDICE C	120
APÊNDICE D	125

LISTA DE FIGURAS

Figura 1	Tipos de distribuições de probabilidade (a) Distribuição discreta (b) Distribuição contínua	25
Figura 2	Curva normal ou distribuição de Gauss	26
Figura 3	Percentuais da área total sob a curva normal em função do desvio padrão	28
Figura 4	Exemplo de um formulário para a elaboração de FMEA.....	32
Figura 5	Modelo geral de um processo ou sistema.....	35
Figura 6	Exemplo de uma carta de controle	45
Figura 7	Relação PDCA e DMAIC	61
Figura 8	Esquema representativo da preparação dos corpos de prova para ensaio	66
Figura 9	Esquema representativo para obtenção da viscosidade Mooney.....	67
Figura 10	Diagrama esquemático do processo produtivo que é foco da pesquisa	69
Figura 11	Cronograma previsto para a realização do projeto.....	73
Figura 12	Fluxograma do processo para a área de coagulação e acabamento.....	76
Figura 13	Mapa do processo para a área de coagulação e acabamento.....	77
Figura 14	Diagrama Causa e Efeito resultante do <i>brainstorming</i> realizado com a equipe da área de coagulação e acabamento.....	79
Figura 15	Diagrama Causa e Efeito obtido do <i>brainstorming</i> realizado com a equipe dos labor. I, II e III.....	79
Figura 16	Diagrama Causa de Efeito resultante das áreas de coagulação e acabamento e dos laboratórios.....	80
Figura 17	Gráfico de Pareto para as variáveis de entrada priorizadas após reuniões de <i>brainstorming</i>	81
Figura 18	Matriz causa e efeito para o processo da área de coagulação e acabamento.....	83
Figura 19	Gráfico de Pareto para as variáveis de entrada no processo da área de coagulação e acabamento	84
Figura 20	Gráfico de Pareto elaborado com base nos valores obtidos do FMEA.....	85
Figura 21	Variabilidade de VM considerando idade do rotor e tipo de borracha	90
Figura 22	Variabilidade de VM considerando pressão e tipo de borracha	92
Figura 23	Comportamento de VM para os diferentes níveis de temperatura	94
Figura 24	Variabilidade de VM considerando posição do termosensor e tipo de borracha ..	96
Figura 25	Redirecionamento de lotes observado durante o ano de 2002	102

LISTA DE QUADROS

Quadro 1	Descrição dos modelos para os planejamentos experimentais	38
Quadro 2	Equações utilizadas num estudo de R&R.....	41
Quadro 3	Equações utilizadas num estudo de R&R por ANOVA.....	42
Quadro 4	Constantes utilizadas na construção de cartas de controle	47
Quadro 5	Método utilizado no projeto Seis Sigma apresentado no capítulo 4	64
Quadro 6	Plano de ação, elaborado após a realização da fase Medir.....	86
Quadro 7	Plano de ação elaborado após a realização da fase Melhorar.....	100
Quadro 8	Cronograma previsto para a realização do projeto	101

LISTA DE TABELAS

Tabela 1	Pontuação sugerida para avaliar a Severidade	33
Tabela 2	Pontuação sugerida para avaliar a Probabilidade de Ocorrência	33
Tabela 3	Pontuação sugerida para avaliar a Facilidade de Detecção.....	33
Tabela 4	Tabela para coleta de dados num estudo de R&R.....	42
Tabela 5	Tabela ANOVA usada para o estudo de R&R.....	42
Tabela 6	Teste de hipótese para diferença entre DIF_TANQUE e DIF_TEORICO	71
Tabela 7	Valores de DIF_TANQUE obtidos para diferentes borrachas.....	72
Tabela 8	Resultados obtidos para a ASM considerando látex NBR 2860 e SBR 1502.....	88
Tabela 9	Resultados obtidos para a ASM considerando látex aquoso e borracha	89
Tabela 10	Resultados obtidos durante realização do experimento nos rotores.....	90
Tabela 11	Comportamento de VM considerando idade do rotor e tipo de borracha	90
Tabela 12	Resultados obtidos durante realização do experimento	91
Tabela 13	Comportamento de VM considerando pressão e tipo de borracha.....	91
Tabela 14	Resultados obtidos durante realização do experimento para avaliar a temperatura ótima do látex	92
Tabela 15	Análise de Variância para DOE para avaliar a temperatura ótima do látex.....	93
Tabela 16	Valores de Valor-p obtidos nos testes para iguais variâncias aos pares.....	93
Tabela 17	Comportamento de VM para os diferentes níveis de temperatura do látex	94
Tabela 18	Resultados obtidos durante realização do 1º experimento para diferentes posições do termosensor	95
Tabela 19	Resultados obtidos no teste para variâncias para diferentes posições do termosensor	95
Tabela 20	Comportamento de VM considerando posição do termosensor e tipo de borracha	96
Tabela 21	Resultados obtidos durante realização do 2º experimento para diferentes posições do termosensor	97
Tabela 22	Variabilidade e o valor-p para diferentes tratamentos.....	97

RESUMO

Esta dissertação apresenta o programa Seis Sigma e o ramo petroquímico. O objetivo deste trabalho é realizar uma análise crítica do processo de implantação de um projeto Seis Sigma em um setor de uma indústria do ramo petroquímico. A empresa focada desejava obter a diminuição da variabilidade presente na diferença entre os níveis de viscosidade da entrada e da saída em um setor de coagulação e acabamento de látex. Para tanto, é usado um método chamado DMAIC, termo provindo das palavras *Define, Measure, Analyze, Improve e Control*, que identificam cada uma de suas fases. Na dissertação são abordados Análise dos Modos de Falha e seus Efeitos (FMEA), Projetos de Experimentos (DOE), Controle Estatístico de Processo (CEP), Análise de Sistemas de Medição (ASM), Aprendizagem Organizacional, PDCA e Desdobramento da Função Qualidade (QFD). O autor faz uso da pesquisa-ação, com uma abordagem basicamente quantitativa. Na fase Analisar do projeto detectou-se uma ineficiência do sistema de medição para os objetivos do projeto, assim como, no laboratório as leituras a partir de borracha seca apresentam menor variabilidade que as leituras a partir do látex em estado aquoso. A idade dos rotores e a pressão utilizada nos viscosímetros não são significativas para a redução da variabilidade nas leituras. Porém, a adoção de banho térmico no látex e o reposicionamento dos termosensores nos viscosímetros mostraram-se eficazes. Na fase Controlar ao final do projeto ficou evidenciada uma redução no número de lotes redirecionados. A principal dificuldade encontrada na implementação do método DMAIC foi o acompanhamento inadequado dos indicadores técnicos e financeiros. Houve atrasos no cronograma em função da má definição dos papéis das pessoas envolvidas no projeto, pela falta de uma agenda clara de trabalho e pelo uso de um problema muito complexo em um único projeto.

Palavras-chave: Qualidade, Seis Sigma, DMAIC, indústria petroquímica

ABSTRACT

This work presents the Six Sigma program and the petrochemical segment. The objective of this work is to make a critical analysis of a Six Sigma process implementation in a petrochemical industry segment. The company considered in this study aimed the deviation variability reduction between the input and the output viscosity levels in a latex coagulation and final touch area. In such case the method named DMAIC (Define, Measure, Analyze, Improve and Control) is recommended and this acronym identifies the method steps. Some approaches used in this work were Failure Mode and Effect Analysis (FMEA), Design of Experiments (DOE), Statistical Process Control (SPC), Measure and System Analysis (MSA), Organizational Learning, PDCA and Quality Function Deployment (QFD). Action research was useful to the dissertation accomplishment and it was used, basically, as a quantitative approach. At the project Analysis phase it was possible to observe a measure system inefficiency for the project objectives, as well as, to observe by using DOE, that the results for the dry rubber laboratory analysis showed less variability than the results for the liquid latex. Other results demonstrated that the rotors lifetime and the pressure used in the viscometers did not show significant influence in reducing the results variability. On the other hand, the latex thermal washing and the re-establishment of the thermistor in the viscometers were considered efficient improves. In the Control phase, at the end of the project, it was evidenced a quantity reduction of the redirected product. The prime obstacle faced along this work was the technical and financial indicators inadequate follow up. A calendar delay was attributed to the following causes: a deficient function definition for the people involved with the project, the nonexistence of a schedule for the team and the analysis of a very complex problem in a unique project.

Key words: Quality, Six Sigma, DMAIC, petrochemical industry

CAPÍTULO 1

INTRODUÇÃO

1.1 CONSIDERAÇÕES INICIAIS

A competição pelo ganho de mercado e o foco no atendimento às necessidades dos clientes provocou, na segunda metade do último século, mudanças na postura gerencial de um número expressivo de empresas. Este movimento teve início no Japão entre final da década de quarenta e início da década de sessenta. A partir dos anos setenta, houve a popularização das técnicas japonesas no ocidente. Este movimento vem abrangendo ao mesmo tempo empresas de vários nichos econômicos ao redor do mundo (DAHLGAARD, 1999). O Brasil encontra-se inserido neste contexto de busca pela qualidade, o que pode ser observado pelo número de certificações ISO 9000, que em 1990 eram apenas 18 e no final de 2001 chegaram a mais 10.000 (MIGUEL, 2002).

No caso das empresas brasileiras que atuam no mercado internacional, a competitividade imposta às mesmas revela-se intensa. No mercado nacional, indústrias de vários segmentos foram afetadas por este sistema globalizado. Com o desejo de alcançar demandas de qualidade de produtos e serviços e de poder competir no mercado mundial, tanto empresas do setor público como privado tiveram que fazer da qualidade uma alta prioridade (MIGUEL, 2002).

A indústria petroquímica brasileira está inserida neste panorama, uma vez que em certos casos, empresas brasileiras do ramo petroquímico também atuam no mercado externo. Este é o caso da empresa onde foi realizado o presente trabalho. A empresa foco deste estudo pertence ao ramo petroquímico e fabrica borracha, competindo no mercado mundial e estando posicionada como quinta maior fabricante deste produto no mundo. A respectiva empresa opera com capacidade para 224 mil toneladas por ano.

Pelo contexto exposto anteriormente, o Seis Sigma pode tornar-se útil ao atender a necessidade de minimizar custos internos, atender exigências dos clientes, facilitar a padronização das metas para diferentes unidades das empresas, entre outros fatores. O Seis Sigma permite que se tenha uma linguagem e metodologia para a detecção e solução de problemas em um nível global, o que permite a transferência de processos e soluções ao redor do mundo (CHALLENGER, 2001).

1.2 TEMA E OBJETIVOS

O tema desta dissertação é o Seis Sigma e o ramo petroquímico. Utiliza-se para tanto um trabalho de implantação de um projeto Seis Sigma que foi realizado em uma empresa do ramo petroquímico, no setor de coagulação e acabamento de látex. O processo de implantação do projeto é relatado e analisado desde suas fases iniciais até os resultados obtidos.

O projeto é implantado fazendo uso das etapas de um método previamente determinado, chamado DMAIC. O acrônimo DMAIC é proveniente dos termos em inglês *Define, Measure, Analyze, Improve, Control* e se traduz em Definir, Medir, Analisar, Melhorar e Controlar (WERKEMA, 2002).

O objetivo do presente trabalho é realizar uma análise crítica do processo de implantação de um projeto Seis Sigma em um setor de uma indústria do ramo petroquímico. A empresa focada neste estudo deseja obter a redução da variabilidade existente na diferença entre os níveis de entrada e os níveis de saída de uma etapa do seu processo produtivo.

Como objetivos específicos do estudo, pode-se citar:

- a) Apresentar as fases de implantação do método DMAIC;
- b) Discutir a relação entre o método DMAIC e o método PDCA;
- c) Apresentar a aplicação do método DMAIC em um setor de coagulação de látex de uma indústria petroquímica e os resultados obtidos;
- d) Discutir os fatores críticos de sucesso para cada fase do DMAIC, considerando juntamente elementos da aprendizagem organizacional.

1.3 JUSTIFICATIVA DO TEMA E DOS OBJETIVOS

A busca pelos padrões de qualidade tem caráter dinâmico e tem mostrado maior intensidade no Brasil durante os últimos dez anos por consequência da aceleração de uma economia globalizada (MIGUEL, 2002). A partir dos anos oitenta o conceito de controle para a construção da qualidade mudou do foco dos resultados para os processos e suas inter relações. Na última década, houve uma mudança de foco das atividades passivas e reativas para as atividades pró-ativas (DAHLGAARD, 1999).

Ainda na década de oitenta surgiu o Seis Sigma, quando se desenvolveu na *Motorola* a idéia de inserir uma estatística robusta na filosofia da qualidade. Esta idéia tornou-se popular a partir início dos anos noventa (DAHLGAARD, 1999).

Quando discutido em termos de aplicabilidade na indústria química, o Seis Sigma gera ainda divergências. Enquanto alguns analistas mostram-se otimistas em relação a este tipo de recurso, apontando empresas precursoras como *Dow Chemical* e *DuPont*, outros são mais cuidadosos evitando apontar o Seis Sigma como uma solução gerencial única. A indústria química é um meio naturalmente formador de engenheiros e cientistas que, comumente fazem uso de ferramentas estatísticas. Por outro lado, embora o Seis Sigma seja considerado adequado à indústria química, somente algumas companhias têm o programa implementado (SAUER, 2001).

Em termos de popularidade, o Seis Sigma tem apresentado um expressivo crescimento no Brasil durante os últimos anos. Segundo Sturion (2002) a propagação de programas de qualidade Seis Sigma no Brasil se deu inicialmente por unidades de negócios que já haviam trabalhado com o tema no exterior. Cite-se aqui as multinacionais *General Eletric*, *Motorola*, *ABB* e *Kodak*. Hoje programas de qualidade Seis Sigma já estão sendo implantados em várias empresas brasileiras com o auxílio de profissionais brasileiros, alcançando ganhos expressivos da ordem de até 15 reais de retorno para cada real investido.

Assim, o tema deste trabalho torna-se relevante visto que o mesmo pode proporcionar a obtenção de conceitos úteis ao ambiente em estudo. Este tema torna-se também importante considerando que os elementos práticos por ele levantados podem ser usados como base na realização de trabalhos acadêmicos futuros.

O desenvolvimento de um trabalho que descreva as fases de implantação de um projeto Seis Sigma permitirá um entendimento melhor da aplicação deste conceito. Um trabalho com este propósito pode levar a um entendimento das dificuldades existentes quando da utilização de ferramentas da Estatística e da Engenharia da Qualidade na indústria petroquímica.

Pelo fato desta dissertação estar concentrada na implantação de um projeto através do uso do método DMAIC, as conclusões terão um caráter prático. Neste sentido, a presente dissertação pode tornar-se um bom referencial para a aplicação dos conhecimentos adquiridos, seja na indústria aqui focada, seja em outras indústrias, considerando as devidas adequações.

A empresa focada nesta dissertação optou pela implantação do Seis Sigma por entender que a satisfação de seu cliente está intimamente ligada à redução da variabilidade em seus produtos. Como o Seis Sigma tem sua abordagem fortemente ligada ao tratamento estatístico e à redução da variabilidade, pressupôs-se que este programa seria adequado ao seu processo produtivo. Por fim, como a empresa atua também no mercado internacional torna-se interessante que seu produto alcance uma qualidade que seja competitiva internacionalmente.

1.4 MÉTODO DE DESENVOLVIMENTO PROPOSTO

O desenvolvimento do trabalho transcorre com base nos objetivos que foram previamente definidos. A metodologia utilizada tem como orientação a geração de conhecimentos dirigidos à solução de problemas específicos, ou seja, uma pesquisa aplicada. É usada uma abordagem basicamente quantitativa para a pesquisa que se caracteriza por ser descritiva.

Do ponto de vista dos procedimentos técnicos utilizados pode-se dizer que este trabalho é realizado na forma pesquisa-ação, uma vez que o pesquisador interage com o objeto da pesquisa tentando transformá-lo através de um trabalho de equipe fundamentado na cooperação e participação, dentro do processo investigado. Um trabalho nos moldes de uma pesquisa-ação não precisa restringir-se apenas a aspectos práticos, tanto que a mediação teórico-conceitual deve tornar-se presente no decorrer de toda a pesquisa (GIL, 1996).

Este tipo de pesquisa demonstra características que permeiam atividades de diagnóstico ou consultoria, focando no esclarecimento de situações complexas e no encaminhamento de

possíveis ações. Outro aspecto interessante, e que merece ser observado, refere-se ao fato de que a pesquisa-ação requer legitimidade dos diferentes atores e convergência de interesses, incluindo-se aqui também as organizações pesquisadas (THIOLLENT, 1997).

O primeiro contato com a empresa apresentada neste trabalho foi realizado no início de fevereiro de 2002. Através de uma reunião na empresa, foi feita uma exposição das áreas que poderiam ser foco de trabalho, dos futuros participantes do projeto e da situação em que estava o desenvolvimento da implantação do programa Seis Sigma na empresa. Foi realizada também uma visita às instalações da empresa, com o objetivo de situar o pesquisador no ambiente de estudo.

A partir da última semana de fevereiro foi iniciada oficialmente a implantação de alguns projetos Seis Sigma na empresa. Foram determinadas as equipes que participariam dos projetos e as áreas em que cada grupo atuaria. Neste momento, foi determinada a área de coagulação e acabamento de látex para aplicação de um dos projetos Seis Sigma.

Paralelo à implantação do projeto, foi desenvolvida uma pesquisa focando os conceitos teóricos necessários ao desenvolvimento do projeto, o que culminou na elaboração de uma revisão bibliográfica. Na revisão bibliográfica são apresentados tópicos que dão embasamento e uniformidade aos conceitos utilizados na implantação do projeto Seis Sigma. Inicialmente procura-se contemplar o conceito de Seis Sigma sob o enfoque estatístico e gerencial. As ferramentas gerenciais e da qualidade que poderiam ser úteis durante o desenvolvimento do projeto também têm seus conceitos abordados na revisão bibliográfica. Alguns aspectos relativos à aprendizagem organizacional que dão sustentação às observações feitas no decorrer da implantação do projeto Seis Sigma são abordados ao final da revisão bibliográfica.

O DMAIC, por decisão da empresa, foi o método escolhido para implantação do projeto Seis Sigma apresentado nesta dissertação. Este método é inicialmente discutido através da apresentação de cada uma de suas etapas. Posteriormente, é traçado um comparativo entre o método DMAIC, que foi popularizado pelo programa Seis Sigma a partir da década de noventa, e o método PDCA, introduzido por W. Edwards Deming e amplamente difundido pelos programas de qualidade a partir do sucesso obtido pelas empresas japonesas. O objetivo é reunir subsídios para concluir com respeito às possíveis diferenças existentes entre os métodos DMAIC e PDCA. A utilização do DMAIC pode ser vista no decorrer da implantação do projeto Seis

Sigma apresentado nesta dissertação, oportunidade na qual são discutidos os fatores críticos de sucesso e são apresentados os resultados obtidos.

As fases de implantação do projeto Seis Sigma dessa dissertação seguem o método DMAIC apresentado por Werkema (2002) e discutidos a seguir:

- a) *Fase Definir* – Esta fase identifica o projeto Seis Sigma a ser implementado na empresa. Aqui é definido com precisão o escopo do projeto e a meta a ser atingida;
- b) *Fase Medir* – Nesta fase são realizadas ações com o intuito de avaliar o quanto o processo abordado é importante e quais os pontos do processo a serem tratados com maior ênfase;
- c) *Fase Analisar* – Aqui é analisado cada problema prioritário identificado na fase Medir. Neste ponto deseja-se conhecer as relações causais e as fontes de variabilidade e de desempenho insatisfatório no processo estudado, visando a busca de melhorias;
- d) *Fase Melhorar* – Nesta fase são propostas, avaliadas e implementadas soluções para cada problema que havia sido priorizado;
- e) *Fase Controlar* – A partir desta fase são tomadas ações objetivando garantir que o alcance da meta seja mantido em longo prazo.

1.5 LIMITAÇÕES

O estudo apresentado nesta dissertação versa sobre a implantação de um método que utiliza diversas ferramentas da qualidade, como Desdobramento da Função Qualidade (QFD), a Análise dos Modos de Falha e seus Efeitos (FMEA), Análise de Sistemas de Medição (ASM) e o Projeto de Experimentos (DOE), entre outros. Todas essas ferramentas podem ser aplicadas dentro de um conjunto de procedimentos previamente determinado. Assim, o aprofundamento em tais ferramentas restringe-se aos conceitos necessários ao seu entendimento e aplicabilidade.

Também nos aspectos relativos à absorção do conhecimento e assimilação do conceito Seis Sigma, o aprofundamento teórico não deverá exceder aquele necessário para a realização das análises críticas. Para isso, serão usados os conceitos da aprendizagem organizacional.

O estudo se concentrará na implantação de um projeto para otimização de apenas uma área dentro de uma indústria que trabalha com um processo de fabricação de borracha. Embora os conceitos aplicados neste projeto possam ser utilizados como meio de obtenção de melhorias em outras áreas, cabe ressaltar que as conclusões se restringirão à área estudada e ao método DMAIC.

O trabalho foi desenvolvido em uma indústria do ramo petroquímico. Portanto, a generalização deste estudo para outros ramos de indústria possivelmente exigirá que sejam realizadas eventuais adequações.

1.6 ESTRUTURA DO TRABALHO

Este trabalho está organizado em cinco capítulos estruturados como segue:

O Capítulo 1 discute informações que se configuram como relevantes para a compreensão inicial do trabalho e sua contextualização. São focos desta parte inicial as considerações iniciais, o tema e objetivos, as justificativas do tema e dos objetivos, a metodologia utilizada, as limitações do trabalho e a estrutura da dissertação.

O Capítulo 2 apresenta uma revisão bibliográfica objetivando dar embasamento e uniformidade aos conceitos utilizados na dissertação, enfocando prioritariamente o Seis Sigma e as ferramentas utilizadas na implantação do projeto focado na pesquisa.

No Capítulo 3 é apresentado o método usado para a implantação de um projeto Seis Sigma. Inicialmente o método denominado DMAIC é apresentado usando para isso os conceitos discutidos no Capítulo 2 e alguns conceitos novos, vistos no decorrer do Capítulo 3. A seguir, é realizada uma discussão com respeito a este método e sua relação com o PDCA. São discutidos pontos de vista sobre o DMAIC, considerando-se a opinião de diferentes autores que trabalham com o Seis Sigma. Por fim, é apresentado o método DMAIC conforme foi implantado o projeto Seis Sigma na empresa.

O Capítulo 4 vem apresentando, inicialmente, um referencial teórico com informações a respeito da indústria onde é realizado o trabalho. O referencial apresentado caracteriza a indústria pela sua história, pelos seus produtos e ramos de atividades. Este capítulo apresenta ainda o desenvolvimento da pesquisa ação, alinhada aos moldes do projeto Seis Sigma aplicado

na empresa. Esse capítulo demonstra, passo a passo, as fases propostas pelo método DMAIC com a apresentação dos dados relevantes para o escopo da dissertação e observações ligadas ao projeto. Ao final da apresentação do que foi desenvolvido em cada fase do DMAIC, é apresentada uma análise dos fatores críticos de sucesso, considerando também elementos da aprendizagem organizacional.

O Capítulo 5 apresenta as conclusões da dissertação, com sugestões para trabalhos futuros. As conclusões refletem de forma concisa as observações realizadas durante o Capítulo 3 e o Capítulo 4. Na seqüência deste capítulo estão as referências bibliográficas e os apêndices da dissertação.

CAPÍTULO 2

2 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

2.1 UM BREVE HISTÓRICO SOBRE A EVOLUÇÃO DA QUALIDADE

A qualidade de um modo geral sempre esteve vinculada à história do homem, contudo a sua abordagem como uma função de gerência formal é relativamente recente. A evolução do conceito de qualidade aconteceu paralelamente às mudanças tecnológicas ocorridas na indústria como um todo. Um marco histórico para a evolução da qualidade pode ser considerado a Revolução Industrial no século XVIII, embora neste período a grande parte dos produtos fosse produzida por artesãos e artífices habilidosos e a qualidade fosse abordada informalmente. A necessidade de qualificação nas características dos produtos e dos sistemas de produção acentuou-se a partir do início do século XX, tornando-se gradualmente mais essencial à sobrevivência das empresas. Em decorrência disto, várias ferramentas de administração da produção foram sendo desenvolvidas isoladamente, destacando-se aqui também a influência exercida pela indústria bélica durante I e II Guerras Mundiais (GARVIN, 1992).

No período pós-guerra, as políticas de desarmamento implantadas no Japão provocaram o surgimento de um novo modelo produtivo baseado no aprimoramento contínuo dos produtos e dos processos de produção. Neste período destacam-se os autores W. Edwards Deming e Joseph Juran, durante o processo de desmilitarização do país e de reconstrução de sua economia (ECKES, 2001).

No final da década de setenta, o nível da qualidade dos produtos japoneses passou a tornar-se evidente. Destaca-se aqui o fato ocorrido durante a crise mundial do petróleo, quando a indústria automobilística japonesa passou a produzir carros bem mais econômicos e eficientes que os norte-americanos. Entre 1973 e 1983 o percentual de consumidores que achavam os carros japoneses melhores que os norte-americanos pulou de 12% para 40%. Os anos 80 foram

marcados nos Estados Unidos por uma constante busca por padrões de qualidade, similares àqueles observados na indústria japonesa (ECKES, 2001; GARVIN, 1992).

O movimento pela qualidade não ficou restrito aos Estados Unidos, embora sua economia tenha sido, inicialmente, uma das mais mobilizadas neste sentido durante os anos oitenta.

O dinamismo na evolução das técnicas objetivando a obtenção de eficiência e a satisfação dos clientes não cessou. Este panorama marcado pela busca da qualidade atravessou os anos noventa e mantém-se hoje, atingindo diversos nichos de mercado regidos por uma economia globalizada.

2.2 O SEIS SIGMA

O Seis Sigma surgiu durante a segunda metade dos anos oitenta, quando diversas empresas norte-americanas procuravam alguma abordagem que às levasse a um padrão de competitividade compatível com aquele praticado por empresas japonesas. As aplicações iniciais do Seis Sigma foram realizadas na empresa Motorola. A implantação oficial do Seis Sigma na Motorola foi iniciada em 1987, quando as filiais da empresa ao redor do mundo foram informadas sobre o que consistia tal conceito e quais suas obrigações para alcançar as metas desejadas (PEREZ-WILSON, 1999).

No início da década de noventa os resultados obtidos com a implantação do Seis Sigma pela Motorola mostravam-se positivos. Estes resultados levantaram o interesse de outras empresas em implantar o Seis Sigma, as quais também obtiveram resultados satisfatórios, com destaque para a empresa *General Electric*. A partir de então, o conceito tem se popularizado através de empresas de diversos países. No Brasil, o Seis Sigma já está sendo implantado em várias empresas, inclusive sob o suporte de consultores brasileiros (PEARSON, 2001).

O termo Seis Sigma tem origem no nome de um parâmetro usado na Estatística para medir a dispersão de dados. Embora o termo remeta à idéia de redução da dispersão durante o controle do processo produtivo, o Seis Sigma também carrega em si fundamentos que estão ligados a questões de cunho gerencial. Logo, o conceito de Seis Sigma pode ser abordado sob

mais de uma visão, ora sendo conceituado sob a ótica da estatística, ora sendo definido sob uma visão gerencial.

2.2.1 *Seis Sigma como conceito estatístico*

A palavra sigma é o nome de uma letra grega, σ , usada na estatística para identificar um parâmetro chamado desvio padrão (PEREZ-WILSON, 1999). Ao conceituar o desvio padrão é necessário que se compreenda o conceito de distribuição de probabilidade.

Os processos produtivos funcionam com base no controle de vários fatores, que precisam ser mantidos em certos níveis. Estes níveis sempre apresentarão um certo grau de variabilidade, independente de quão bem o processo seja projetado ou operado. Dessa forma, ao comparar-se, por exemplo, duas peças produzidas pelo mesmo processo, suas medidas jamais serão exatamente iguais, por consequência das variabilidades inerentes ao processo (MONTGOMERY, 2001).

Num processo de produção discreta, por exemplo, pode se considerar que o número de defeituosos na saída do processo é tão menor quanto menor for a variabilidade dos fatores nas suas etapas intermediárias (RIBEIRO e CATEN, 2001a; MONTGOMERY, 2001). Já observando um processo de produção contínua, pode-se afirmar que a redução da variabilidade nas características críticas permite que a variabilidade na saída do processo seja atenuada. Deve-se considerar aqui que muitas vezes estas características não representam adequadamente o verdadeiro nível de variação exibido pelo processo (HILD, 2000-01).

Uma forma de garantir a qualidade dos produtos pode ser reduzindo-se a variabilidade observada na saída do processo produtivo. A variabilidade na saída dos processos pode ser observada pela tomada de informações (dados) sobre um parâmetro mensurável, em torno da meta determinada por uma especificação. Estes dados devem possuir uma variabilidade máxima, de modo que não excedam uma determinada dispersão dentro de um espaço delimitado pelos limites máximos de variabilidade permitidos ao processo (ECKES, 2001).

Desde os primórdios da produção em massa, a garantia da obtenção dos níveis desejados de qualidade era determinada pela inspeção em grande escala na saída dos processos. Uma forma diferente de obter informação do processo é pelo uso da inferência estatística, através de amostras representativas de todos os produtos produzidos. Esta última visão foi decisiva para

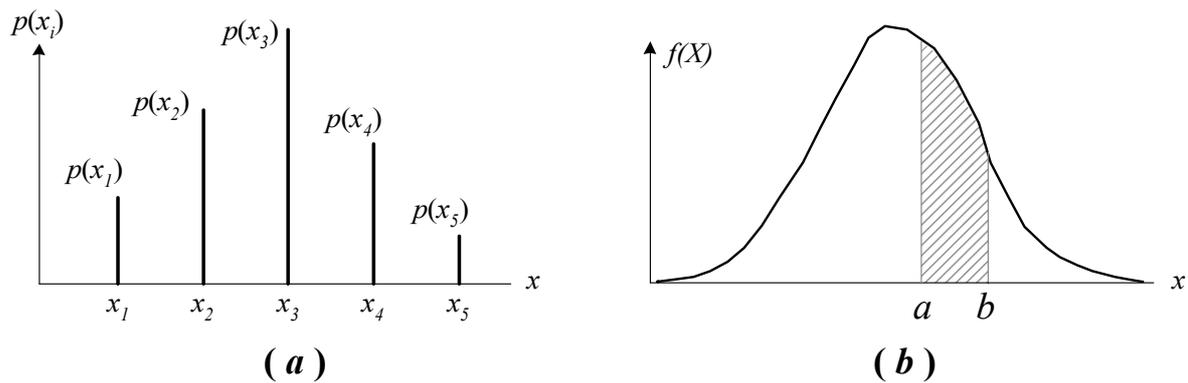
as mudanças que elevaram a competitividade das empresas japonesas na segunda metade do último século (HARRY, 1998).

Os fatores monitorados durante um processo ou na saída dele podem variar dentro de uma escala contínua como no caso de peso, comprimento ou temperatura, ou podem variar dentro de uma escala discreta como, por exemplo, número de fissuras (RIBEIRO e CATEN, 2001a).

Quando uma amostra é obtida em um processo, é possível dividir os dados dessa amostra em categorias ou classes. Este procedimento permite observar o número de indivíduos pertencentes a cada categoria ou classe. Pode se chamar estes grupos de indivíduos pelo nome de frequência de classe. O resultado do processo de organização destes grupos em classes revela o comportamento dos dados, ou seja, o tipo de distribuição de frequência dos dados. É comum na análise de dados que algumas classes possuam um número maior de indivíduos e outras classes, um número menor (SPIEGEL, 1993).

As distribuições de frequência também podem ser representadas graficamente. Ao representar estas distribuições de frequência graficamente, pode se usar dois tipos de gráficos denominados histograma de frequência e polígono de frequência. O histograma de frequência consiste num conjunto de retângulos que têm as bases sobre um eixo horizontal com centro no ponto médio das classes (retângulos) e as larguras iguais às amplitudes dos intervalos das classes, com áreas proporcionais às frequências das classes. Já o polígono de frequência consiste em um gráfico de linhas obtido ligando-se os pontos médios dos topos dos retângulos de um histograma (SPIEGEL, 1993).

As distribuições de probabilidade podem ser do tipo discretas ou contínuas. Uma distribuição de probabilidade do tipo discreta ocorre quando o parâmetro que está sendo observado assume valores distintos como, por exemplo, número de não-conformes. Já uma distribuição de probabilidade contínua ocorre quando o parâmetro que está sendo monitorado é expresso em uma escala contínua, por exemplo, comprimento ou peso de uma peça, conforme Figura 1 (MONTGOMERY, 2000).



Fonte: Montgomery (2001)

Figura 1 Tipos de distribuições de probabilidade (a) Distribuição discreta (b) Distribuição contínua

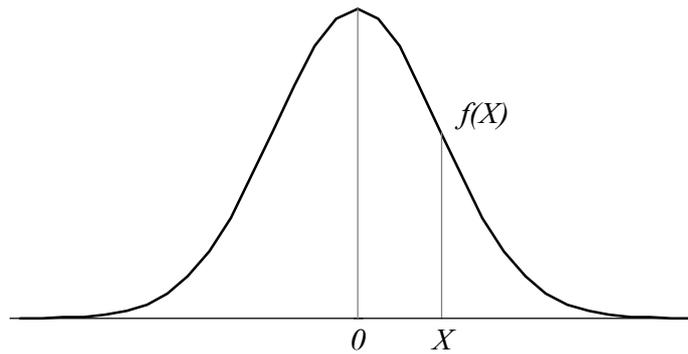
Tanto as distribuições contínuas quanto as discretas são passíveis de classificações que às subdividem em categorias. Dentre as categorias existentes, uma se destaca por ser um dos mais importantes exemplos de uma distribuição de probabilidade contínua. O nome dela é curva ou distribuição normal, ou distribuição de Gauss (SPIEGEL, 1993).

A curva para a distribuição de probabilidade normal está relacionada a uma distribuição de frequência e seu histograma. A medida em que a amostra for se tornando maior e a largura de cada classe for se tornando menor, o polígono de frequências aproxima-se de uma curva. Se a população inteira, apesar de a população ser geralmente considerada infinita, fosse medida, o resultado seria uma curva. Assim, a forma de um histograma de dados amostrais oferece alguma indicação da distribuição de probabilidade para a população. Se esta curva tiver a forma de um sino, isto servirá como base para se supor que a população segue uma distribuição de probabilidade normal (JURAN, 1992).

A curva da distribuição normal é descrita pela equação (1).

$$f(X) = \frac{1}{\sigma\sqrt{2\pi}} e^{-\frac{1}{2}\left(\frac{X-\mu}{\sigma}\right)^2} \quad (1)$$

Na equação (1), μ é média da população, σ , o desvio padrão da população e X , um dado amostral extraído da população. A curva gerada por esta equação é apresentada na Figura 2.



Fonte: Spiegel (1993)

Figura 2 Curva normal ou distribuição de Gauss

Considera-se que a área total limitada entre a curva normal e o eixo horizontal apresentados na Figura 2 é igual a 1. Tomando-se a área sob a curva, limitada por dois pontos $X = a$ e $X = b$, para $a < b$, tem-se a probabilidade de X estar situado entre a e b (SPIEGEL,1993). Considerando-se que π e “ e ” são sempre constantes e que X depende da amostra observada, torna-se possível afirmar que a curva normal depende somente de μ e σ , ou seja, da média e do desvio padrão. Estes dois últimos parâmetros representam, então, a curva que descreve o comportamento da população que está sendo estudada. Uma vez que existe uma infinidade de distribuições normais, cada uma delas equivalendo a uma média (μ), um desvio padrão (σ) e uma unidade de medida, torna-se interessante transformar estes dados numa curva normal padronizada. Este procedimento remete ao uso de uma tabela de probabilidade relacionada com um único parâmetro, chamado variável reduzida Z . Esta variável reduzida é obtida calculando-se $(X - \mu)/\sigma$. Assim, a equação (1) poderia ser escrita conforme é apresentado na equação (2) (RIBEIRO e CATEN, 2001a; JURAN, 1992).

$$f(X) = \frac{1}{\sigma\sqrt{2\pi}} e^{-\frac{1}{2}Z^2} \quad (2)$$

A média aritmética, ou simplesmente média, de uma população de N números X_1, X_2, X_N é representada por μ e é definida pela equação (3). O desvio padrão de uma população com N números X_1, X_2, \dots, X_N é representado por σ e é definido pela equação (4) (SPIEGEL,1993).

$$\mu = \frac{\sum_{i=1}^N X_i}{N} \quad (3)$$

$$\sigma = \sqrt{\frac{\sum_{j=1}^N (X_j - \bar{X})^2}{N}} \quad (4)$$

Em virtude de algumas vezes a análise dos dados populacionais tornar-se impraticável, é preciso que seja analisada uma amostra que seja significativa da população em questão. Para amostras com número de dados inferior a 30, aconselha-se a substituição, na equação (4), de N por $(N - 1)$. Este procedimento permite que a estimativa do desvio padrão da população seja melhorada (SPIEGEL,1993).

Embora o entendimento do uso de recursos estatísticos seja importante durante um trabalho de inferência sobre o comportamento de produtos e processos, não se torna interessante neste momento um aprofundamento teórico neste sentido. Cabe agora utilizar a definição de desvio padrão como base para o entendimento do Seis Sigma.

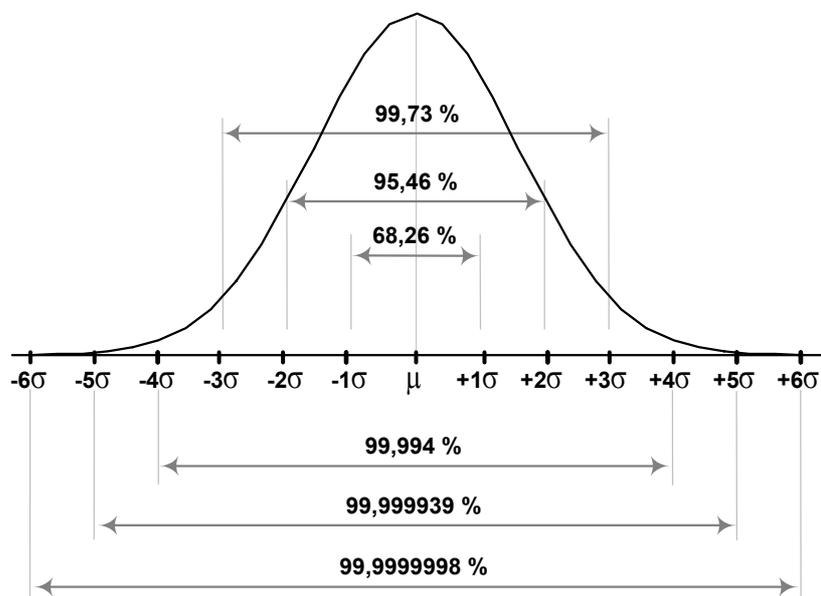
Com freqüência os processos produtivos operam com um limite máximo de dispersão tal que um determinado percentual de seus produtos estejam dentro dos limites de especificação, que são determinados de acordo com as necessidades do cliente. A dispersão em torno da meta do processo pode gerar uma distribuição normal. Ao comparar esta distribuição com os limites de especificação, é possível ter uma estimativa do quanto o processo está sendo eficiente em produzir dentro das necessidades do cliente.

Considerando-se, por exemplo, que um processo está operando com uma variabilidade onde dois desvios padrões ou dois sigmas de seus produtos estão dentro dos limites de dispersão máximos, se diz que este processo está produzindo aproximadamente 31,74% de produtos fora dos limites de especificação. Se a variabilidade do processo for tal que quatro desvios padrões ou quatro sigmas dos produtos produzidos estejam dentro dos limites de especificação, então aproximadamente 4,54% dos produtos estão fora dos limites de especificação almejados pelo cliente.

Pode se observar que quanto maior o número de sigmas, ao analisar o processo em relação aos limites de especificação, menor será a quantidade de produtos produzidos fora das especificações dos clientes. Segundo Harry (1998), um número grande de sigmas implica num processo que produz baixo número de defeitos. Conseqüentemente, com o incremento do

número de sigmas dentro das especificações, é aumentada a confiabilidade dos produtos, a necessidade de testes e inspeções é diminuída, o retrabalho é progressivamente reduzido, os custos são baixados, os ciclos de tempo são diminuídos e a satisfação do cliente cresce.

Se a eficiência do processo produtivo puder ser gradual e continuamente melhorada, é possível supor uma situação hipotética onde o número de sigmas torna-se tão grande que seria atingida a perfeição, ou seja, 0% de defeitos. Considerando-se um processo com uma variabilidade onde os produtos nele produzidos possuam doze desvios padrões ou doze sigmas dentro dos limites de especificação do cliente, então, pode-se dizer que este processo produz aproximadamente 0,0000002%, ou 2 partes por bilhão (ppb), de produtos fora dos limites de especificação almejados pelo cliente. Ou seja, a área sob a curva normal que representa a dispersão do processo está contida 99,9999998% entre os limites de especificação. Desta forma, a possibilidade de um produto sem defeitos estar contido nos limites de especificação é tão grande que, a probabilidade de obtenção de um dado fora destes limites pode ser considerada quase zero, ou seja, a quase perfeição. Os percentuais citados aqui podem ser entendidos melhor pela Figura 3.



Fonte: Perez-Wilson (1999)

Figura 3 Percentuais da área total sob a curva normal em função do desvio padrão

O Seis Sigma pode, dentre outras definições, ser considerado uma estatística calculada para cada característica crítica da qualidade para avaliar a performance em relação à

especificação ou à tolerância requisitada pelo cliente (WERKEMA, 2002; PEREZ-WILSON, 1999).

Ainda observando sob o enfoque estatístico, o Seis Sigma pode ser considerado como uma medida ou uma meta. O Seis Sigma é visto como meta se observado o objetivo de alcançar um nível de quase zero defeitos ou 0,002 falhas por milhão. O Seis Sigma pode ser também uma medida para determinado nível de qualidade. Quanto maior o número de sigmas em relação ao limite de especificação, menor o número de defeitos ou de não-conformidades, ou seja, quanto maior o número de sigmas nessas circunstâncias, melhor o nível de qualidade dos processos (WERKEMA, 2002; PEREZ-WILSON, 1999; ECKES, 2001).

Para Perez-Wilson (1999), ao considerar-se o Seis Sigma como meta é errado afirmar que este nível de eficiência equivale a 3,4 falhas por milhão de oportunidades de erro, como foi definido por Harry (1998) e como é usualmente praticado durante implantações deste conceito. Segundo ele, o valor 3,4 provém da hipótese de que, num longo prazo, o processo pode atingir variações de $\pm 1,5\sigma$ sem indicar uma piora na porcentagem de itens fora de especificação. Este ponto de vista teria sido usado nos primeiros trabalhos de implantação do Seis Sigma e, por isso, não poderia ser tomado como regra. Para ele não é correto considerar que um processo varie aproximadamente $\pm 1,5\sigma$ o tempo todo.

Contudo, Mikel Harry (HARRY, 1998) afirma que, devido à influência dos recursos estatísticos e das ferramentas da qualidade ou *setups* de máquinas, é possível que ocorra um aumento na variabilidade em longo prazo. O autor George Eckes (2001) complementa que esta variação deve ser considerada porque os processos de amostragem são feitos durante curtos períodos de tempo, não detectando a real variação do processo. Contudo, reitera o que é afirmado por Perez-Wilson (1999), aconselhando que cada empresa busque identificar as variações de seu processo de modo a definir com precisão qual variabilidade de longo prazo deve ser realmente levada em conta.

Eckes (2001) procura uma definição única para o Seis Sigma sob o aspecto estatístico afirmando que este conceito é, em essência, um sistema de mensuração das variações de um processo que pode determinar o quanto o processo produtivo está próximo da excelência em termos de desempenho.

2.2.2 *Seis Sigma sob o aspecto gerencial*

A rigor, o Seis Sigma ainda não tem uma definição de consenso entre os principais autores. Contudo, percebe-se entre os mesmos uma confluência de opiniões no que tange à disciplina rígida dos métodos, à importância dada a aplicação e ao entendimento de ferramentas estatísticas especificamente estruturadas e, por fim, aos limites de nível sigma que geraram literalmente o nome e a base de toda a estrutura teórica e metodológica. Sob o aspecto gerencial, o Seis Sigma pode assumir vários enfoques ligeiramente diferentes.

A *General Electric*, que se destacou como uma das empresas que obteve sucesso implantando o Seis Sigma, optou por defini-lo como um processo altamente disciplinado que permite que a estratégia da empresa fique focada no desenvolvimento e alcance de produtos e serviços próximos da perfeição. A idéia central por trás do Seis Sigma é que ele torna possível medir o quanto de defeitos existe no processo, permitindo, desta forma, que se crie uma sistemática eficiente e eficaz para eliminá-los e tornar o zero defeito uma possibilidade tangível (TREICHLER et al, 2002).

Definições mais sucintas apresentam o Seis Sigma como um processo altamente disciplinado que auxilia no atingimento de metas com base nas exigências do cliente e com treinamento focado na gerência (TREICHLER, et al, 2002; NEUSCHELER-FRITSCH, 2001).

Outro exemplo seria a afirmação de que Seis Sigma é um sistema abrangente e flexível para alcançar, sustentar e maximizar o sucesso empresarial. Seis Sigma 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, 2001).

O Seis Sigma é, num nível mais aprofundado, um sistema estratégico e tático para gerenciamento total no desenvolvimento de negócios. Dentro desta perspectiva, o Seis Sigma permite uma capacidade de evoluir simultaneamente na satisfação do cliente e do fornecedor, sendo este um ingrediente chave para um negócio de sucesso (HARRY, 2000).

O Seis Sigma pode ser explicado de diversas formas quando é abordado sob o aspecto gerencial. Essa idéia gera várias interpretações que conferem a este conceito, por exemplo, significados de metodologia, filosofia, visão, estratégia ou *benchmarking* (BASU, 2001; PEREZ-WILSON, 1999).

Faz-se necessária a compreensão de que o Seis Sigma remete à idéia que todos os defeitos ou erros representam risco, porém, nem toda forma de risco pode ser caracterizada em termos de defeito. Dado que o Seis Sigma é primariamente uma iniciativa de negócio, não sendo simplesmente um programa de qualidade, é possível vê-lo mais perfeitamente alinhado com a idéia de diminuição de riscos do que com a idéia de redução de defeitos (HARRY, 2000).

A introdução do Seis Sigma nas organizações é realizada com base num programa de implantação. A chave para o sucesso de um programa Seis Sigma é que este seja incorporado pela alta gerência, através de uma postura de comprometimento e reconhecimento dos seus benefícios. Outra condição é que a organização adote uma metodologia única a ser compreendida e utilizada por todo o corpo de funcionários da empresa (PEREZ-WILSON, 1999).

Durante a utilização de um método para o desenvolvimento de um projeto Seis Sigma, o conhecimento e aplicação de várias técnicas são necessários (PEREZ-WILSON, 1999). Dentre as ferramentas que podem ser utilizadas durante a implantação de um projeto Seis Sigma, são abordadas neste capítulo apenas aquelas que poderiam ser utilizadas no projeto apresentado no estudo de caso. Neste capítulo são abordados Análise dos Modos de Falha e seus Efeitos, Projetos de Experimentos, Análise de Sistemas de Medição e Controle Estatístico de Processos.

2.3 ANÁLISE DOS MODOS DE FALHA E SEUS EFEITOS

O FMEA é um método de análise de produtos ou processos industriais e/ou administrativos, usado para identificar todos os possíveis modos potenciais de falha e determinar o efeito de cada um sobre o desempenho do sistema, produto ou processo, mediante um raciocínio basicamente dedutivo. O termo FMEA provém dos termos *Failure Mode and Effects Analysis* e pode ser traduzido como Análise dos Modos de Falha e seus Efeitos. É, portanto, um método analítico padronizado para detectar e possibilitar a eliminação de problemas potenciais de forma sistemática e completa (HELMAN, ANDERY, 1995).

No Seis Sigma o FMEA pode ter muitas aplicações no que se refere à busca e priorização de problemas e suas ações. Utilizando o FMEA, tanto os integrantes da equipe Seis Sigma como o Dono do Processo podem focalizar a energia e os recursos alocados ao

planejamento das ações preventivas, do acompanhamento e dos resultados nos pontos em que se espera que produzam os melhores efeitos (PANDE, 2001).

O FMEA pode ser de Produto ou de Processo. Segundo Rotondaro (2002), embora os dois usem metodologia e formulário semelhantes, existem diferenças conceituais entre eles. Um FMEA de Produto é realizado com base na análise das falhas potenciais em atender às necessidades do cliente, considerando-se apenas as características de projeto do produto. Já o FMEA de Processo analisa as falhas potenciais do processo que gera o bem ou serviço. O FMEA de Processo não deve estar focado em identificar alterações do produto, mas em buscar oportunidades e alternativas para melhorar o próprio processo, corrigindo deficiência e impedindo que o produto não conforme chegue ao cliente (ROTONDARO, 2002).

Dependendo da fase do projeto Seis Sigma em que o FMEA está sendo utilizado, ele pode permitir diferentes resultados. Na fase Medir, pode ser usado para a identificação das características críticas para o cliente; na fase Analisar, pode ser usado para realizar a ligação entre causas e efeitos; na fase Melhorar, pode chegar-se a determinação de ações de melhorias a serem tomadas; na fase Controlar, o FMEA pode ser utilizado para o desenvolvimento de planos de controle de processo e de produto (ROTONDARO, 2002). A realização do FMEA é feita usando-se um formulário padronizado. Um exemplo de um formulário de FMEA é apresentado na Figura 4.

Data de confecção :					Pessoas envolvidas :				
Revisão anterior :					Coordenação :				
Última versão :					Responsável :				
Item do Processo (Entrada)	Modo de Falha Potencial	Efeito Potencial	S	Causa Potencial Modo de Falha	O	Controles Atuais	D	RPN	Ação Recomendada
Viscosímetro	Temperatura fora de faixa	Leitura incorreta VM	8	Abertura da-res.	4	Indicador digital	3	96	
				Falta de tempo	7	Controle do oper.	9	504	Adocao de identificacao
				Controle inadequado da temperatura	8	Indicação em paralelo num vimo	8	512	Adocao de identificacao paralela e intertravamento

Figura 4 Exemplo de um formulário para a elaboração de FMEA

As etapas de trabalho do FMEA podem ser divididas em 5 partes (PANDE, 2001).

- a) Inicialmente deve-se identificar o processo ou o serviço/produto a ser analisado;
- b) Em seguida deve-se montar uma lista dos problemas potenciais, ou seja, os modos de falha. Segundo aconselha Pande (2001), estes problemas podem ser obtidos a partir de várias fontes, tais como, *brainstorming*, análises de processo,

benchmarking ou de processos de priorização como QFD, por exemplo. Este autor aconselha que problemas triviais sejam evitados;

- c) Num próximo passo, é necessário classificar os problemas em função de sua Severidade (S), Probabilidade de Ocorrência (O) e Facilidade de Detecção (D). A classificação é feita por meio de pontuação usando índices conforme sugerido na Tabela 1, Tabela 2 e Tabela 3. A pontuação pode ser utilizada com base no julgamento pessoal, por empirismo, ou com base em dados históricos ou testes.

Tabela 1 Pontuação sugerida para avaliar a Severidade

Índice	Severidade
1	Apenas perceptível
2-3	Pouca importância
4-5-6	Moderadamente grave
7-8	Grave
9-10	Extremamente Grave

Fonte: adaptado de Rotondaro (2002)

Tabela 2 Pontuação sugerida para avaliar a Probabilidade de Ocorrência

Índice	Probabilidade de Ocorrência	Ocorrência
1	Muito remota	Excepcional
2	Muito pequena	Muito poucas vezes
3	Pequena	Poucas vezes
4-5-6	Moderada	Ocasionalmente
7-8	Alta	Freqüentemente
9-10	Muito alta	Inevitável

Fonte: adaptado de Helman, Andery (1995)

Tabela 3 Pontuação sugerida para avaliar a Facilidade de Detecção

Índice	Facilidade de Detecção
1	Muito alta
2-3	Alta
4-5-6	Moderada
7-8	Pequena
9	Muito Pequena
10	Remota

Fonte: adaptado de Rotondaro (2002)

- d) O próximo passo é calcular o Número de Prioridade de Risco (NPR) e definir as prioridades das ações. O NPR é obtido pelo produto dos índices de Severidade, Probabilidade de Ocorrência e Facilidade de Detecção, conforme apresentado na equação (5). O valor máximo obtido por NPR é 1000. Pelos valores obtidos de NPR, serão definidas as prioridades de ações. Não existe e nem é recomendável a atribuição de um limite teórico de NPR a partir do qual devam ser tomadas as ações após a realização do FMEA. Cada processo tem sua particularidade e a pré-definição de valores para tomada de decisão pode influenciar a atribuição dos índices pelo grupo. Os problemas sobre os quais serão tomadas ações devem ser aqueles com valores de NPR mais altos (ROTONDARO, 2002);

$$NPR = S \times O \times D \quad (5)$$

- e) Por fim, devem ser desenvolvidas ações para reduzir os NPR's obtidos. Aqui pode ser usado um plano de ação para tomada de ações nos NPR's mais críticos, embora não seja comum o seu uso. Depois de implantadas ações, é possível revisar a planilha de FMEA e observar se os problemas focalizados realmente tiveram seus NPR's reduzidos.

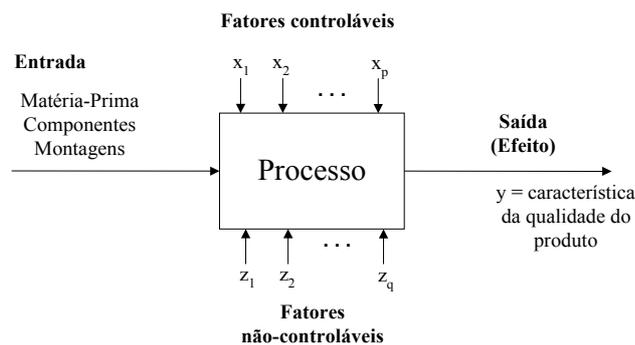
2.4 PROJETO DE EXPERIMENTOS

Um experimento é um procedimento no qual alterações propositas são feitas nas variáveis de entrada de um processo ou sistema, de modo que se possa avaliar as possíveis alterações sofridas pela variável resposta, como também as razões destas alterações (WERKEMA e AGUIAR, 1996b; MONTGOMERY, 2001).

Devido às decisões importantes que derivam dos resultados de um experimento e dos custos que o mesmo pode gerar, torna-se importante que este seja bem planejado e que suas respostas sejam estatisticamente confiáveis. É neste sentido que o Projeto de Experimentos torna-se útil, permitindo que se estruture de forma eficiente uma seqüência de ensaios que responda aos objetivos preestabelecidos pelo pesquisador (RIBEIRO e CATEN, 2001b).

O Projeto de Experimentos é uma metodologia apoiada fortemente em conceitos estatísticos destinada a otimizar o planejamento, execução e análise de experimentos

(DAHLGAARD, 1999). Segundo Montgomery (2001), esta ferramenta deve ser usada quando há dúvidas a respeito de que fator influencia na variabilidade observada na saída de um sistema ou processo. Para ela alguns fatores do processo (x_1, x_2, \dots, x_p) são controláveis, enquanto outros fatores (z_1, z_2, \dots, z_q) são não-controláveis e, seu funcionamento pode ser entendido segundo o esquema apresentado na Figura 5.



Fonte: adaptado de Montgomery (2001)

Figura 5 Modelo geral de um processo ou sistema

Para a realização de um projeto de experimento bem sucedido, é interessante que se tenha previamente o controle dos dados referentes às variáveis de interesse. Através do apoio de uma equipe técnica e da utilização de ferramentas de priorização pode-se então, definir quais os fatores devem ser investigados. Por intermédio da variação proposital desses, será causada uma variação na característica de saída. Quando os fatores importantes tiverem sido identificados e um modelo que relacione estes fatores aos efeitos do processo tiver sido construído, as ações gerenciais de manutenção e melhoria da qualidade poderão ser conduzidas da forma mais eficiente (WERKEMA e AGUIAR, 1996b).

O planejamento de um experimento tem por objetivo: (i) Determinar as causas que mais influenciam o efeito de interesse do processo; (ii) Determinar as faixas de valores para os itens de verificação associados aos fatores controláveis x 's, de modo a obter cada item de controle centrado no valor nominal almejado e com uma pequena variabilidade em torno deste valor; e (iii) Determinar as faixas de valores para os itens de verificação associados aos fatores controláveis x 's, as quais minimizam as ações dos fatores não controláveis z 's sobre os itens de controle de processo (WERKEMA e AGUIAR, 1996b).

Ao planejar um experimento, algumas definições devem ser entendidas. Por exemplo, uma unidade experimental consiste em uma unidade básica na qual será realizada a medida da resposta. Os fatores, por sua vez, são as variáveis cuja influência sobre a variável resposta está sendo estudada. Os níveis dos fatores são os diferentes modos de presença de um fator no estudo considerado e os tratamentos são as combinações específicas dos níveis de diferentes fatores. Se houver apenas um fator, os níveis deste fator correspondem aos tratamentos. Um ensaio consiste numa determinada condição de interesse, correspondendo à aplicação de um tratamento a cada unidade experimental. Já variável de resposta consiste no resultado de interesse registrado após a realização de um ensaio (WERKEMA e AGUIAR, 1996b).

Outros conceitos cabem serem ressaltados, sendo eles, réplica, aleatorização e formação de blocos. Com base neles, torna-se possível o planejamento de modo adequado da coleta de dados. Réplicas são repetições do experimento feitas sob as mesmas condições experimentais. Neste caso, os tratamentos devem ser mantidos de tal modo que os demais fatores que possam afetar a variável de resposta não sejam alterados de uma experimentação para outra. Se os demais fatores que possam afetar a variável de interesse não puderem ser controlados e sofrerem variações de uma experimentação para outra, então tem-se uma repetição. A aleatorização está relacionada à alocação do material experimental às diversas condições de experimentação, sobretudo quanto à ordem segundo a qual os ensaios são realizados. Este procedimento permite que os efeitos de fatores não-controlados, que possam afetar a variável resposta sejam balanceados entre todas as medidas. Este balanceamento evita um possível confundimento na avaliação dos resultados devido à atuação destes fatores. A formação de blocos ou blocagem é uma técnica utilizada para melhorar a precisão nas comparações entre os fatores presentes no experimento. Este recurso é usado para reduzir ou eliminar a variabilidade transmitida por fatores de ruído. Os Fatores de ruído são fatores que podem influenciar nas respostas do experimento mas nos quais o experimentador não está diretamente interessado (WERKEMA e AGUIAR, 1996b).

Para realizar de forma eficiente um experimento deve-se utilizar uma abordagem científica em seu planejamento. Isto implica em planejar o experimento de forma que os dados sejam coletados em tempo e custos mínimos. Assim a análise destes dados resultará em conclusões confiáveis. É desejável, ainda que se tenha pelo menos uma idéia qualitativa de como os dados serão analisados (WERKEMA e AGUIAR, 1996b).

Werkema e Aguiar (1996b) propõem o seguinte modelo de roteiro para um projeto de experimento.

- a) Identificação dos objetivos do experimento: Definição clara dos objetivos do experimento a ser realizado. Nesta etapa, todo tipo de informação quantitativa relacionada ao experimento pode ser útil para seu planejamento;
- b) Seleção da variável de resposta: O experimentador deve estar certo de que esta variável realmente fornecerá informações sobre o problema em estudo. Neste momento é escolhida a forma como a variável de resposta será medida e a escala utilizada para a mesma;
- c) Escolha dos fatores, seus níveis e amplitudes: Aqui é feita a distinção de quais os fatores cujos níveis irão variar, os fatores cujos níveis permanecerão constantes e os fatores que não poderão ser controlados durante a realização do experimento. São definidas as faixas de variação dos fatores e o número de níveis para os quais as medidas da variável resposta serão obtidas;
- d) Escolha do planejamento experimental: Deve ser escolhido de forma a se obter economia no número de experimentos, assim como a precisão desejada das estimativas dos efeitos de interesse e da variância do erro experimental. Alguns planejamentos experimentais estão apresentados de forma sucinta no Quadro 1. Estes conceitos podem ser vistos de forma mais detalhada em Montgomery (2001) ou Werkema e Aguiar (1996a);
- e) Realização do experimento: Ao realizar o experimento é importante monitorá-lo cuidadosamente para que tudo seja feito de acordo com o que foi planejado nas etapas anteriores. Erros neste estágio do procedimento experimental podem invalidar os dados do experimento;
- f) Análise estatística dos dados e interpretação dos resultados: Aqui é feito o uso de métodos estatísticos apropriados para a análise do experimento. É importante que seja feito um exame crítico do modelo matemático adotado e das suposições associadas ao modelo escolhido. Os dados obtidos precisam ser revisados, com o objetivo de detectar possíveis erros de registro e omissões.

Completamente aleatorizado com um único fator	Tipo de Aplicação	Quando somente um fator experimental está sendo usado
	Estrutura	O efeito do fator é estudado por meio de alocação ao acaso das unidades experimentais aos tratamentos (níveis do fator). Os ensaios são realizados em ordem aleatória. Não há blocos.
	Informações Fornecidas	- Estimativas e comparações dos efeitos dos tratamentos - Estimativa da variância
Fatorial	Tipo de Aplicação	Apropriado quando vários fatores devem ser estudados em dois ou mais níveis e as interações entre os fatores podem ser importantes.
	Estrutura	Em cada repetição completa do experimento todas as combinações possíveis dos níveis dos fatores (tratamentos) são estudadas. A alocação das unidades experimentais aos tratamentos e a ordem de realização dos ensaios são feitas de modo aleatório. Não há blocos.
	Informações Fornecidas	- Estimativas e comparações dos efeitos dos fatores - Estimativa dos possíveis efeitos de interações - Estimativa da variância
Fatorial 2^k em blocos	Tipo de Aplicação	Apropriado quando o número de ensaios necessários para o planejamento com k fatores em 2 níveis é muito grande para que sejam realizados sob condições homogêneas
	Estrutura	O conjunto completo de tratamentos é dividido em subconjuntos de modo que as interações de ordem mais alta são confundidas com os blocos. São tomadas observações em todos os blocos. Os blocos geralmente surgem como consequência de restrições de tempo, homogeneidades de materiais, etc.
	Informações Fornecidas	Fornece as mesmas estimativas do planejamento fatorial, exceto algumas interações de ordem mais alta que não podem ser estimadas porque estão confundidas com os blocos.
Fatorial 2^k fracionado	Tipo de Aplicação	Apropriado quando existem muitos fatores (k muito grande) e não é possível coletar observações em todos os tratamentos.
	Estrutura	Vários fatores são estudados em dois níveis, mas somente um subconjunto do fatorial completo é executado. Algumas vezes a formação de blocos é possível.
	Informações Fornecidas	- Estimativas e comparações dos efeitos dos fatores. - Estimativa de certos efeitos de interação (alguns efeitos podem não ser estimáveis). - Certos planejamentos fatoriais fracionados (quando k é pequeno) não fornecem informações suficientes para estimar a variância.
Blocos aleatorizados	Tipo de Aplicação	Apropriado quando o efeito de um fator está sendo estudado e é necessário controlar a variabilidade provocada por fatores perturbadores conhecidos. Estes fatores perturbadores (material experimental, tempo, pessoas, etc.) são divididos em blocos ou grupos homogêneos.
	Estrutura	São tomadas observações correspondentes a todos os tratamentos (níveis do fator) em cada bloco. Usualmente são formados blocos em relação a um único fator perturbador.
	Informações Fornecidas	- Estimativas e comparações dos efeitos dos tratamentos livres dos efeitos do bloco. - Estimativa dos efeitos do bloco - Estimativa da variância
Blocos incompletos balanceados	Tipo de Aplicação	Apropriado quando todos os tratamentos não podem ser acomodados em um bloco.
	Estrutura	Os tratamentos testados em cada bloco são selecionados de forma balanceada: dois tratamentos quais quer aparecem juntos em um mesmo bloco o mesmo número de vezes que qualquer outro par de tratamentos.
	Informações Fornecidas	Idêntico ao planejamento em blocos aleatorizados. Os efeitos de todos os tratamentos são estimados com igual precisão.
Blocos incompletos parcialmente balanceados	Tipo de Aplicação	Apropriado quando um planejamento em blocos incompletos balanceados necessita de um número de blocos excessivamente grandes
	Estrutura	Alguns pares de tratamentos aparecem juntos λ_1 vezes, outros pares aparecem juntos λ_2 vezes, ..., e os pares restantes aparecem juntos λ_n vezes.
	Informações Fornecidas	Idêntico ao planejamento em blocos aleatorizados, mas os efeitos dos tratamentos são estimados com diferentes precisões.

Fonte: adaptado de Werkema e Aguiar (1996a)

Quadro 1 Descrição dos modelos para os planejamentos experimentais

2.5 ANÁLISE DE SISTEMAS DE MEDIÇÃO

A Análise de Sistemas de Medição (ASM) é a ferramenta através do qual torna-se possível quantificar o grau de confiabilidade dos dados gerados pelos sistemas de medição, inspeção e registros utilizados pela empresa (WERKEMA, 2002).

A ASM pode ser essencial ao desenvolvimento de projetos Seis Sigma. Conforme Pande (2001) além do treinamento, a medição é provavelmente o maior investimento que qualquer organização pode fazer em um programa Seis Sigma. Assim, a ASM justifica-se por permitir a capacidade de monitorar e responder a forma pela qual as organizações agem.

A ASM auxilia na avaliação dos sistemas de medição quanto a sua estabilidade, tendência, linearidade, repetitividade e reprodutividade (RIBEIRO e CATEN, 2001).

A estabilidade é obtida fazendo-se coleta de dados no decorrer de um determinado período e plotando-se estes numa carta de controle. O desempenho do sistema de medição ao longo do tempo é então avaliado com base no comportamento dos dados (RIBEIRO e CATEN, 2001).

A tendência, por sua vez, pode ser entendida como a diferença entre a média observada na leitura e um valor de referência. Esta característica é freqüentemente citada usando o termo exatidão. O valor de tendência pode ser expresso em termos percentuais. O valor referência é um valor de leitura supostamente correto, obtido num laboratório de metrologia (RIBEIRO e CATEN, 2001; ROTONDARO, 2002).

Com freqüência o dispositivo de medição é utilizado em uma faixa muito ampla. Se este dispositivo funcionar adequadamente em um extremo da faixa de medição, não assegura que o mesmo funcionará com igual eficiência em outros níveis desta faixa. A análise do desempenho do dispositivo de medição ao longo de toda sua faixa de uso consiste no estudo da linearidade (RIBEIRO e CATEN, 2001).

Por fim, a repetitividade e a reprodutividade são freqüentemente avaliadas em conjunto. O teste realizado para esta avaliação é chamado de estudo de R&R. Segundo Pande (2001), o estudo de R&R é o tipo de teste mais comumente utilizado para verificar o quão precisas são as medidas utilizadas por uma empresa e para assegurar que estas continuem precisas. Para ele, o

Estudo de R&R envolve repetição de uma medição em vários níveis com intuito de testar não só a repetitividade e a reprodutividade, mas também testar a precisão e a estabilidade.

A repetitividade de um instrumento de medição é a variação nas medidas obtidas quando um operador utiliza o instrumento para medir repetidas vezes a característica de interesse dos mesmos itens. Já reprodutividade de um instrumento de medição consiste na média das medidas obtidas quando diferentes operadores utilizam o instrumento para medir repetidas vezes a característica de interesse dos mesmos itens (WERKEMA, 1996c).

O estudo de R&R pode ser feito através de três métodos, o método da amplitude, o método da média e amplitude e por fim, o método da ANOVA. Para a aceitação ou não do sistema de medição é usual a utilização dos seguintes critérios: $R\&R\% < 10\%$, o sistema é aceito; $10\% < R\&R\% < 30\%$, o sistema pode ser aceito e; $30\% < R\&R\%$, o sistema de medição é rejeitado (RIBEIRO e CATEN, 2001).

O método da amplitude é o mais simples. No caso dele, não é feita uma distinção entre as fontes de variabilidade, ou seja, erros devido às interações operador×operador e instrumento×operador não são considerados (RIBEIRO e CATEN, 2001).

No método da média e amplitude a contribuição de cada uma das fontes de variação passa a ser considerada no estudo. Em função de tal aspecto este método permite que observações mais específicas possam ser obtidas com relação ao sistema de medição. Aconselha-se neste estudo que cada operador realize pelos menos duas medições, o que ajuda na quantificação da contribuição de cada uma das fontes de variação nos resultados (RIBEIRO e CATEN, 2001). O Quadro 2 demonstra as equações utilizadas para a obtenção dos resultados num estudo de R&R. No Quadro 2, n = número de peças e r = número de ciclos de medição; para achar d_2 usar Quadro 4, sendo para repetitividade $r > 15$ e para reprodutividade $g = 1$.

Outro meio que pode ser usado para tratamento dos dados num estudo de R&R é a Análise de Variância (ANOVA). Este meio permite que variabilidade seja decomposta em quatro fontes de variação, sendo elas, peças, operadores, interação peças×operadores e o erro de replicação devido ao dispositivo de medição. A ANOVA permite, além de lidar com qualquer arranjo experimental, chegar a uma estimativa mais precisa das variâncias. Os resultados também trazem mais informação em si (RIBEIRO e CATEN, 2001).

Repetitividade (variação do equipamento)	
$R_{bar} = \frac{(R_A + R_B + \dots)}{N^\circ \text{ de operadores}}$ $\sigma_e = \frac{R_{bar}}{d_2}$ $VE = 5,15\sigma_e$	$VE\% = 100 \times \frac{VE}{VT}$ <p style="text-align: center;">ou</p> $VE\% = 100 \times \frac{VE}{Tolerância}$
Reprodutividade (variação do operador)	
$R_o = (X_{bar \text{ max}} - X_{bar \text{ min}}) \text{ (entre operadores)}$ $VO = \sqrt{\left(5,15 \frac{R}{d_2}\right)^2 - \frac{(5,15 \times \sigma_e)^2}{nr}}$ $\sigma_o = \frac{VO}{5,15}$	$VO\% = 100 \times \frac{VO}{VT}$ <p style="text-align: center;">ou</p> $VO\% = 100 \times \frac{VO}{Tolerância}$
Repetitividade e Reprodutividade	
$\sigma_m = \sqrt{\sigma_e^2 + \sigma_o^2}$ $R \& R = 5,15\sigma_m$ $R \& R = \sqrt{VE^2 + VO^2}$	$R \& R = 100 \times \frac{R \& R}{VT}$ <p style="text-align: center;">ou</p> $R \& R = 100 \times \frac{R \& R}{Tolerância}$
Variação peça a peça	
$R_p = (X_{bar \text{ max}} - X_{bar \text{ min}}) \text{ (entre peças)}$ $\sigma_p = \frac{R_p}{d_2}$ $VP = 5,15\sigma_p$	$VP\% = 100 \times \frac{VP}{VT}$ <p style="text-align: center;">ou</p> $VP\% = 100 \times \frac{VP}{Tolerância}$
Variação total	
$VT = \sqrt{R \& R^2 + VP^2}$	

Fonte: adaptado de Ribeiro e Caten (2001)

Quadro 2 Equações utilizadas num estudo de R&R

A coleta de dados para o estudo de R&R utilizando ANOVA, é a mesma utilizada para os outros tipos de R&R. Os resultados das medições são inseridos em uma planilha, conforme o modelo genérico apresentado na Tabela 4. Os cálculos são realizados utilizando-se as equações

demonstradas no Quadro 3. Os valores obtidos nos cálculos são inseridos numa tabela conforme demonstrado na Tabela 5.

Tabela 4 Tabela para coleta de dados num estudo de R&R

Peças	Operadores						Totais $T_{i..}$
	1	2	3				
1	x	x	x	x	x	x	$T_{1..}$
2	x_{i11}	x_{i12}	x_{i21}	x_{i22}	x_{i31}	x_{i32}	$T_{2..}$
:	:	:	:	:	:	:	:
n	X_{n11}	x_{n12}	X_{n21}	x_{n22}	X_{n31}	x_{n32}	$T_{n..}$
Totais $T_{.j.}$	$T_{.1.}$		$T_{.2.}$		$T_{.3.}$		$T_{...}$

Fonte: adaptado de Ribeiro e Caten (2001)

Termo de correção	$TC = \frac{T_{...}^2}{n \times k \times r}$
SQ Peças	$SQp = \frac{\sum T_{i..}^2}{k \times r} - TC$
SQ Operadores	$SQo = \frac{\sum T_{.j.}^2}{n \times r} - TC$
SQ Peças x Operadores	$SQpo = \frac{\sum T_{ij.}^2}{r} - SQp - SQo - TC$
SQ Total	$SQT = \sum x_{ijk}^2 - TC$
SQ Erro	$SQe = SQT - SQp - SQo - SQPO$

Fonte: adaptado de Ribeiro e Caten (2001)

Quadro 3 Equações utilizadas num estudo de R&R por ANOVA

Tabela 5 Tabela ANOVA usada para o estudo de R&R

Fonte de Variação	SQ	GL	MQ=SQ/GL	Teste F
Peças	SQp	n-1	MQp	MQp / MQe
Operadores	SQo	k-1	MQo	MQo / MQe
Peças x Operadores	SQpo	(n-1)(k-1)	MQpo	MQpo / MQe
Dispositivos	SQe	nk(r-1)	MQe	
Total	SQT	nkr-1		

Fonte: adaptado de Ribeiro e Caten (2001)

2.6 CONTROLE ESTATÍSTICO DE PROCESSOS

Todos os processos são sujeitos à variabilidade. A presença de uma variabilidade excessiva pode provocar, na saída do processo produtivo, a ocorrência de produtos defeituosos. A minimização da variabilidade implica, dessa forma, na diminuição do número de produtos defeituosos fabricados (WERKEMA, 1995). A redução de defeituosos, por sua vez, implica na redução de perdas, redução de custos indesejáveis, aumento da satisfação do cliente, entre outros aspectos (RIBEIRO e CATEN, 2001a).

Pode se considerar que é impossível inspecionar ou testar a qualidade intrínseca de todos os produtos num processo produtivo. Um produto precisa ser construído certo na primeira vez. Isto implica que o processo de manufatura precisa ser estável e que todos os indivíduos envolvidos com o processo (incluindo operadores, engenheiros, pessoal da garantia da qualidade e gerentes) precisam buscar continuamente melhorar a *performance* dos processos e reduzir a variabilidade nas características críticas. O Controle Estatístico de Processo consiste em uma ferramenta básica para o alcance de todos estes objetivos (MONTGOMERY, 2000).

Para Juran e Grina (1992), o Controle Estatístico de Processo consiste na aplicação de técnicas estatísticas para medir e analisar a variação nos processos.

No momento em que se deseja reduzir o número de defeituosos através da diminuição da variabilidade, torna-se necessário investigar o que causa tal variabilidade no processo. As causas provocadoras de variabilidade num processo podem ser de dois tipos: causas comuns (aleatórias); causas especiais (assinaláveis).

Causa comum é aquela que provoca uma variabilidade natural ao processo, ou seja, ela é inerente ao processo e está presente mesmo que todas as operações sejam executadas empregando métodos padronizados. Se um processo está sujeito a causas comuns, considera-se que sua variabilidade se manterá num nível estável. Quando isto ocorre diz-se que o processo está sob controle estatístico, com um comportamento estável e previsível (WERKEMA, 1995).

Causa especial é aquela que ocorre esporadicamente, daí o termo assinalável. Este tipo de causa faz com que o processo saia de seu padrão natural de operação, isto é, o processo sofre perturbações em termos de média e variabilidade nas suas características de qualidade. Processos sujeitos a este tipo de causa são denominados fora de controle estatístico e normalmente

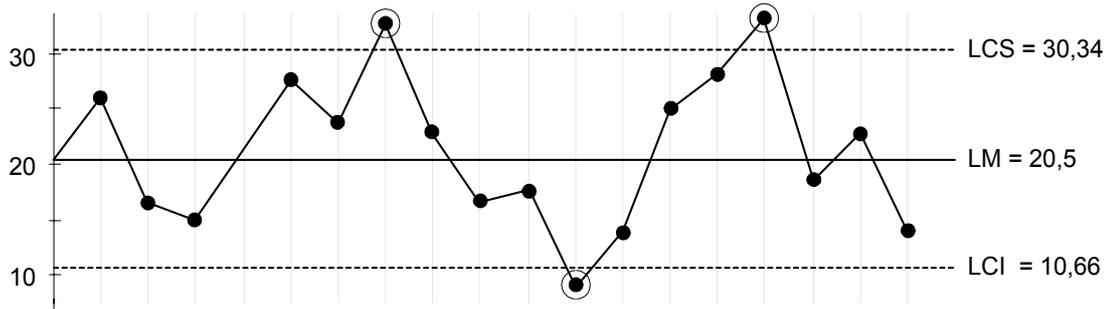
possuem uma variabilidade muito maior que a variabilidade natural (WERKEMA, 1995; RIBEIRO e CATEN, 2001a).

A variabilidade dos processos pode ser reduzida por meio da eliminação das causas especiais de variação e pela redução das causas comuns de variação. Essas variações podem ser quantificadas pelo uso da amostragem do processo e pela estimativa dos parâmetros da sua distribuição estatística. As mudanças na distribuição dos dados do processo podem ser reveladas pelo gráfico destes parâmetros no decorrer do tempo. Tais gráficos podem ser chamados de Gráficos de Controle ou Cartas de Controle (RIBEIRO e CATEN, 2001a; WERKEMA, 1995; JURAN e GRINA, 1992).

O uso adequado das Cartas de Controle apresenta as seguintes vantagens: *(i)* permite que o monitoramento do processo seja executado pelos próprios operadores; *(ii)* fornece uma distinção clara entre causas comuns e causas especiais, servindo de guia para ações locais ou gerenciais; *(iii)* fornece uma linguagem comum para discutir o desempenho do processo, possibilitando a alocação ótima dos investimentos em melhoria da qualidade e *(iv)* auxilia o processo a atingir alta qualidade, baixo custo unitário, consistência e previsibilidade (RIBEIRO e CATEN, 2001a).

Ao trabalhar com Cartas de Controle, dois tipos de dados podem ser analisados. Existem os dados variáveis, que exigem medições em uma escala contínua; por exemplo, comprimento, peso, pH ou resistência. Este tipo de dado é controlado pelas Cartas de Controle para Variáveis. Existem também os dados que exigem somente uma classificação de medições descontínuas tais como boa ou má. O controle destes dados é feito pelo uso de Cartas de Controle de Atributos (WERKEMA, 1995; JURAN e GRINA, 1992).

As Cartas de Controle têm como característica principal uma linha média (LM), um par de limites de controle, representados um abaixo (limite inferior de controle – LIC) e outro acima (limite superior de controle – LSC) da linha média e os valores da característica de qualidade traçados no gráfico. A linha média representa o valor médio da característica de qualidade correspondente à situação do processo sob controle estatístico. Os limites de controle LIC e LSC são determinados de forma que, se o processo está sob controle estatístico, praticamente todos os pontos traçados na carta estarão entre estas linhas. Os valores de característica da qualidade traçados na carta indicam a situação do processo no que diz respeito ao controle estatístico (WERKEMA, 1995). Na Figura 6 é apresentado um exemplo de Carta de Controle.



Fonte: adaptado de Werkema (1995)

Figura 6 Exemplo de uma carta de controle

2.6.1 Cartas de controle para variáveis

As Cartas de Controle mais usadas quando ocorre variação numa escala contínua de medida são o gráfico de média \bar{x} e o gráfico de amplitude R . A carta \bar{x} é utilizada com o objetivo de controlar a média do processo, enquanto o gráfico R é empregado para o controle da variabilidade do processo considerado. Estas duas cartas são utilizadas simultaneamente.

Nestas cartas são usadas as seguintes equações para definição de seus limites de controle e linha média (WERKEMA, 1995).

Para cartas de controle de média ou cartas \bar{x} são usadas as equações (6), (7) e (8).

$$LSC = \bar{x} + \frac{3\bar{R}}{d_2\sqrt{n}} = \bar{x} + A_2\bar{R} \quad (6)$$

$$LM = \bar{x} \quad (7)$$

$$LIC = \bar{x} - \frac{3\bar{R}}{d_2\sqrt{n}} = \bar{x} - A_2\bar{R} \quad (8)$$

Para as cartas de amplitude ou cartas R são usadas as equações (9), (10) e (11).

$$LSC = \bar{R} + 3\hat{\sigma}_R = \bar{R} + 3d_3 \frac{\bar{R}}{d_2} = D_4\bar{R} \quad (9)$$

$$LM = \bar{R} \quad (10)$$

$$LIC = \bar{R} - 3\hat{\sigma}_R = \bar{R} - 3d_3 \frac{\bar{R}}{d_2} = D_3 \bar{R} \quad (11)$$

Outros tipos de cartas de controles utilizados são as de \bar{x} e s , que são preferíveis em relação aos gráficos \bar{x} e R quando $n > 10$ ou 12. No caso destas cartas, para \bar{x} são utilizadas as equações (12), (13) e (14).

$$LSC = \bar{x} + \frac{3\bar{s}}{c_4\sqrt{n}} = \bar{x} + A_2\bar{s} \quad (12)$$

$$LM = \bar{x} \quad (13)$$

$$LIC = \bar{x} - \frac{3\bar{s}}{c_4\sqrt{n}} = \bar{x} - A_2\bar{s} \quad (14)$$

Para as cartas s são usadas as equações (15), (16) e (17).

$$LSC = \bar{s} + 3\hat{\sigma}_s = B_4\bar{s} \quad (15)$$

$$LM = \bar{s} \quad (16)$$

$$LIC = \bar{s} - 3\hat{\sigma}_s = B_3\bar{s} \quad (17)$$

Existem ainda as cartas de controle para medidas individuais. São as cartas x e AM . Estas cartas são utilizadas quando $n = 1$. O formulário da carta x é dado nas equações (18), (19) e (20).

$$LSC = \bar{x} + 3\frac{\overline{AM}}{d_2} \quad (18)$$

$$LM = \bar{x} \quad (19)$$

$$LIC = \bar{x} - 3\frac{\overline{AM}}{d_2} \quad (20)$$

Para as cartas AM são empregadas as equações (21), (22) e (23).

$$LSC = D_4 \overline{AM} \quad (21)$$

$$LM = \overline{AM} \quad (22)$$

$$LIC = D_3 \overline{AM} \quad (23)$$

Os valores de d_2 , d_3 , A_2 , B_3 , B_4 , D_3 e D_4 , que aparecem nas equações para construção das cartas de variáveis, podem ser obtidos através do Quadro 4.

N	2	3	4	5	6	7	8	9	10	15	20
d_2	1,128	1,693	2,059	2,326	2,534	2,704	2,847	2,970	3,078	3,472	3,735
d_3	0,853	0,888	0,880	0,864	0,848	0,833	0,820	0,808	0,797	0,756	0,729
A_2	1,880	1,023	0,729	0,577	0,483	0,419	0,373	0,337	0,308	0,223	0,180
B_3	0	0	0	0	0,030	0,118	0,185	0,239	0,284	0,428	0,510
B_4	3,267	2,568	2,266	2,089	1,970	1,882	1,815	1,761	1,716	1,572	1,490
D_3	0	0	0	0	0	0,076	0,136	0,184	0,223	0,347	0,415
D_4	3,267	2,574	2,282	2,114	2,004	1,924	1,864	1,816	1,777	1,653	1,585

Fonte: adaptado de Werkema (1995)

Quadro 4 Constantes utilizadas na construção de cartas de controle

2.6.2 Cartas de controle de atributos

As cartas de controle mais utilizadas quando os dados medidos no processo são do tipo atributo, são quatro: (i) carta p para fração de não-conformes, quando as amostras podem ser de tamanhos diferentes; (ii) carta np para número de unidades de não-conformes, quando as amostras devem ter o mesmo tamanho; (iii) carta c para número de não-conformidades, quando as amostras devem ser do mesmo tamanho e; (iv) carta u para número de não-conformidades por unidade, quando as amostras podem ser de tamanhos diferentes. (RIBEIRO e CATEN, 2001a)

A carta p é utilizada quando a característica de qualidade de interesse é representada pela proporção de itens defeituosos produzidos pelo processo considerado. A carta de controle é feita com base nas equações (24), (25) e (26) (WERKEMA, 1995).

$$LSC = \bar{p} + 3\sqrt{\frac{\bar{p}(1-\bar{p})}{n}} \quad (24)$$

$$LM = \bar{p} \quad (25)$$

$$LIC = \bar{p} - 3\sqrt{\frac{\bar{p}(1-\bar{p})}{n}} \quad (26)$$

A carta np segue a mesma lógica da carta p , porém, ao invés de controlar a fração de não-conformes, monitora-se o número de não-conformes. A carta de controle é feita com base nas equações (27), (28) e (29) (RIBEIRO e CATEN, 2001a).

$$LSC = n\bar{p} + 3\sqrt{n\bar{p}(1-\bar{p})} \quad (27)$$

$$LM = n\bar{p} \quad (28)$$

$$LIC = n\bar{p} - 3\sqrt{n\bar{p}(1-\bar{p})} \quad (29)$$

As cartas de controle c são utilizadas quando é necessário controlar o número total de defeitos em uma unidade do produto. Nessas cartas, c é número médio de defeitos presentes numa amostra. A construção destas cartas é feita com base nas equações (30), (31) e (32) (WERKEMA, 1995).

$$LSC = \bar{c} + 3\sqrt{\bar{c}} \quad (30)$$

$$LM = \bar{c} \quad (31)$$

$$LIC = \bar{c} - 3\sqrt{\bar{c}} \quad (32)$$

Por fim, tem-se a carta u , com a qual se monitora o número de não conformidades por unidade produzida. Ela é semelhante à carta c , exceto que o número de não-conformidades é expresso em relação a cada unidade. Este tipo de carta é feito com base nas equações (33), (34) e (35) (RIBEIRO e CATEN, 2001a).

$$LSC = \bar{u} + 3\sqrt{\frac{\bar{u}}{n}} \quad (33)$$

$$LM = \bar{u} \quad (34)$$

$$LIC = \bar{u} - 3\sqrt{\frac{\bar{u}}{n}} \quad (35)$$

2.6.3 Capacidade de processos

Idealmente, o Seis Sigma é focado na investigação de causas de variabilidade em desenvolvimento de processos e produtos, reduzindo assim a variação na performance de suas saídas (HILD, SANDERS e COOPER, 2000-01). O Seis Sigma sob um enfoque estatístico mede exatamente a capacidade dos processos em função do quanto estes estão livres de defeitos (HARRY, 1998). Observa-se, assim, o quanto o estudo da capacidade de processos está relacionado ao Seis Sigma.

O estudo da capacidade de processos consiste na avaliação do quanto o processo é capaz de atender às especificações a partir dos desejos e necessidades dos clientes. Pressupõe-se para tanto que o processo observado deve se apresentar sob controle estatístico, e que a variável estudada possui comportamento normal (WEREMA, 1995).

A capacidade de um processo pode ser expressa essencialmente por dois índices. Um índice é o C_p , expresso na equação (36) e o outro é C_{pk} , expresso na equação (37). Estes recebem o nome de índices de capacidade. Os mesmos são adimensionais e permitem a quantificação do desempenho dos processos (WEREMA, 1995).

$$C_p = \frac{LSE - LIE}{6\hat{\sigma}} \quad (36)$$

$$C_{pk} = MIN \left[\frac{LSE - \bar{x}}{3\hat{\sigma}}; \frac{\bar{x} - LIE}{3\hat{\sigma}} \right] \quad (37)$$

Onde LSE é o limite superior de especificação e LIE é o limite inferior de especificação. Com frequência o desvio padrão dos processos (σ) é desconhecido, por isso ele precisa ser trocado pelo $\hat{\sigma}$ estimado, conforme demonstrado nas equações (36) e (37). Para μ também valem estas observações, sendo necessária a atribuição das estimativas adequadas. As equações para obtenção de $\hat{\sigma}$ e \bar{x} podem ser vistas na discussão sobre cartas de controle.

O C_p é obtido assumindo-se o processo centrado, ou seja, a média coincide com o valor nominal de especificação e o C_p configura-se como uma medida mais relacionada à dispersão do processo. O C_p ainda pode ser usado para processos onde os limites de especificação são unilaterais. Neste caso deve ser usada a equação (38), quando existe apenas limite superior de especificação e a equação (39), quando existe apenas limite inferior de especificação (WERKEMA, 1995).

$$C_{ps} = \frac{LSE - \mu}{6\sigma} \quad (38)$$

$$C_{pi} = \frac{\mu - LIE}{6\sigma} \quad (39)$$

Se o processo em estudo não estiver centrado, então o índice C_{pk} também deve ser considerado. O C_{pk} é uma medida que demonstra o quanto a média do processo está distante do valor nominal especificado (WERKEMA, 1995).

2.7 SEIS SIGMA E APRENDIZAGEM ORGANIZACIONAL

Segundo Perez-Wilson (1999), o Seis Sigma representa, em sua essência, excelência através de todos os processos administrativos, processos de serviços e processos de fabricação de toda a organização, não se restringindo apenas à qualidade do produto final. Alcançar o Seis Sigma significa promover uma mudança cultural em uma organização. Para este autor, uma mudança deste tipo não pode ser realizada em um departamento de cada vez, devendo ocorrer de cima para baixo e de maneira sistemática.

Contudo Wiggenborn (2000) considera que num processo onde ocorram mudanças drásticas deve ser levado em conta o fato de que essas mudanças não devem ser impostas de

cima para baixo, mas sim, devem começar por cima, o que é algo bem diferente. Segundo ele, para o alcance efetivo da qualidade é necessário que haja a compreensão de que um dos segredos do sucesso da produção é a existência de uma linguagem comum entre todos os funcionários, sendo no caso do Seis Sigma, uma linguagem comum para a qualidade.

Neste processo de mudança torna-se necessário que a organização saiba mais sobre si mesma e que, uma vez sabendo, administre os ativos deste auto-conhecimento. Este processo sistemático de identificação, criação, renovação e aplicação dos conhecimentos que são estratégicos na vida de uma organização é, portanto, a Gestão do Conhecimento. A gestão do conhecimento é, por si só, a prática de agregar valor à informação e após, então, disseminá-la. Na verdade, a organização passa a visualizar o que ela já sabe. Para o alcance pleno da gestão do conhecimento é necessário que a organização tenha foco externo, tecnologias facilitadoras, uma gestão do rendimento para equipes e gestão de pessoas (SANTOS et al., 2001).

No caminho de estruturação da gestão do conhecimento, desenvolve-se um processo de aprendizagem contínua, onde a empresa exercita a sua competência e inteligência coletiva para responder ao seu ambiente interno e externo (SANTOS et al., 2001). Este processo deve levar, pelo menos em teoria, a um nível ideal para o qual as organizações devem evoluir, a fim de serem capazes de responder às várias pressões que forem identificadas. Uma vez alcançado este nível, tem-se uma organização que aprende (FINGER e BRAND, 2001).

O processo que faz com que as pessoas procurem, encontrem e empreguem as melhores práticas em uma organização que aprende consiste, em primeira análise, na aprendizagem organizacional (SANTOS et al., 2001).

A aprendizagem organizacional pode ser definida como um processo de transformação pelo qual as partes interessadas de uma organização, individual e coletivamente, contribuem por meio de sua própria aprendizagem. É uma forma específica de processo de transformação organizacional. Conceitualmente, a aprendizagem organizacional é o meio e uma organização que aprende é fim para o qual uma organização deve migrar (FINGER e BRAND, 2001).

Uma organização que esteja inserida dentro do conceito de aprendizagem organizacional é aquela que aprende sempre, estando continuamente envolvida num processo de autocrítica, avaliação de riscos, tolerância ao fracasso e correção de rumo, até alcançar seus objetivos. Assim, a aprendizagem organizacional é o conceito que permite criar, adquirir e

transmitir conhecimentos e ainda, modificar o comportamento das organizações para que estas reflitam a cada novo conhecimento adquirido (SENGE, 2002).

Nenhuma mudança organizacional significativa pode ser realizada, senão pela ocorrência de profundas mudanças nas formas de pensar e interagir das pessoas (SANTOS et al., 2001). Da mesma forma, o Seis Sigma também pode ser compreendido como um programa que exige a quebra de paradigmas. Para sua efetivação torna-se necessário liderar a organização preparando-a para uma mudança cultural, sempre observando o aspecto transformador do Seis Sigma. Assim é possível direcionar os membros da organização para uma expectativa da alta qualidade (ERWIN e DOUGLAS, 2000).

Considera-se que a incapacidade em aprender é um complicador, dependendo quem ou o que ela afeta no momento de implantar um programa Seis Sigma. Infelizmente, a dificuldade de aprendizagem pode ser fatal para as organizações, levando muitas companhias ao declínio total. Um recurso que eventualmente pode auxiliar na superação da dificuldade de aprendizagem pode ser exatamente a aplicação do Seis Sigma, através de seus métodos. O fato é que algumas organizações tem tido resultados medíocres após a implementação do Seis Sigma. As razões para isso podem ser várias, mas normalmente o problema está na estrutura da organização e na forma usada para executar os projetos e para o estabelecimento das métricas (BREYFOGLE e MEADOWS, 2001).

De fato, a seleção de bons projetos é crítica, mas outras considerações importantes devem ser levadas em conta. Dentre elas, inclui-se a atribuição correta das pessoas para atuarem dentro do programa. Isso complementado pela execução dos projetos no tempo adequado (três a seis meses), suporte e envolvimento adequado no projeto por uma variedade de razões e, um gerenciamento visando a garantia do foco do projeto e o cumprimento de cronogramas. O fato é que, um projeto pode ser trabalhado na organização e, ainda assim, ser falho por causa das pessoas que fazem parte dele (SNEE, 2001). Ou seja, as pessoas podem ser consideradas como pilar de sustentação para o alcance de resultados num processo de mudança organizacional.

Segundo W. Edwards Deming apud (SENGE, 2002), apenas uma parte muito pequena das mudanças seria proveniente da estatística ou, generalizando-se, das ferramentas da qualidade. Para ele, as mudanças dependem em muito da forma como as pessoas são reconhecidas e recompensadas e, ainda, de como são realizadas as alterações fundamentais na gestão.

A aprendizagem organizacional pode ainda ser abordada por diferentes perspectivas conforme o tipo de modelo proposto para a mesma. Contudo no presente trabalho a discretização dos modelos e suas diferentes abordagens não é pertinente. No campo abrangido pela presente pesquisa importam apenas os fatores relacionados à aprendizagem organizacional que podem mostrar-se críticos para o bom andamento da implementação de um projeto Seis Sigma e, eventualmente, possam interferir no processo de implantação de um programa de qualidade Seis Sigma. Neste sentido alguns pressupostos defendidos por alguns autores são cabíveis de serem abordados.

Wiggenborn (2000) afirma que deve ser levado em conta para o sucesso de um programa Seis Sigma fatores como o comprometimento de todos na organização, ou seja, o envolvimento com a mudança nos níveis de qualidade deve estar presente em todos os níveis da organização, seja gerência ou operacional. Outro fator apontado como crítico é a definição clara dos papéis no programa.

Erwin e Douglas (2000), assim como Wiggenborn (2000), também postulam que se toda organização estiver usando a mesma linguagem, a meta para a redução dos defeitos pode ser uniformemente aplicada a todas as atividades. Isto resulta num alcance mais fácil das metas objetivadas pela empresa.

Numa organização que aprende, as pessoas de todos os níveis da organização devem combinar conhecimento técnico e capacidade de trabalhar em grupo. Ainda, precisam refletir de forma crítica e atuarem efetivamente na mudança de suas próprias práticas organizacionais (ARGYRIS, 2000).

Uma organização que busca implantar o Seis Sigma deve possuir naturalmente o perfil de uma organização que aprende. Um programa Seis Sigma deve imprimir à organização o perfil de quem constantemente busca por novas informações a respeito de seus clientes, do ambiente externo e de seus processos. Como resultado a organização deve tornar-se receptiva a novas idéias, a novos produtos, serviços e melhorias, devendo, a cada mudança, medir os resultados e aprender um pouco mais sobre si mesma (PANDE, 2001).

Também o treinamento é destacado por alguns autores como elemento da aprendizagem organizacional crítico para o sucesso de um programa Seis Sigma. Pande (2001) coloca o treinamento como “ingrediente-chave” para a implementação deste programa. Ele ainda

complementa que a habilidade gerencial deve ser amplamente discutida nos treinamentos e que uma organização Seis Sigma, salvo raríssimas exceções, sempre dependerá de algum aspecto da habilidade gerencial para o crescimento e sucesso do programa.

CAPÍTULO 3

3 APRESENTAÇÃO DO MÉTODO DMAIC

O presente capítulo visa demonstrar as fases comumente utilizadas para a implementação de um projeto Seis Sigma, um comparativo entre o método DMAIC e o método PDCA e, por fim, o método DMAIC conforme utilizado na implantação do projeto.

3.1 AS FASES DO MÉTODO DMAIC

3.1.1 *Fase Definir*

Na fase Definir é estabelecida a razão fundamental para o desenvolvimento de um projeto Seis Sigma (RASIS et al., 2002-03). Werkema (2001) e Pande (2001) complementam sugerindo que sejam feitas as seguintes perguntas para definir o tema de um projeto Seis Sigma:

- a) Qual é o problema (resultado indesejável ou oportunidade detectada) a ser abordado no projeto?
- b) Qual é a meta a ser atingida?
- c) Quais são os clientes/consumidores afetados pelo problema?
- d) Qual é o impacto econômico do projeto?

Mikel Harry (1998), no entanto, sugere um modelo onde a fase Definir (D do DMAIC) não aparece. Contudo, ele aconselha que o projeto fosse implementado após trabalhos de *Benchmarking* e análises de capacidade de processos.

A partir de trabalhos realizados com sucesso pela empresa GE na década de noventa, difundiu-se o método usando a fase Definir, incorporada às demais fases do método DMAIC

(PANDE, 2001). Algumas ferramentas são aconselhadas nesta fase do método DMAIC. Dentre elas são comumente sugeridas a Carta do Projeto (*Project Chart*), o SIPOC e Análise da Voz do Cliente (RASIS et al., 2002-03; WERKEMA, 2001; PANDE, 2001).

A Carta do Projeto é uma espécie de contrato firmado entre a equipe responsável pela condução do projeto e os gestores da empresa. Esta ferramenta permite definir: (i) o contexto do projeto; (ii) os aspectos específicos e planos de melhoria; (iii) papéis dos responsáveis; (iv) características do problema e metas; (v) restrições e suposições; (vi) plano preliminar e; (vii) escopo do projeto (WERKEMA, 2001; PANDE, 2001).

Werkema (2001) afirma que a Carta do Projeto tem como objetivos principais: (i) apresentar claramente o que é esperado em relação à equipe do projeto; (ii) manter a equipe alinhada aos objetivos prioritários da empresa; (iii) formalizar a transição do projeto das mãos do gestor para a equipe e; (iv) manter a equipe dentro do escopo definido para o projeto;

O SIPOC é uma ferramenta que permite visualizar o principal processo envolvido no projeto, demonstrando os fornecedores, as entradas, as saídas e os consumidores do processo. A sigla SIPOC provém dos termos em inglês *Suppliers* (fornecedores), *Inputs* (insumos), *Process* (Processo), *Outputs* (produtos obtidos na saída) e *Customers* (consumidores) (RASIS et al., 2002-03; WERKEMA, 2001; PANDE, 2001).

A Análise da Voz do Cliente, por sua vez, consiste em uma observação atenta da voz do cliente para traduzir em requisitos mensuráveis para o processo (PANDE, 2001). O ponto importante do foco no cliente está no entendimento de que aquilo que ele valoriza pode levar à decisão do que é importante melhorar na empresa.

Se a empresa já possui um sistema de coleta de informações relacionadas a necessidades de seus clientes, a obtenção de dados que fundamentem o projeto será facilitada. Contudo, muitos sistemas de obtenção da “voz do cliente” não são realmente eficientes e podem produzir informações pouco confiáveis. Ou seja, é muito importante, existindo ou não um sistema já implantado de obtenção da voz do cliente, que as informações a respeito das necessidades deste sejam cuidadosamente prospectadas e analisadas antes do início de um projeto Seis Sigma (PANDE, 2001).

3.1.2 *Fase Medir*

O Seis Sigma é um método que está fortemente baseado no uso de métodos estatísticos para entender o comportamento de produtos e processos. Um tipo de atividade crucial no Seis Sigma é a definição e medição das variações com a intenção de descobrir as causas de problemas. Assim, pode-se desenvolver os recursos operacionais necessários para reduzir as causas destas variações e controlá-las (SANDERS, 2000). Isto demonstra a importância da fase Medir durante a implantação de um projeto Seis Sigma.

Harry (1998) aconselha que nesta fase sejam selecionadas uma ou mais características Críticas à Qualidade (CTQ – *Critical to Quality*), seja feito o mapa do processo, sejam realizadas as medições necessárias, sejam registrados os resultados e sejam estimadas as capacidades do processo, de curto e longo prazo.

A fase Medir envolve o estudo e entendimento das características Críticas à Qualidade ou CTQ's (RASIS et al., 2002-03). Segundo Pande (2001), as CTQ's também são chamadas por “resultados-chave”, “Y” do processo ou “Variáveis associadas aos Limites de Especificação”.

O mapa do processo consiste em outra importante ferramenta dentro de um projeto Seis Sigma (PANDE, 2001). O mapa do processo permite documentar o conhecimento existente sobre o processo. Com base nele é possível descrever os limites, as principais atividades, os parâmetros do produto final, os parâmetros do produto durante o processo e os parâmetros do processo. Esta ferramenta poderia ser utilizada na fase Analisar, após a definição de qual é o processo gerador do problema focado pelo projeto (WERKEMA, 2001).

Em última análise, é a fase Medir que leva a equipe ao problema prioritário associado ao projeto Seis Sigma.

3.1.3 *Fase Analisar*

É nesta fase que as causas fundamentais do problema prioritário, associado a cada uma das metas definidas durante as fases anteriores do projeto, deverão ser determinadas (WERKEMA, 2001).

A fase Analisar envolve a identificação dos X's equivalentes para cada CTQ, definindo operacionalmente cada X, realizando uma Análise do Sistema de Medição (ASM) para cada X,

estabelecendo uma meta para cada X, controlando os X's para cada CTQ, e entendendo o efeito dos X's em cada CTQ (RASIS et al., 2002-03).

A idéia, nesta fase, é converter os dados brutos em informações que permitam a compreensão dos processos. Este entendimento consiste na identificação das causas de defeitos ou problemas, fundamentais ou mais importantes (NAVE, 2002).

Dentre as possíveis ferramentas que podem ser utilizadas, Werkema (2001) sugere o uso do FMEA (Análise dos Modos de Falha e seus Efeitos), FTA (Árvore de Falhas), ASM (Análise de Sistemas de Medição), DOE (Projeto de Experimentos), Testes de Vida Acelerados. Pande (2001) recomenda também, que sejam revisados o mapa do processo, as atividades que agregam valor e as atividades que não agregam de valor.

FTA pode ser entendido em Helman e Andery (1995). Testes de Vida Acelerados são abordados por Freitas e Colosimo (1997). Estes dois temas não foram usados no projeto e por isso não são focos desta dissertação.

3.1.4 *Fase Melhorar*

Nesta fase, soluções para os problemas são desenvolvidas e mudanças são realizadas para bloquear tais problemas. O resultados das mudanças no processo podem ser observados através de medições. Com base nestas medições, a organização pode julgar se a mudanças foram realmente benéficas, ou se projeto merece ser reavaliado (NAVE, 2002).

Algumas perguntas podem ser feitas nesta fase como meio de buscar um andamento para a implantação das melhorias (PANDE, 2001; WERKEMA, 2001), como por exemplo, (i) Quais as ações ou idéias possíveis que podem permitir a eliminação das causas fundamentais do problema?; (ii) Quais dessas idéias se traduzem em soluções potenciais viáveis?; (iii) Que soluções permitirão o alcance da meta com menor custo e maior facilidade de execução?; (iv) De que forma testar as soluções escolhidas como meio de assegurar sua eficácia e de forma a impedir a ocorrência de “efeitos colaterais”?

Algumas ferramentas podem mostrar-se particularmente úteis nesta fase, cite-se 5W2H, Testes de Hipótese, *Brainstorming* e FMEA (WERKEMA, 2001).

Pande (2001) destaca, ainda, que esta fase poderá durar algum tempo já que na mesma devem ser testadas as possíveis soluções, medidos os resultados e devem ser asseguradas as mudanças que levarão ao sucesso do projeto.

3.1.5 *Fase Controlar*

A fase Controlar envolve o fechamento das melhorias de um projeto Seis Sigma e a transferência deste para o Dono do Processo (RASIS et al., 2002-03).

Se o processo estiver trabalhando de acordo com os níveis previstos e desejados, então ele pode ser considerado sob controle. O processo deverá ser monitorado para garantir a não ocorrência de mudanças imprevistas (NAVE, 2002).

Neste momento do projeto é interessante que as variações do processo sejam avaliadas e que, se a meta desejada não estiver plenamente atingida, retome-se a fase Medir do DMAIC. Ferramentas como Cartas de Controle, Histogramas e estudo da capacidade de processos, podem se mostrar especialmente úteis nesta fase (WERKEMA, 2001).

Após um período para o processo sedimentar-se com suas melhorias, a sua capacidade deve ser reavaliada com o intuito de garantir que os ganhos alcançados sejam mantidos em longo prazo. Uma vez que o projeto implantado com base na metodologia DMAIC tenha efetivamente eliminado os problemas em todas as características chave do processo, então será possível observar uma melhoria radical ocorrendo em termos de custos e satisfação do cliente (HARRY, 1998).

3.2 **O MÉTODO DMAIC E O PDCA**

Muitos modelos objetivando melhorias têm sido aplicados a processos ao longo dos anos desde que o movimento pela qualidade teve início. A maioria deles se baseia nas etapas introduzidas por W. Edwards Deming conhecidas por PDCA, iniciais vindas dos termos em inglês *Plan-Do-Check-Action* ou ainda traduzindo-se para o português, Planejar-Executar-Checar-Padronizar (PANDE, 2001). O PDCA difundido por W. Edwards Deming, por sua vez, está fundamentado em princípios de metodologia científica, cite-se as regras estabelecidas por René Descartes, Observar-Medir-Analisar-Sintetizar. O método de René Descartes fundamenta-

se na idéia de que nunca se deve aceitar como verdadeira qualquer coisa sem antes conhecê-la como tal, ou seja, é imprescindível trabalhar com evidências (ROTONDARO, 2002).

O DMAIC também foi desenvolvido com base no PDCA e, assim como este, pode tomar formatos diferentes dependendo da sua utilização. Assim, se a empresa já tem fundamentado um método para solução de problemas diferente do DMAIC, então é interessante que continue usando aquele no qual seus funcionários estão familiarizados (PANDE, 2001; AGUIAR, 2002).

Campos (1999) afirma que o PDCA pode ser abordado de duas formas: PDCA para manter resultados e PDCA para melhorar resultados. Destes dois o mais próximo ao DMAIC proposto e utilizado nesta dissertação é o PDCA para melhorar resultados.

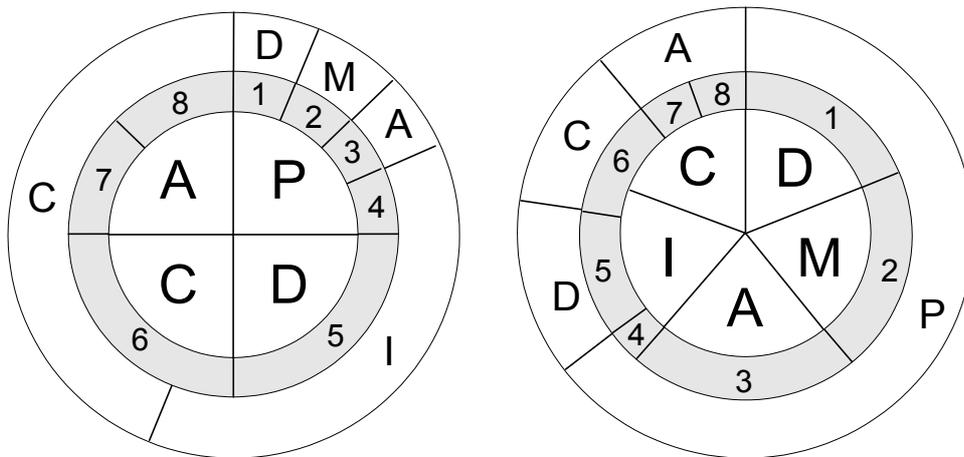
O PDCA para melhorias se constitui num método para identificação e solução de problemas e pode ser subdividido em oito passos, sendo eles: (i) Identificação do problema; (ii) Observação; (iii) Análise; (iv) Plano de ação; (v) Ação; (vi) Verificação; (vii) Padronização e (viii) Conclusão (CAMPOS, 1999).

Uma característica que poderia ser entendida como um diferencial do DMAIC em relação ao PDCA é a grande ênfase dada ao planejamento dos projetos, antes que qualquer ação possa ser executada. Ao traçar uma analogia com o PDCA, é possível equiparar a fase Definir do DMAIC com o passo Identificação do problema, uma vez que, ambos são dedicados à identificação dos problemas que são críticos para a empresa.

A fase Medir é desenvolvida de tal sorte que ao final da mesma tenha-se bem claro as CTQ's para então, realizar as análises. Analogamente, no PDCA o passo Observação do problema também sugere que seja feita uma investigação das causas fundamentais do problema, o que lhe confere uma certa similaridade com a fase Medir do DMAIC. Contudo, no DMAIC a fase Analisar também deve ser usada como meio de chegar aos pontos críticos no processo que precisam ser trabalhados na fase Melhorar do DMAIC. Isso faz com que as fases Medir e Analisar do DMAIC confunda-se com os passos de Observação e Análise do PDCA.

A fase Melhorar do DMAIC leva em consideração a eventual utilização de ferramentas estatísticas e da qualidade que sustentem a efetividade das melhorias. Neste ponto o DMAIC difere do PDCA que não contempla no passo 4 (Plano de Ação) e no passo 5 (Ação) qualquer atividade de verificação e análise.

A fase Controlar do DMAIC, por sua vez, contempla atividades para avaliar se as melhorias realmente foram eficazes e garantir que as melhorias sejam mantidas em longo prazo. Caso não seja provada a eficácia da melhoria, a fase Medir deve ser retomada e todas as fases seguintes revistas atentamente. No PDCA, de forma diferente propõe-se que todas as etapas do método sejam revistas, uma vez que seja provada a ineficácia da melhoria. Uma relação entre o PDCA e o DMAIC é apresentada na Figura 7.



Fonte: adaptado a partir de Campos (1999); Werkema (2002); Aguiar (2002)

Figura 7 Relação PDCA e DMAIC

A metodologia DMAIC também é conhecida como *Breakthrough Strategy* (MILES, 1999). A expressão *Breakthrough Strategy* pode ser traduzida como estratégica de impacto ou ainda, estratégica para mudanças drásticas nos níveis de qualidade, que é exatamente ao que o Seis Sigma se propõe enquanto um programa para a qualidade.

Outro aspecto interessante refere-se ao modo como um projeto Seis Sigma é desenvolvido e sua relação com o método DMAIC. Quando é desencadeada a implementação de um projeto, com frequência se faz uma série de descobertas a respeito de problemas e do processo abordado. Em função deste processo de descobertas que ocorre no decorrer da implementação, um projeto Seis Sigma pode ser revisado até mesmo no momento onde já estão sendo implementadas as soluções para os problemas.

Ainda, após implementar as soluções em um projeto Seis Sigma, a equipe ainda pode necessitar realizar mais trabalhos de análise dos aspectos relacionados ao tema do projeto. Isto

significa que o DMAIC pode ser perfeitamente utilizado como atividade iterativa (PANDE, 2001).

Segundo Pande (2001), se a organização ainda não tem fundamentado nenhum método para a realização de projetos de melhoria ou se o método utilizado não é bem aceito pelos funcionários, então o DMAIC pode apresentar algumas vantagens, conforme visto a seguir:

- a) Ao adotar um novo método para a análise e solução de problemas a empresa demonstra que aprendeu com as falhas ocorridas nos modelos adotados no passado e ainda, que está disposta a apostar num caminho novo e aperfeiçoado para o aumento da sua performance de qualidade;
- b) Apresentando-se um novo modelo de melhoria as pessoas adquirem a oportunidade de aprenderem e praticarem o uso de ferramentas conhecidas sob uma nova lógica;
- c) Em função da ampla propagação de diferentes programas voltados para qualidade nas duas últimas décadas algumas organizações acabaram por assumir diferentes modelos de melhoria. Um método e um vocabulário comuns podem ajudar à organização a usufruir mais eficientemente as vantagens provindas de um programa Seis Sigma;
- d) No DMAIC a validação do que é crítico para o atendimento das necessidades do cliente é um passo no qual é dada grande importância dentro da fase Definir, o que não era enfaticamente salientado em antigos modelos de qualidade. A medição no DMAIC, por sua vez, é apresentada mais como um esforço fundamental, contínuo, do que simplesmente como uma tarefa.

3.2.1 *Aspectos observados com respeito ao método DMAIC e PDCA*

O DMAIC não pode ser considerado um método totalmente novo ou diferente do PDCA. O método DMAIC, da mesma forma que o PDCA, também é composto pelas bases do método científico e pela premissa de que as ações devem ser tomadas com base em evidências comprovadas por dados quantitativos.

Contudo, o DMAIC possui um diferencial que pode lhe imprimir algumas vantagens frente a outros métodos normalmente aplicados para a análise e solução de problemas. Este método aborda o planejamento de forma mais enfática, tanto que as fases Definir, Medir e

Analisar coincide com uma única fase Planejar do DMAIC. Na fase Melhorar do DMAIC sugere-se que as melhorias sejam realizadas utilizando, se necessário, análises que sustentem a efetividade das melhorias. No PDCA, por sua vez, nas atividades de melhorias não são sugeridas paralelamente atividades de análise. Com base nestes fatos pode-se afirmar que o DMAIC, se utilizado de acordo como é proposto, auxilia que os projetos de melhoria apresentem uma possibilidade maior de sucesso.

Pelo fato do DMAIC estar estreitamente ligado ao surgimento do Seis Sigma e ser considerado tão novo quanto ele, as possibilidades de utilização deste método como elemento motivador de sucesso são relativamente grandes. Além disso este método possui uma acentuada ênfase na observação das características críticas para o cliente e na medição destas características. Estes aspectos que não eram observados com igual intensidade na utilização do PDCA.

3.3 PASSOS DO MÉTODO DMAIC UTILIZADOS NA IMPLANTAÇÃO DO PROJETO SEIS SIGMA

No projeto apresentado neste trabalho a fase Definir está dividida em três passos. Num primeiro momento é realizada a definição do problema a ser tratado no projeto Seis Sigma, a seguir são definidas as metas para o projeto e por fim, é feita a declaração das diretrizes para condução das demais fases do projeto. Durante esta fase é usado como ferramenta o teste de hipóteses.

Na fase Medir do projeto são seguidos os seguintes passos: (i) determinação dos técnicos que devem auxiliar na fase Medir; (ii) realização do mapeamento do processo; (iii) realização de *brainstorming* e elaboração do diagrama causa e efeito; (iv) inserção de entradas e saídas no mapa do processo; (v) elaboração da matriz causa e efeito e; (vii) elaboração do FMEA do processo. Ao final desta fase do DMAIC as melhorias que exijam menores custos de implantação e forem mais fáceis de serem implantadas, já são providenciadas. Durante esta fase é utilizado o mapa do processo, reuniões de *brainstorming*, diagrama causa e efeito, gráficos de Pareto, matriz causa e efeito, FMEA e 5H1W.

Durante a fase Analisar são realizadas exclusivamente atividades de análise. A análise de sistemas de medição, o uso de projetos de experimentos e o uso de testes de hipóteses mostram-se especialmente úteis nesta fase.

A fase Melhorar contempla o planejamento e tomada de ações a partir dos resultados obtidos nas análises estatísticas realizadas durante a fase Analisar. Nesta fase é utilizado o FMEA e o 5W1H.

A fase Controlar é dedicada exclusivamente ao controle e manutenção dos resultados.

Os passos propostos para cada fase do projeto Seis Sigma assim como as ferramentas a serem utilizadas na implantação do projeto são vistos de forma estruturada na Quadro 5.

		Ferramentas Utilizadas									
		Matriz Causa e Efeito	DOE	FMEA	ASM	Teste de Hipóteses	5W1H	Brainstorming	Diag. Causa e Efeito	Mapa de Processo	Gráfico de Pareto
D	Definição do problema ser tratado no projeto Seis Sigma					✓					
	Definição das metas para o projeto										
	Declaração das diretrizes para condução das demais fases do projeto										
M	Determinação dos técnicos que devem auxiliar na fase Medir										
	Realização do mapeamento do processo								✓		
	Realização de <i>brainstorming</i> e elaboração do diagrama causa e efeito							✓	✓	✓	
	Inserção de entradas e saídas no mapa do processo										✓
	Elaboração da matriz causa e efeito	✓									✓
	Elaboração do FMEA do processo			✓			✓				
A	Atividades de Análise		✓		✓	✓					
I	Ações de melhoria			✓			✓				
C	Manutenção dos resultados										

Quadro 5 Método utilizado no projeto Seis Sigma apresentado no capítulo 4

CAPÍTULO 4

4 IMPLANTAÇÃO DO PROJETO SEIS SIGMA

Neste capítulo será apresentado o desenvolvimento da pesquisa ação realizada no processo de coagulação de látex e acabamento de borracha. O capítulo inicia com uma breve abordagem sobre o processo que é objeto da pesquisa. Posteriormente será apresentada cada uma das fases da pesquisa, seguindo o roteiro proposto pelo método DMAIC. Ao final da apresentação de cada fase são discutidos os fatores críticos para o sucesso, observados no decorrer do projeto.

4.1 DESCRIÇÃO DO OBJETO DA PESQUISA

A empresa objeto desta pesquisa pertence a um grupo de três unidades, todas operando no Brasil, capacitadas a produzir por ano, 380.000 toneladas de elastômeros. Estas plantas industriais estão estrategicamente distribuídas para atender ao mercado interno e externo. A planta focada nesta dissertação foi inaugurada em 1988. Com 24.000 m² de área construída e 153 funcionários, esta planta produz 72.000 toneladas por ano divididos em 16 tipos de borracha. Esta unidade é a única que produz borracha nitrílica, a qual consiste em uma borracha utilizada para fabricação de mangueiras para motores, e borracha em pó, que é muito usada pela indústria calçadista. O processo de produção de borracha na empresa estudada é feito basicamente em quatro etapas, sendo elas: reação, separação dos monômeros não reagidos, coagulação e acabamento.

4.1.1 *Reação*

Na etapa de reação é feita a adição das espécies químicas que irão originar o látex. O látex produzido pode ser do tipo SBR (reação feita à base de Estireno e Butadieno), do tipo NBR

(reação feita à base de Acrilonitrila e Butadieno) ou tipo Master (reação também feita à base de Estireno e Butadieno). Considera-se que a reação deve ser interrompida quando o látex obtido atinge um nível de viscosidade Mooney (VM) dentro dos limites que foram solicitados pelo cliente. A Viscosidade Mooney é um parâmetro usado no controle operacional do processo de produção de borracha. Ela serve também como forma de identificação das características da borracha que o cliente deseja receber e, por consequência, que a fábrica deseja produzir.

O nível VM é estimado a partir de um processo de deformação irreversível, viscoso ou plástico, através de escoamento dependente do tempo. Após o ensaio, o corpo de prova sofre a ação de uma força tal que a relaxação não determina seu retorno ao estado não-deformado. O processo de escoamento ocorrido neste tipo de ensaio envolve um deslocamento relativo das macromoléculas da substância ensaiada. O nível VM permite que seja feita uma estimativa do peso molecular médio da borracha que se pretende produzir e que, por sua vez, está intimamente ligado às características de processibilidade desse material. O equipamento utilizado para obtenção da VM é chamado de Viscosímetro Mooney, ou simplesmente Vimo.

Na Figura 8 é apresentado um esquema da preparação das amostras de látex para sua colocação no viscosímetro; na Figura 9 é demonstrado um esquema de colocação do corpo de prova no viscosímetro para a obtenção de VM.

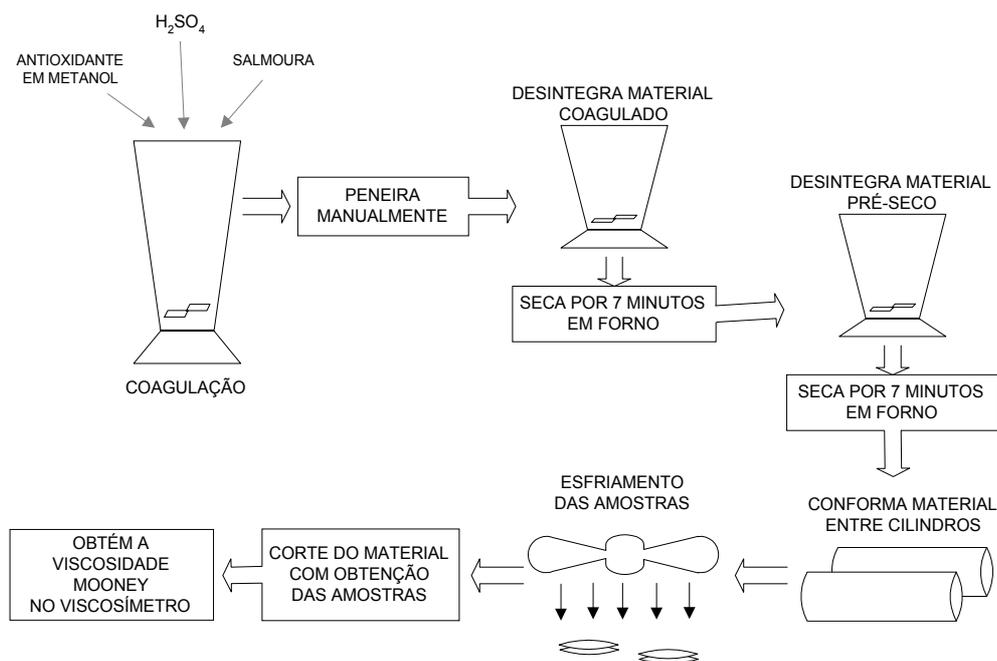


Figura 8 Esquema representativo da preparação dos corpos de prova para ensaio

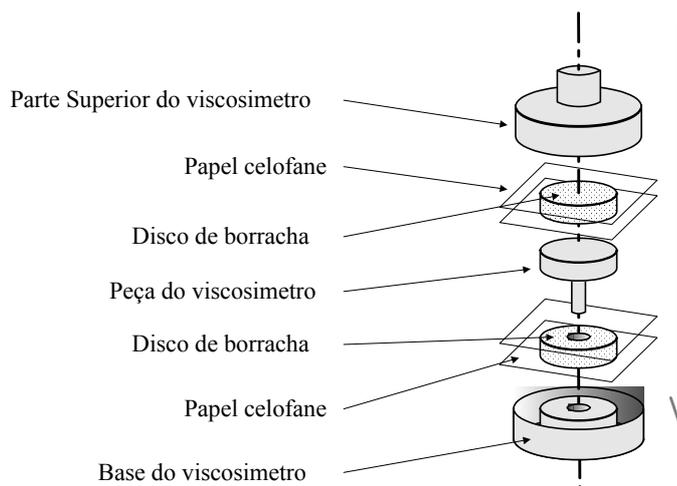


Figura 9 Esquema representativo para obtenção da viscosidade Mooney

O término da reação é feito com o uso de um produto denominado terminador. O terminador reage com o látex que está sendo produzido, combinando-se com o polímero e interrompendo a reação. O produto obtido da reação é o látex em estado aquoso misturado aos monômeros que não reagiram.

4.1.2 *Separação dos monômeros*

Nesta etapa são separados do látex os monômeros restantes do processo de reação que não foram reagidos. Os monômeros são extraídos por meio de vácuo e *stripping* do látex com vapor. Este processo consiste em despejar o látex na parte superior interna, de uma torre por onde constantemente circula um vapor no sentido ascendente. O látex tem os seus monômeros extraídos por arraste, através do contato entre o vapor e o látex.

O produto proveniente da área de separação de monômeros é o látex pronto para ser coagulado. Este látex deverá estar isento dos monômeros que não haviam reagido durante o processo de reação. O produto obtido desta etapa também é o látex em estado aquoso, porém, livre dos monômeros não reagidos.

4.1.3 *Coagulação*

O processo de coagulação consiste em adicionar componentes químicos ao látex em estado aquoso para que o mesmo sofra separação entre uma parte sólida e uma parte líquida que

será depois reaproveitada. Os componentes químicos usados durante o processo de coagulação são o ácido sulfúrico (H_2SO_4) e o auxiliar de coagulação, que consiste na composição de outras substâncias químicas. Também é usada a água mãe, produto residual aproveitado da separação ocorrida entre as fases sólida e líquida, durante a própria coagulação.

Após ter sido realizado o processo na área de separação de monômeros, o látex é armazenado em um grupo de tanques, denominado grupo de tanques A. Neste momento é feita uma avaliação do látex em laboratório para saber seu nível de VM. De acordo com o tipo de borracha que se deseja obter (nível de VM solicitado pelo cliente), faz-se uma adição com os látices de mais de um tanque combinando-os e os enviando para um tanque do grupo de tanques B. O valor de VM que se pretende obter após a mistura é chamado de Viscosidade Mooney Inicial (VM_I).

Após o látex ser agitado por um período de aproximadamente 1 hora, é retirada uma amostra do mesmo para análise de sua VM em laboratório. Esta viscosidade obtida em laboratório recebe o nome Viscosidade Mooney de Entrada (VM_{IN}). A mesma é usada como uma forma de controle para liberação do material para a coagulação. O processo de coagulação é diferente para a produção de borracha NBR, SBR ou Master. As borrachas do tipo Master e SBR passam pelo processo de coagulação e em seguida vão para a etapa seguinte de desumidificação. Já a borracha tipo NBR deve passar por um processo de lavagem, usando água clarificada, composto formado por soda cáustica (NaOH) e antiespumante, para depois passar para o processo de desumidificação.

Uma vez coagulado o látex, ele adquire as características de grumos, separando-se numa fase líquida e outra sólida que possui um teor de umidade em seu interior. Esta mistura passa por um processo de peneiramento onde as duas fases são separadas. Em seguida os grumos passam por uma etapa de compressão mecânica onde parte da umidade contida no seu interior é extraída. Após esta etapa o material é triturado e enviado para um secador móvel.

O secador móvel consiste em um forno com formato de túnel, dividido em dois estágios sequenciais mantidos a uma temperatura de aproximadamente $100^\circ C$. Dentro deste forno há uma esteira móvel que carrega os grumos triturados e igualmente distribuídos de modo a formarem uma camada de aproximadamente 15cm. Na passagem do primeiro para o segundo estágio do forno e na saída dele, a borracha é desagregada de forma a ficar granulada.

No final do processo de secagem são retiradas amostras de borracha para avaliar se a borracha obtida encontra-se com o nível de VM dentro dos limites exigidos pelo cliente. Essa viscosidade obtida em laboratório é denominada de Viscosidade Mooney de Saída (VM_{OUT}). Se a borracha analisada possuir VM_{OUT} fora dos limites desejados, faz-se uma avaliação para considerar se a mesma atende às solicitações de outro cliente. Se esta borracha não atender a nenhum cliente, o processo de coagulação e secagem é interrompido e retomado após serem feitas correções.

Cada vez que um lote de borracha é redirecionado para outro cliente ou para o estoque, considera-se que a empresa está gerando trabalho desnecessário e, em decorrência disso, também custos desnecessários.

4.1.4 *Acabamento*

O produto na forma de grânulos, obtido do processo de secagem, é agrupado com uso de uma prensa formando fardos de 70cm×35cm×20cm. Eles são embalados individualmente através da aplicação de filme e colocados em caixas com capacidade para 36 fardos. As caixas são enviadas para o estoque onde ficam até serem expedidas.

Das etapas que foram abordadas, as etapas de coagulação e acabamento serão escopo do Projeto Seis Sigma, apresentado neste trabalho. Um diagrama esquemático do processo produtivo é apresentado na Figura 10.

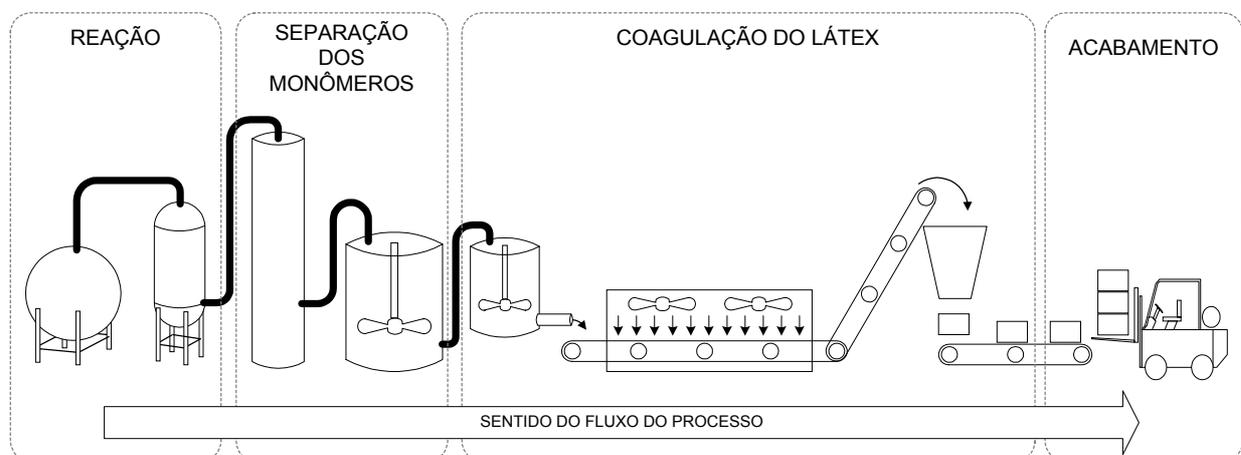


Figura 10 Diagrama esquemático do processo produtivo que é foco da pesquisa

4.2 FASE DEFINIR

4.2.1 *Definição do problema a ser tratado no projeto Seis Sigma*

Durante o processo de produção de borracha existe uma variação no nível de VM em função de diversos fatores. Para melhor controle dos níveis de especificação da borracha solicitada pelo cliente, é importante ter previsibilidade da VM que é obtida no final do processo produtivo.

Atualmente existe uma variabilidade significativa na diferença entre a VM_{IN} e VM_{OUT} para vários tipos de borracha. Por exemplo, para a SBR 1502 esta variabilidade é verificada com média superior a 1 ponto e desvio padrão superior a 1,5 pontos. Esta variabilidade impede a previsibilidade da VM do produto que se deseja obter ao final da linha de secagem da borracha, na área coagulação e acabamento. A consequência da falta de previsibilidade da VM é o redirecionamento de lotes ao final do processo de coagulação e acabamento.

O redirecionamento consiste em direcionar um lote para um cliente diferente daquele para o qual o lote estava sendo produzido ou enviar o lote para o estoque para aguardar alguma especificação de cliente na qual ele se enquadre ou, ainda, enviar material para o estoque até poder ser retrabalhado. Cada vez que a VM_{OUT} não é obtida de acordo com o valor de VM_{IN} , algum tipo de redirecionamento acaba ocorrendo. Este redirecionamento pode acarretar, entre outros problemas, na insatisfação do cliente. Outro agravante deste problema está exatamente nos custos diretos e indiretos trazidos para empresa. Com base nestas observações é possível afirmar que o redirecionamento de lote é um bom indicador para perceber qualquer melhoria na área de coagulação e acabamento de borracha. Com o intuito de buscar solução para o problema excesso de variabilidade na diferença entre VM_{IN} e VM_{OUT} , durante o processo de coagulação do látex e acabamento de borracha, foi iniciado o projeto Seis Sigma.

4.2.2 *Definição das metas para o Projeto*

O primeiro passo para a definição das metas a serem obtidas com a implantação foi fazer o levantamento dos dados que pudessem caracterizar o problema observado na área de coagulação e acabamento. Através de uma busca em bases de dados da empresa foi possível obter valores de VM durante todo o ano de 2001 e até fevereiro de 2002. Estes dados foram

armazenados em planilha eletrônica e posteriormente tratados, para eliminar dados atípicos como, por exemplo, possíveis erros de digitação.

O próximo passo foi realizar uma análise de tais dados através de um *software* adequado a este tratamento. O primeiro objetivo desta análise era examinar se a diferença entre a VM_I e a VM_{IN} era significativa. Ou seja, se faz diferença usar o VM_I ou VM_{IN} para previsibilidade do VM_{OUT} que se deseja obter ao final do processo de secagem na área de coagulação e acabamento. As variáveis VM_I e VM_{IN} possuem comportamento conhecido como distribuição normal (Curva de Gauss), conforme pode ser observado no Apêndice A.

Para a realização da primeira análise optou-se pelo uso dos dados da borracha SBR 1502, que apresenta hoje um comportamento similar aos limites almejados para as demais borrachas e é também a borracha produzida em quantidade maior que as demais. Como o objetivo da primeira análise era avaliar se a variabilidade na diferença entre VM_I e VM_{IN} era significativa, optou-se inicialmente pela realização dos seguintes cálculos: $DIF_TANQUE = VM_I - VM_{OUT}$ e $DIF_TEORICO = VM_{IN} - VM_{OUT}$.

A seguir avaliou-se através de um teste de hipóteses se a diferença entre DIF_TANQUE e $DIF_TEORICO$ era significativa. Após a análise dos dados foram obtidos os resultados que estão apresentados na Tabela 6. Foi utilizado o cálculo das diferenças porque o mesmo poderia ser útil em outros tratamentos estatísticos, uma que vez a previsibilidade depende exatamente da variabilidade na diferença entre os níveis de VM na entrada e na saída do processo. Caso contrário, poderiam ser usados diretamente os valores de VM_I e VM_{OUT} para a realização do teste de hipótese.

Tabela 6 Teste de hipótese para diferença entre DIF_TANQUE e $DIF_TEORICO$

	N	Média	Desvio Padrão	SE Mean	Valor-p = 0,118
DIF_TANQUE	2275	-1,07	1,71	0,036	
$DIF_TEORICO$	2275	-0,99	1,78	0,037	

Dessa forma, não se têm evidências suficientes para provar que há diferenças significativas ($\alpha=0,05$) entre DIF_TANQUE e $DIF_TEORICO$. Isto verifica-se pelo valor- $p=0,118 > \alpha=0,05$.

O segundo objetivo da análise dos dados era mensurar os níveis de variabilidade presentes na diferença entre a VM_{IN} e a VM_{OUT} , para outras borrachas produzidas pela empresa. Foram alvos de análise as borrachas produzidas com maior frequência e em maior quantidade. As borrachas escolhidas para a análise foram as seguintes: SBR 1502, NBR 3330 *Clean*, NBR 3350, NBR 3380, SBR 1507, NBR 2860, NBR 3330, NBR 3360, M-6355, NBR 4560, NBR 3350 *Clean* e NBR 3960.

A variável DIF_TANQUE corresponde exatamente à diferença entre VM_{IN} e VM_{OUT} , objetivos desta segunda análise. De posse dos dados, levantou-se através de *software* três parâmetros para avaliar como se encontra a variabilidade de DIF_TANQUE no processo para diferentes borrachas. Assim, os valores de tamanho de amostra, média e desvio padrão para DIF_TANQUE encontram-se demonstrados na Tabela 7.

Tabela 7 Valores de DIF_TANQUE obtidos para diferentes borrachas

Borracha	N	Diferença Média	Desvio Padrão da Dif. Média
SBR 1502	1493	-1,200	1,413
NBR 3350 <i>Clean</i>	261	-1,200	2,140
NBR 3330 <i>Clean</i>	58	-1,050	1,940
M 6355	44	1,900	3,733
NBR 3330	38	-0,550	1,540
NBR 3350	34	-1,450	1,775
NBR 3380	29	-1,700	1,983
NBR 2860	25	-1,600	2,144
NBR 3360	16	0,050	2,252

4.2.3 Declaração das diretrizes para condução das demais fases do projeto

O problema mais importante presente na área de coagulação e acabamento ficou definido como sendo o excesso de variabilidade na diferença entre VM_{IN} e VM_{OUT} , durante o processo de coagulação do látex e acabamento de borracha. Com base no problema observado foi estabelecido como meta para o projeto a redução da variabilidade na diferença entre VM_{IN} e VM_{OUT} dos níveis indesejáveis, para uma diferença média menor ou igual a 1 ponto, com desvio padrão menor ou igual a 1,5 pontos.

Em termos financeiros estes resultados permitiriam uma redução de 50% na geração de estoque em toneladas de produtos redirecionados, o que equivaleria a uma economia de aproximadamente R\$ 90.000 / ano.

A equipe montada para a realização do projeto contou com pessoas basicamente da área da gerência de produção. Foram alocados para o projeto três gerentes da produção, dois supervisores das áreas envolvidas e mais o autor desta dissertação. Dos três gerentes, um teve uma atuação mais ativa neste projeto alocando em média doze horas semanais ao mesmo. Os outros dois gerentes concentraram-se em outros projetos, eventualmente participando de algumas atividades do projeto apresentado nesta dissertação. O corpo de técnicos interagiu com as atividades do projeto conforme fossem solicitados. O cronograma previsto para o projeto é apresentado na Figura 11.

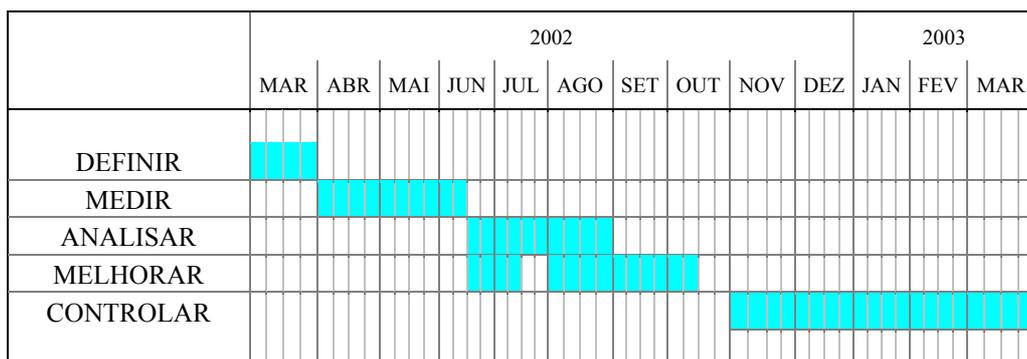


Figura 11 Cronograma previsto para a realização do projeto

4.2.4 Aspectos observados na fase Definir

Com relação aos fatores críticos para o sucesso, no momento de definir a equipe não houve uma declaração clara de como esta deveria trabalhar e estruturar-se. Faltou a caracterização da equipe como um time e do diretor da empresa como um indivíduo que exerce o trabalho de cobrança e apoio às ações durante o projeto. Segundo Eckes (2001), aproximadamente 20% dos fracassos em projetos Seis Sigma devem-se a falhas na utilização da metodologia DMAIC. Para ele, um dos erros mais comuns ocorre exatamente no que se refere à constituição da equipe e, além disso, as lideranças da organização devem estar envolvidas no processo de implantação do programa, não devendo exercer apenas uma postura de envolvimento mas também de comprometimento.

Embora não tenham sido feitos trabalhos específicos de prospecção de mercado para levantamento das necessidades do cliente, o tema do projeto foi bastante pertinente. A empresa recebe rotineiramente contatos de clientes exigindo a conformidade do parâmetro de viscosidade como característica de qualidade chave das borrachas que foram compradas.

Percebeu-se que o comprometimento dos integrantes da equipe de projeto ficou prejudicado pela forma como foi definida a equipe e, a forma como esta deveria atuar. Com relação a isto Wiggenborn (2000) afirma que as mudanças não devem ser impostas de cima, mas devem sim começar por cima. Com tal observação o autor pretende destacar que a constante participação dos líderes como agentes da mudança é crucial para o alcance de resultados satisfatórios, não só nos projetos mas também, no programa Seis Sigma como um todo.

Não foi definido nesta fase um cronograma detalhado do projeto constando datas limites de conclusão para cada fase do DMAIC e metas claras para o atendimento das necessidades dos clientes. Também não foram estabelecidos dias e horários para reuniões da equipes, assim como, a sistemática das reuniões. Sob este aspecto, o projeto mostrou uma forte tendência de perder o ritmo, já que as pessoas costumam ter tendência à perda de foco quando não estão sob uma rotina disciplinada e sistematizada de reuniões.

Em função dos aspectos observados fica nítido que neste ponto de partida um projeto Seis Sigma pode ter seu fracasso ou sucesso já preconizado. No caso deste projeto pode-se observar uma tendência ao não preenchimento das premissas necessárias ao seu sucesso, no que se refere à determinação das equipes e à determinação dos papéis de cada integrante das mesmas.

4.3 FASE MEDIR

4.3.1 *Determinação dos técnicos que devem auxiliar na fase Medir*

Como passo inicial para a realização da fase Medir fez-se a determinação de quais pessoas dentro da empresa que poderiam ajudar nesta fase do projeto Seis Sigma. Como este projeto está sendo desenvolvido na área de coagulação e acabamento, parte do grupo de apoio deve provir deste local. Incluem-se aqui os funcionários desta área atuantes nos turnos, durante o horário administrativo, na manutenção e o “Dono do Processo” envolvido, que neste caso é o supervisor desta área.

A empresa possui três laboratórios instalados em locais diferentes da fábrica. Um destes laboratórios (Laboratório I) fica na própria área coagulação e acabamento e é usado apenas para obter o nível de matéria volátil da borracha (MV) durante e após a secagem da mesma.

Outro laboratório fica no prédio administrativo (Laboratório II) e é responsável pelo controle da matéria produzida e de produtos acabados. O terceiro laboratório, e mais concatenado ao processo produtivo, fica próximo à área de coagulação e acabamento e recebe o nome de Laboratório III. No Laboratório III diariamente são feitas medições para o controle do processo não só para área de coagulação e acabamento, como também para a área onde é realizada a etapa de reação.

Dessa forma, é interessante que equipes que atuam ligadas às atividades dos laboratórios forneçam apoio à realização da fase Medir. Nesta equipe incluem-se funcionários dos laboratórios que atuam nos turnos, durante o horário administrativo e os funcionários responsáveis pela manutenção dos equipamentos, principalmente dos viscosímetros.

4.3.2 *Realização do Mapeamento do processo*

Para realização do mapeamento do processo, o primeiro passo foi montar um fluxograma do processo abordado nesta dissertação. O fluxograma do processo da área de coagulação e acabamento foi preparado através de entrevistas com os supervisores do processo envolvido, com funcionários das áreas envolvidas e com os membros da equipe de projeto.

Das entrevistas originou-se o fluxograma do processo apresentado na Figura 12, que serve como base para a visualização do problema levantado e que deve ser usado também como base para a construção do mapa do processo. O mapa do processo tem uma estrutura mais enxuta, contudo não deve desconsiderar partes do sistema que venham a ser importantes.

O mapa do processo que representa a área de coagulação e acabamento é apresentado na Figura 13. Neste mapa VA significa que a etapa adiciona valor ao produto e NVA que a etapa não adiciona valor ao produto. O mapa do processo apresentado na Figura 13 será complementado após a realização do *brainstorming* com entradas e saídas para cada etapa. As entradas serão definidas com base nos itens priorizados durante as reuniões de *brainstorming*. Após a complementação com os itens priorizados durante as reuniões de *brainstorming* o mapa passará a ter um formato, se necessário, de uma tabela.

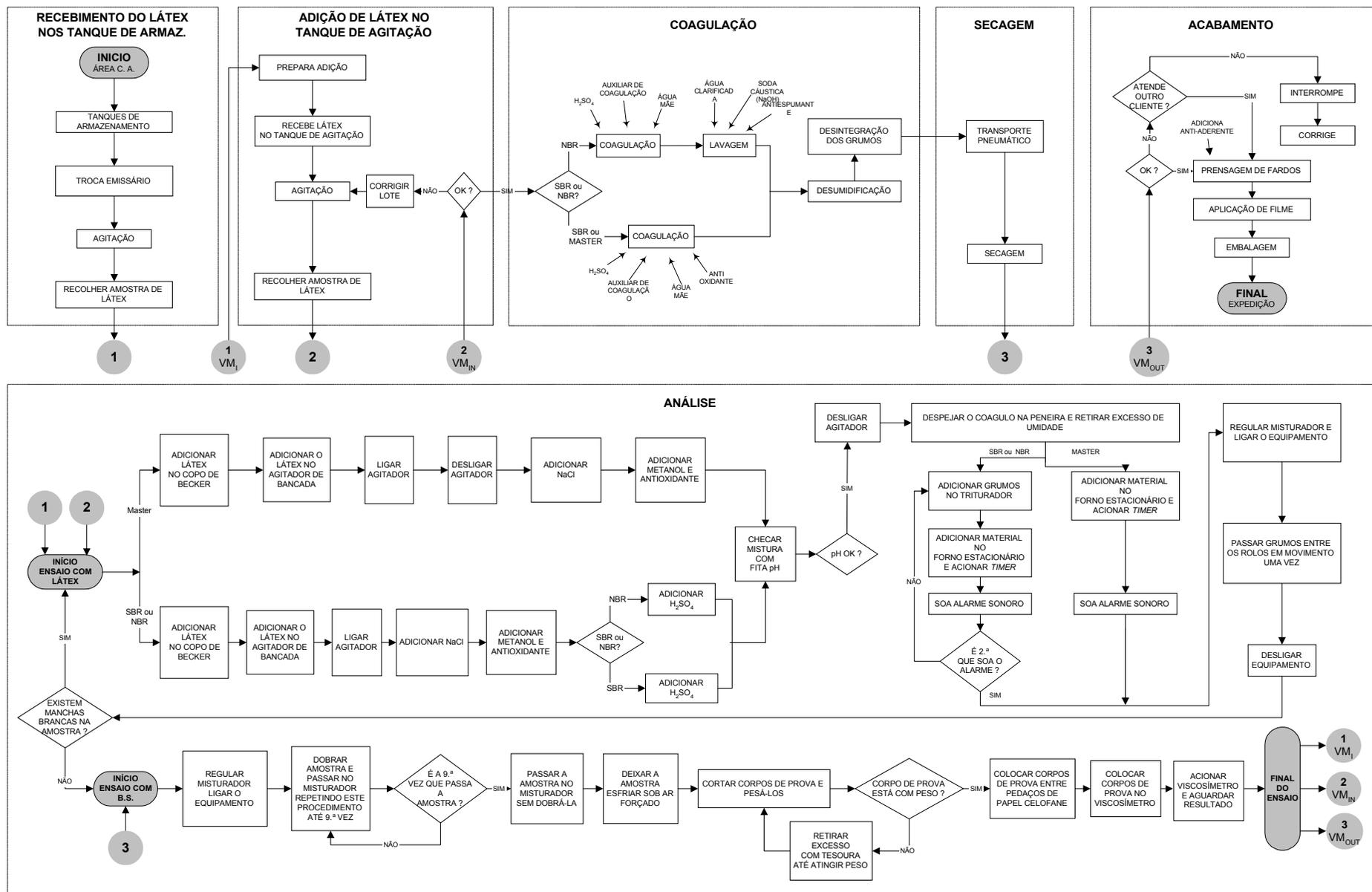


Figura 12 Fluxograma do processo para a área de coagulação e acabamento

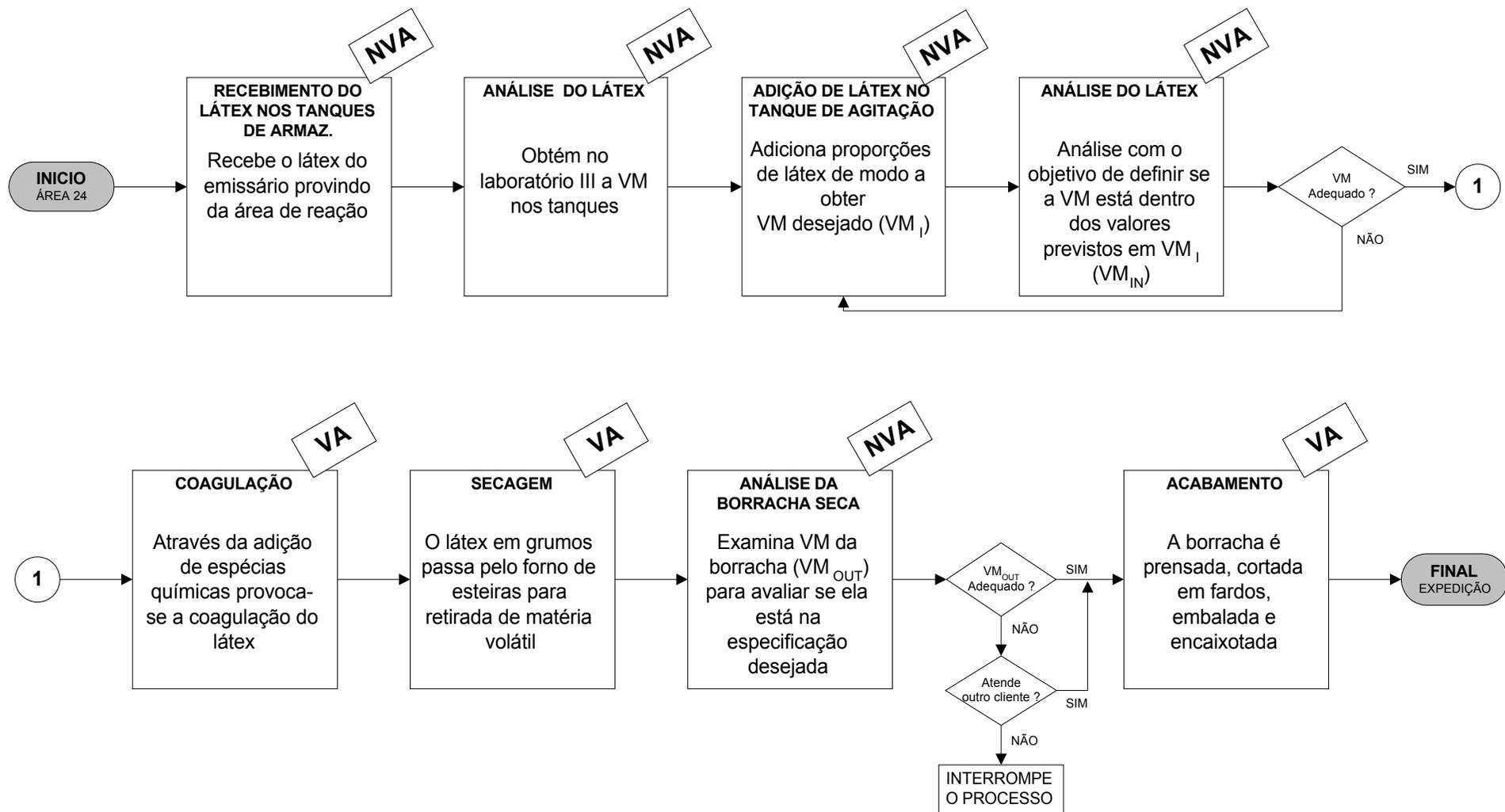


Figura 13 Mapa do processo para a área de coagulação e acabamento

4.3.3 *Realização de brainstorming e elaboração do diagrama causa e efeito*

A realização das reuniões ficou dividida em duas etapas. Na primeira etapa realizou-se o *brainstorming* com a equipe de coagulação e acabamento. Na segunda etapa foi realizado o *brainstorming* com a equipe do Laboratório III. Destas duas etapas foram retiradas informações para a complementação do mapa do processo.

A realização do *brainstorming* com o pessoal da área de coagulação e acabamento desenvolveu-se sob a coordenação do supervisor do processo, e acompanhamento do autor desta dissertação. A reunião foi iniciada com uma breve explicação de como funcionava uma reunião de *brainstorming*, como os participantes deveriam comportar-se durante a reunião e por que eles deveriam buscar causas relacionadas ao problema excesso de variabilidade entre os níveis de VM_{IN} e VM_{OUT} . Como complemento da reunião foi feito um trabalho de avaliação dos itens sugeridos.

Após a realização do *brainstorming* com a equipe da área de coagulação e acabamento obteve-se o Diagrama Causa e Efeito demonstrado na Figura 14.

A reunião com o pessoal dos laboratórios foi realizada sob a mesma sistemática daquela feita com a equipe da área de coagulação e acabamento, sendo feita sob a coordenação do Gerente de Produção, e acompanhamento do autor desta dissertação. Na equipe também estava presente o supervisor dos laboratórios.

Após a realização do *brainstorming* com a equipe dos laboratórios I, II e III, obteve-se o Diagrama Causa e Efeito demonstrado na Figura 15.

Com base nas sugestões obtidas nas duas reuniões, foi montado um único diagrama que agregasse todos os itens levantados pelos funcionários das duas áreas. Tomou-se o cuidado de unir os itens que tivessem mesmo significado, pois os funcionários das duas equipes poderiam eventualmente usar termos diferentes para identificação de uma única causa.

Ao final obteve-se o Diagrama Causa & Efeito que representa simultaneamente as sugestões da área de coagulação e acabamento e dos laboratórios da empresa. O diagrama pode ser visto na Figura 16.

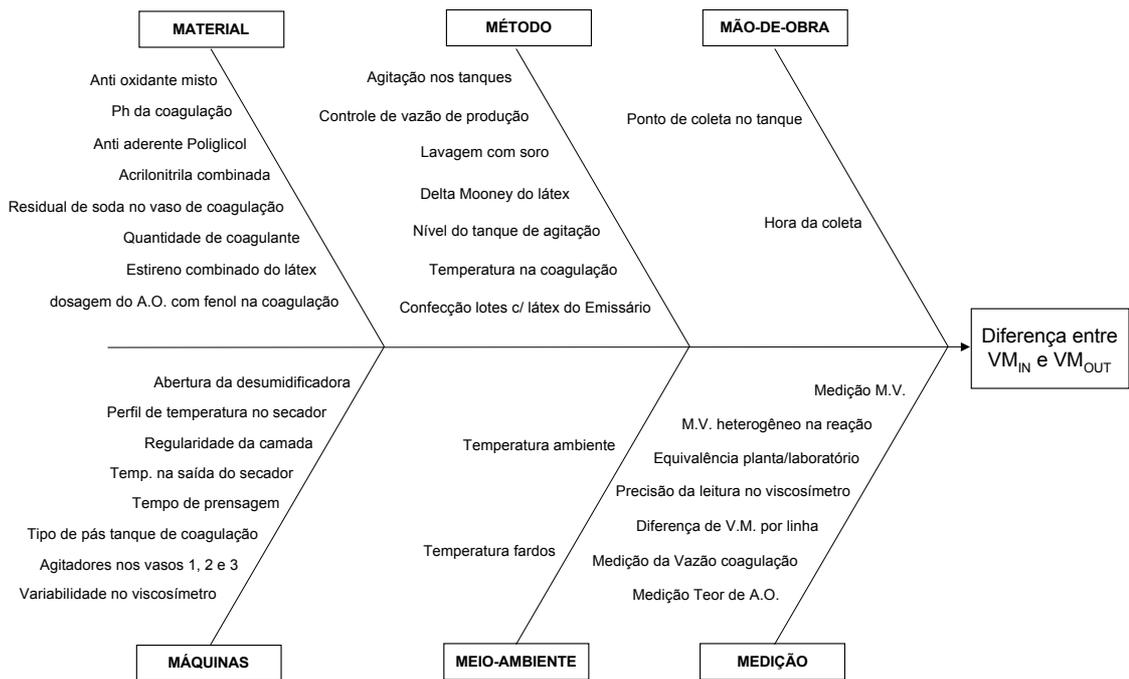


Figura 14 Diagrama Causa e Efeito resultante do *brainstorming* realizado com a equipe da área de coagulação e acabamento

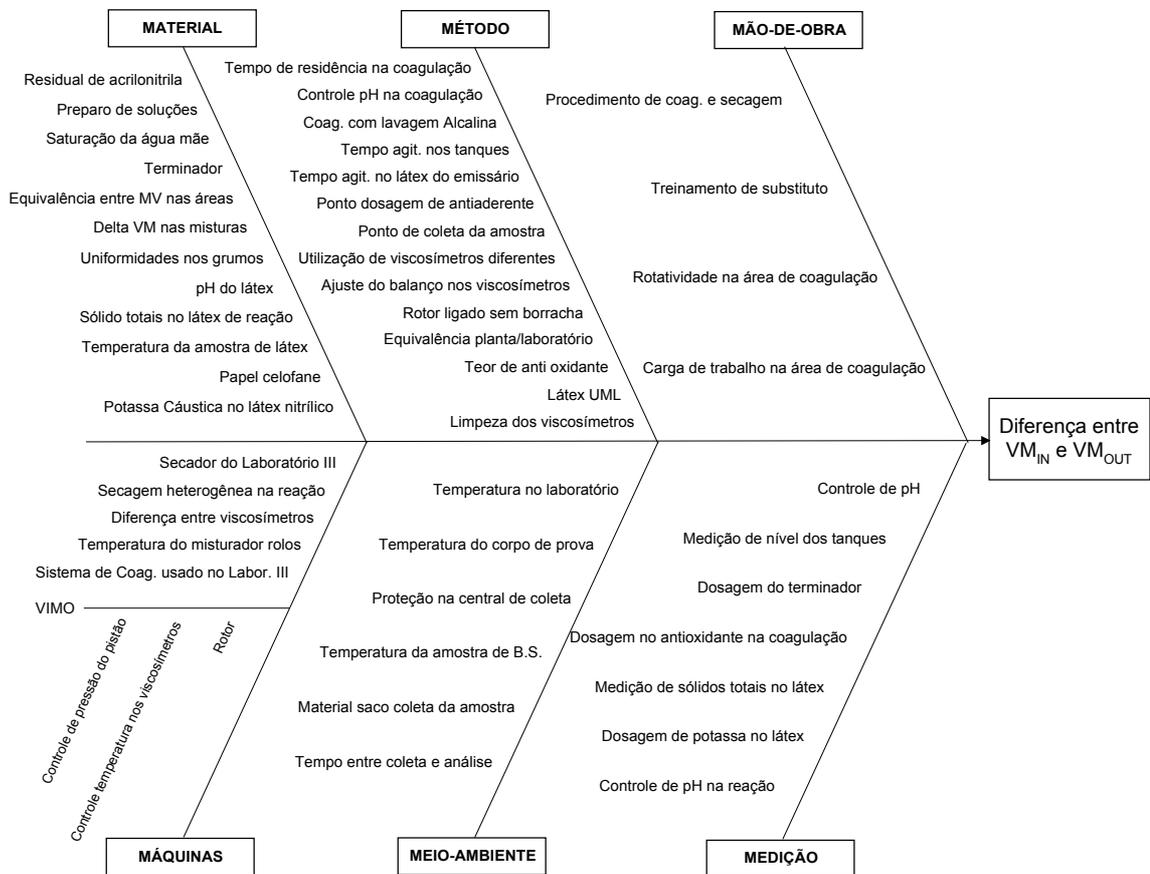


Figura 15 Diagrama Causa e Efeito obtido do *brainstorming* realizado com a equipe dos labor. I, II e III

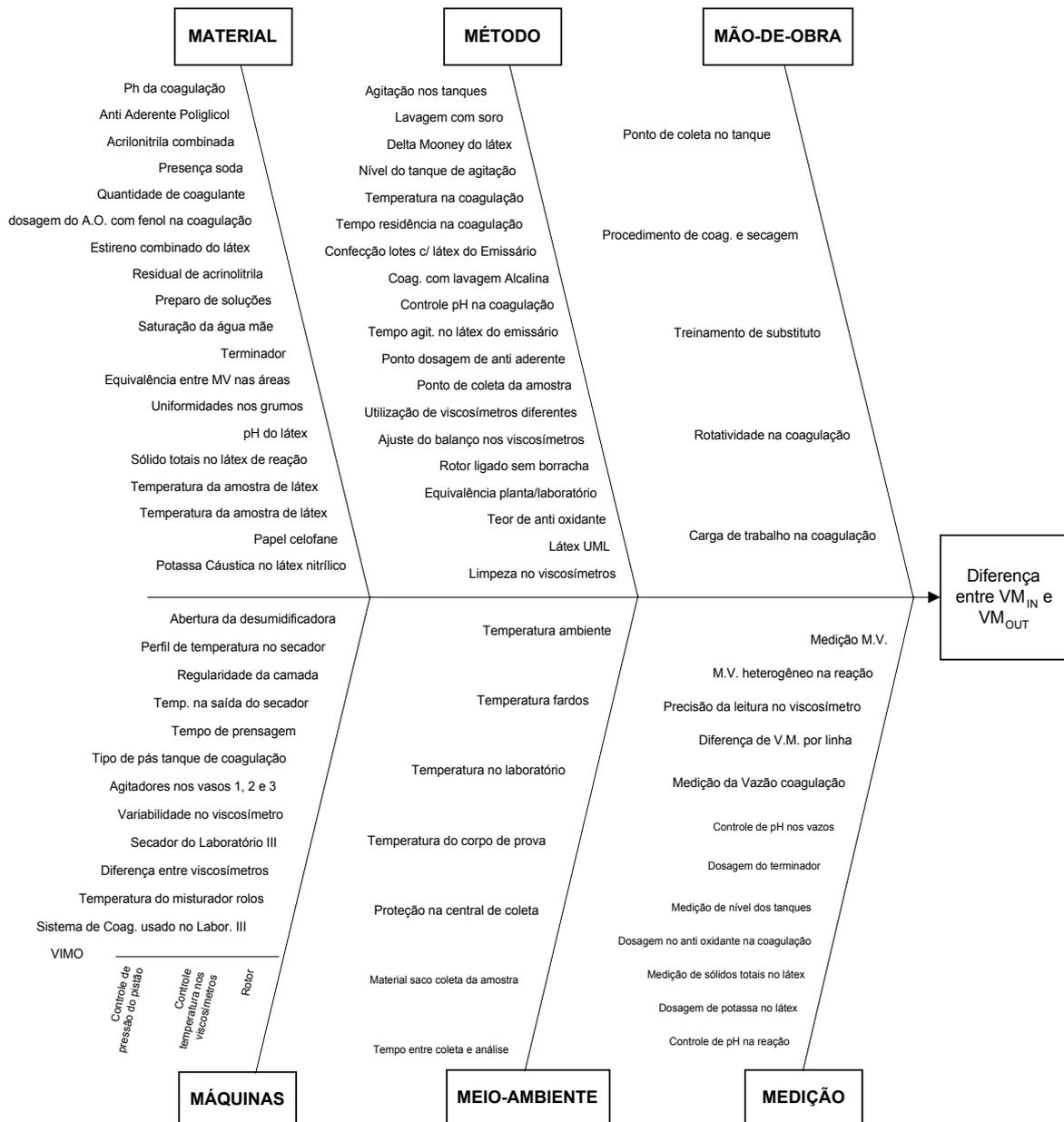


Figura 16 Diagrama Causa de Efeito resultante das áreas de coagulação e acabamento e dos laboratórios

4.3.4 Inserção de entradas e saídas no mapa do processo

Como complementação às etapas de elaboração do mapa do processo e elaboração do Diagrama Causa & Efeito, devem ser atribuídos a cada etapa do processo, variáveis de entrada e saída. As variáveis de entrada contempladas no mapa do processo devem ser aquelas que já foram priorizadas durante as reuniões de *brainstorming*. Posteriormente, a inserção das variáveis de entrada no mapa do processo permitirá a obtenção de uma matriz causa e efeito (matriz causa e efeito) mais enxuta e isenta de itens desnecessários. Da mesma forma, o mapa

do processo ficará mais compreensível. A priorização das variáveis de entrada feita durante o *brainstorming* gerou o gráfico de Pareto demonstrado na Figura 17.

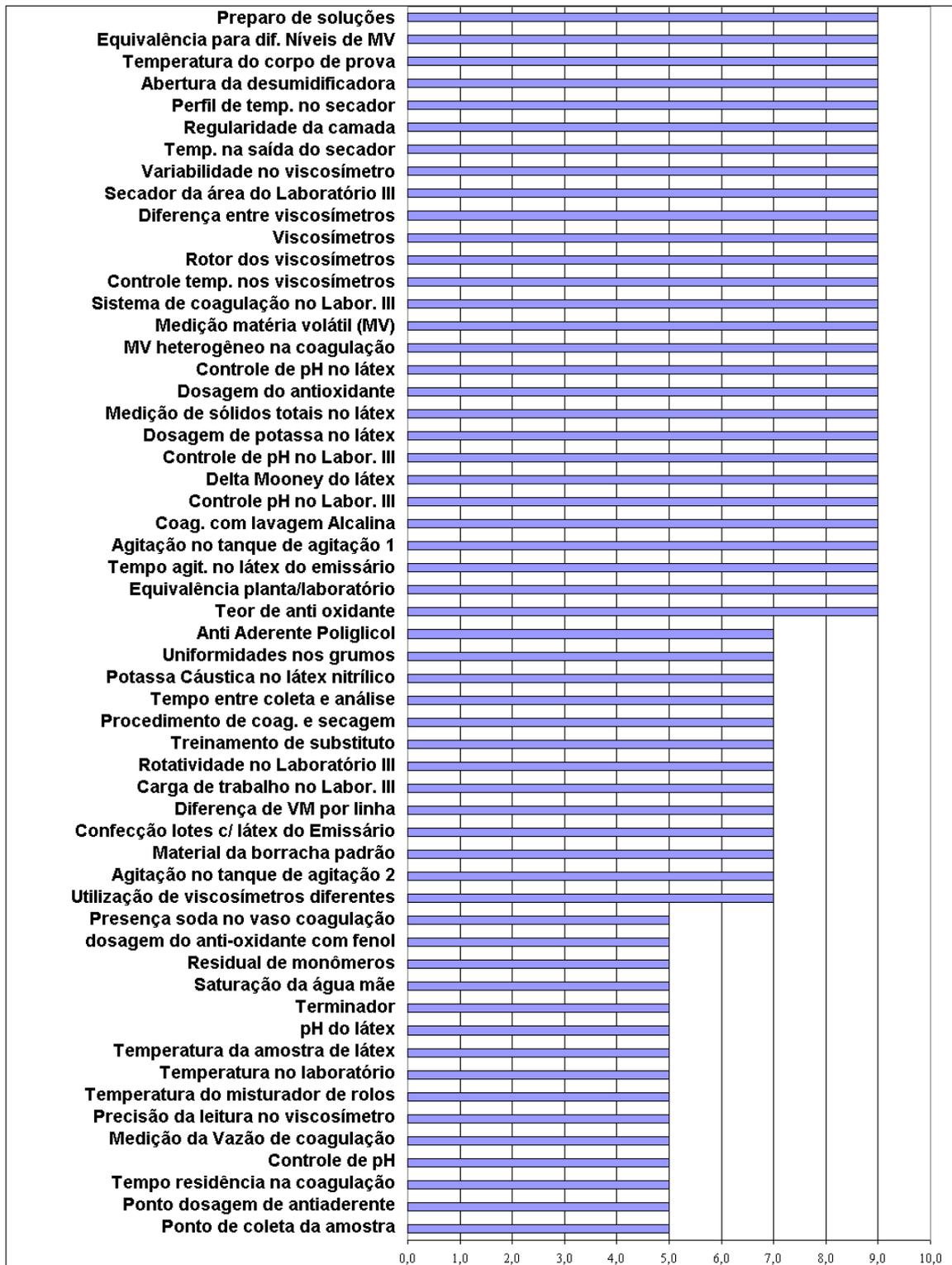


Figura 17 Gráfico de Pareto para as variáveis de entrada priorizadas após reuniões de *brainstorming*

Considerou-se as variáveis de saída podem ser de dois tipos: externas quando são saídas percebidas como críticas pelo cliente externo e internas quando as saídas são críticas para a etapa subsequente no processo (cliente interno). As variáveis de entrada também podem ser de dois tipos: controláveis quando podem ser ajustadas e mantidas nos níveis desejados e, de ruído quando não podem ser controladas devido a problemas de custo ou dificuldade. Todas as variáveis controláveis devem ter Procedimentos Operacionais Padrões (SOP's) que consistem em atividades realizadas objetivando o controle das mesmas (limpeza, preparação, etc). Ainda pode se classificar as variáveis de entrada como externas se forem características críticas identificadas na matéria prima (fornecedor externo) ou internas se forem variáveis dentro do próprio processo (fornecedor interno).

Com base nas informações levantadas neste procedimento, pode ser elaborado o mapeamento completo do processo que está representado em formato de tabela no Apêndice B. Nas variáveis de saída, “i” identifica variável de saída interna e “e” significa variável de saída externa.

4.3.5 *Elaboração da matriz causa e efeito*

Durante a fase Definir, a variabilidade na diferença entre VM_{IN} e VM_{OUT} foi identificada como um problema crítico para a realização de melhorias na área de coagulação e acabamento. Contudo, durante a elaboração do mapa do processo e preenchimento da matriz causa e efeito, tornou-se interessante o desdobramento deste item em outras variáveis de saída de forma a tornar a análise mais eficiente. As variáveis de saída escolhidas foram VM_i , VM_{IN} , VM_{OUT} , tamanho uniforme dos grumos, residual de soda cáustica, matéria volátil (MV), peso dos fardos e aspecto visual dos fardos.

A realização das priorizações das variáveis de entrada foi feita a partir do preenchimento da matriz causa e efeito. O preenchimento da matriz causa e efeito deve seguir alguns critérios, devendo ser feito com a participação de técnicos de todas as partes interessadas. Para isso foram reunidos o supervisor do processo de coagulação e acabamento, o supervisor dos laboratórios, o gerente do processo e o autor da dissertação.

A saída da matriz causa e efeito é um índice denominado *IPi*. Com base nos valores de *IPi* pode ser feito um gráfico de Pareto. Este gráfico permite uma visualização rápida de quais os itens recebem maior importância e que devem ser tratados com maior atenção para a

obtenção das melhorias desejadas. A matriz gerada nesta etapa está demonstrada na Figura 18 e o gráfico de Pareto para os dados está demonstrado na Figura 19. Através do gráfico de Pareto é possível identificar qual o problema prioritário do processo em estudo que será analisado pelo FMEA.

VARIÁVEIS DE ENTRADA (X)		Variáveis de saída (Y)								Ipi
		Viscosidade Mooney Teórico (V _m)	Viscosidade Mooney De Liberação (V _{m_{lib}})	Viscosidade Mooney Da Borracha Seca (V _{m_{bs}})	Grumos Com Tamanho Uniforme	Residual De Naoh	Matéria Volátil (Mv)	Peso Dos Fardos	Aspecto Visual	
		5,0	9,0	9,0	3,0	7,0	6,0	1,0	1,0	
MATERIAL	Ph da coagulação			2	9		5		2	77
	Residual de soda no vaso 3 – NBR			5		9	5			138
	Dosagem do A.O. com fenol na coagulação	5	5							70
	Residual de acrilonitrila	5	5							70
	Preparo de soluções	5	5							70
	Saturação da água mãe			5	2					51
	Equivalência entre MV entre as áreas	5	5	5						115
	pH do látex	5	5							70
	Temperatura da amostra de látex	9	9							126
M. AMB.	Temperatura do corpo de prova	5	9	9						187
MÁQUINAS	Abertura da desumidificadora			5	2		9			105
	Perfil de temp. no secador			5			9			99
	Regularidade da camada			5			9			99
	Viscosímetros	9	9	9						207
	Temperatura do misturador rolos	5	5	5						115
	Sistema de coagulação no Laboratório III	9	9							126
MEDIÇÃO	M.V. heterogêneo na coagulação			9			5			111
	Precisão da leitura no viscosímetro	2	2	5						73
	Medição da Vazão coag.			5			5			75
	Controle de pH no vaso 1			2	9		5		2	77
	Controle de pH no vaso 3			5		9	5			138
	Dosagem do antioxidante na coagulação			5						45
	Medição de sólidos totais no látex						9			54
	Dosagem de potassa no látex	5	5							70
	Controle de pH no Laboratório III	9	9							126
MÉTODO	Delta Mooney do látex	2	2	2						46
	Temperatura na coagulação no processo			9			2			93
	Tempo residência nacoagulação			9	2	5				122
	Agitação nos tanques		9	9						162
	Equivalência planta/laboratório	9	9							126

Figura 18 Matriz causa e efeito para o processo da área de coagulação e acabamento

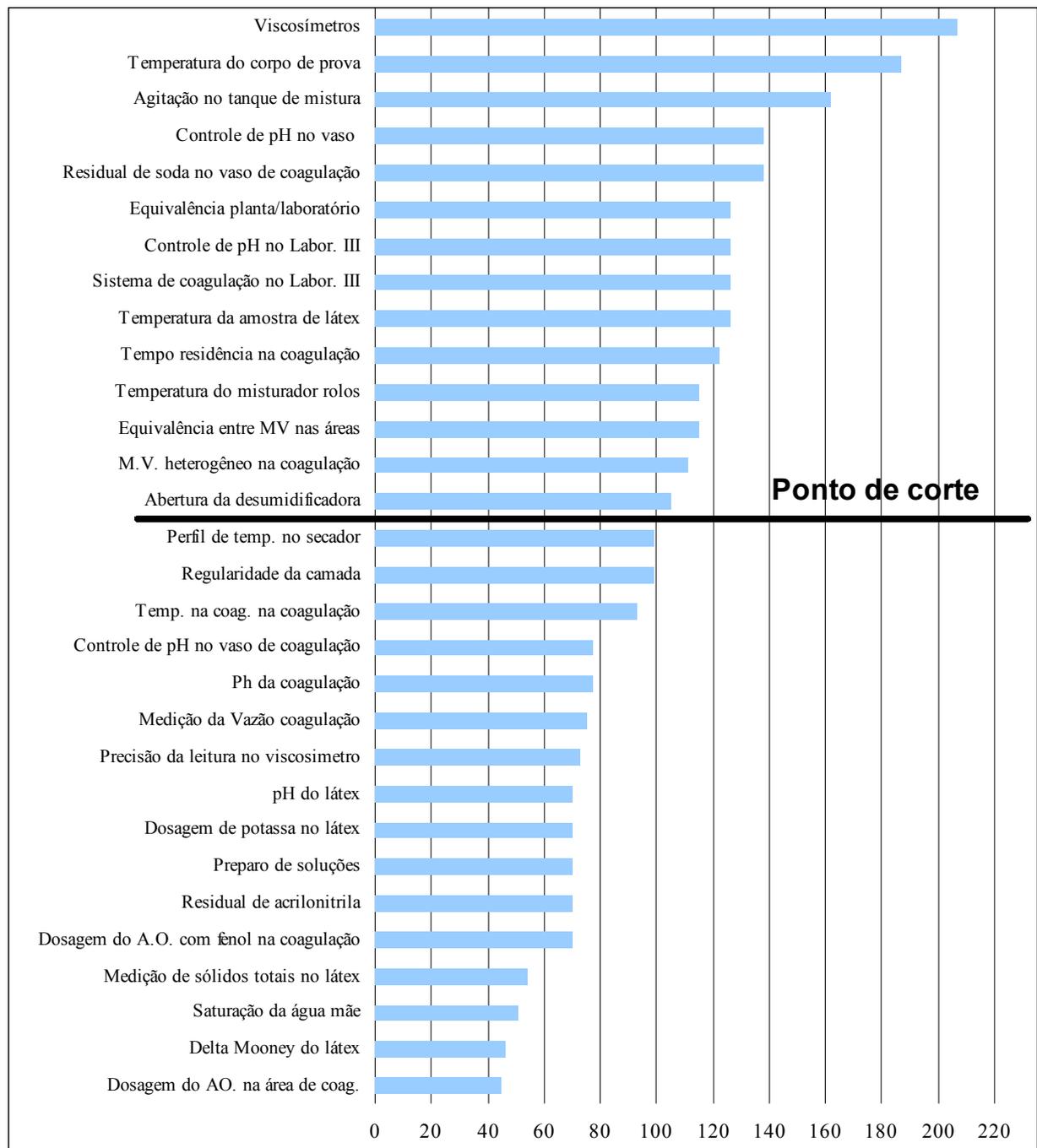


Figura 19 Gráfico de Pareto para as variáveis de entrada no processo da área de coagulação e acabamento

Segundo os resultados obtidos no gráfico de Pareto da Figura 19, é possível observar que os Viscosímetros, a temperatura nos corpos de prova e a agitação no tanque de mistura de látex, por exemplo, configuram-se como itens importantes a serem tratados no processo. Após visualização do gráfico de Pareto, o grupo optou por determinar o ponto de corte do gráfico considerando o número de itens com maior pontuação. Para os participantes do grupo um

número de 14 itens seria razoável para que o prazo de realização das melhorias pudesse ser cumprido. O ponto de corte coincidiu com uma pontuação de 120 no gráfico de Pareto.

4.3.6 *Elaboração do FMEA do Processo*

A elaboração do FMEA foi feita com a participação de pessoas de todas as partes interessadas no processo estudado. Para isso foram reunidos o supervisor do processo de coagulação e acabamento, o supervisor dos laboratórios, os gerentes do processo, com apoio do autor da dissertação. A planilha preenchida durante o trabalho de FMEA é demonstrada no Apêndice C. Após a realização do FMEA ficaram evidentes alguns itens na área do Laboratório III que mereciam uma atenção especial e eventuais ações corretivas.

O gráfico de Pareto demonstrado na Figura 20 apresenta os itens mais importantes segundo a escala de prioridades obtida durante a realização do FMEA. Com base nestes itens devem ser tomadas ações para, posteriormente, dar-se continuidade às atividades referentes ao projeto Seis Sigma.



Figura 20 Gráfico de Pareto elaborado com base nos valores obtidos do FMEA

Com base nos itens observados na priorização fornecida pelo FMEA, foi realizada uma reunião com os gerentes do processo e, a partir desta reunião, foram planejadas algumas ações, conforme apresentado no Quadro 6.

O que	Quem	Onde	Como	Por que	Quando	Situação
Aumentar eficiência dos viscosímetros	Supervisor do Laboratório	Labor. III	Fazer um Projeto de Experimentos (DOE) com o objetivo de avaliar a posição ideal que devem ser utilizados os termosensores que encontram-se hoje, instalados nos Viscosímetros Mooney.	Leitura ineficiente nos Viscosímetros	5/8/2002	Feito
Melhorar adequação ambiental do laboratório	Supervisor do Laboratório	Eng. Marcelo	Examinar em que posição encontra-se o processo de implantação de melhorias para o condicionamento do ar no Laboratório III.	Leitura ineficiente de VM	5/8/2002	Em andamento
Melhorar equivalência planta / laboratório	Supervisor do Laboratório	Administrativo	Aquisição de temporizadores que deverão ser instalados nos viscosímetros e no forno estacionário.	Leitura ineficiente de VM	30/8/2002	Feito
Revisar métodos utilizados	Supervisor do Laboratório	Labor. III	Instalação dos temporizadores velhos para o processo de resfriamento dos corpos de prova (relaxação).	Leitura ineficiente de VM	30/8/2002	Em andamento
Melhorar coagulação no laboratório III	Gerente de Produção	Administrativo	Solicitar o envio de fotos das instalações dos laboratórios da planta de outra unidade.	Leitura ineficiente de VM	15/8/2002	Feito
Melhorar coagulação no laboratório III	Supervisor do Laboratório	Administrativo	Definição das características técnicas e projetuais do novo sistema de coagulação, coagem e trituração de látex no Laboratório III.	Leitura ineficiente de VM		Em andamento
Compra de pHmetro	Gerente de Produção	Administrativo	Solicitação de informações a respeito do andamento da compra do pHmetro que deverá ser utilizado no processo de coagulação do Laboratório III.	Leitura ineficiente de VM		Cancelado
Revisar métodos utilizados	Gerente de Produção	Labor. III	Adoção de ventagem no Laboratório III, para os látex produzidos na linha C.	Leitura ineficiente de VM		Feito
Melhorar equivalência planta / laboratório	Gerente de Produção	Labor. III	Verificação da malha de vapor do secador estacionário do Laboratório III.	Leitura ineficiente de VM	10/8/2002	Feito

Quadro 6 Plano de ação, elaborado após a realização da fase Medir

4.3.7 Aspectos observados na fase Medir

O projeto acabou se revelando relativamente complexo, sobretudo pela sua dimensão. Já neste momento seria necessário desdobrá-lo em projetos menores. Ao final da fase Medir, o foco do projeto direcionou-se para a área de laboratório. Porém, era importante que os subsídios para a proposição desta mudança já tivessem sido realizados na fase Definir. Ainda, na possibilidade de direcionar as atividades do projeto para a área do laboratório, outros subprojetos poderiam paralelamente ser implementados nos outros pontos ligados à área de coagulação e acabamento. Em decorrência disto, o projeto pode ser prejudicado por soluções demasiadamente complexas e pelo possível atraso no cronograma do projeto. Estes aspectos confirmam as afirmações de Snee (2001) que, entre outras coisas, diz que projetos mais curtos permitem medidas dos resultados mais claras, permitem um melhor entendimento da importância do projeto para a organização e, permitem que o projeto seja mais facilmente apoiado e aprovado pela gerência. Ainda, projetos que possam durar mais de oito ou até doze

meses podem ser divididos em subprojetos de menor duração, sendo esses projetos conduzidos seqüencial ou simultaneamente.

As ferramentas usadas para priorização neste projeto poderiam ter sido substituídas por ferramentas mais simples de priorização. Cite-se, por exemplo, o Diagrama de Matriz e o Diagrama da Matriz de Priorização, sugerido por Dellaretti (1996).

Até este ponto do trabalho não havia sido implantado qualquer tipo de monitoramento dos níveis de variabilidade na diferença entre VM_{IN} e VM_{OUT} , que é foco do projeto. Isto pode configurar-se como um problema, já que os resultados baseados em dados quantitativos são assimilados com maior facilidade. Segundo Snee (2001), para o uso do Seis Sigma, são necessárias uma ou mais medições (indicadores) que quantifiquem a magnitude do problema e que possam ser usadas para dar partida ao projeto e monitorar seu progresso. Para ele, sem este tipo de atividade o projeto passa a correr o risco de não ter sucesso.

Até este momento o Seis Sigma ainda não havia amplamente sido divulgado dentro da empresa. Este é um aspecto de vital importância para o sucesso de um programa Seis Sigma. Conforme Erwin e Douglas (2000), se a empresa inteira estiver usando a mesma linguagem, a meta para a redução dos defeitos pode ser uniformemente aplicada a todas as atividades e fica mais fácil de ser atingida. Para Argyris (2000) as pessoas de todos os níveis da organização devem combinar conhecimento técnico e capacidade de trabalhar em grupo, devem refletir de forma crítica e atuarem efetivamente na mudança de suas próprias práticas organizacionais. Em última análise o projeto até este momento não demonstra estar inserido num contexto organizacional propício ao bom andamento do projeto.

4.4 FASE ANALISAR

Como decorrência das atividades de priorização realizadas na fase Medir o laboratório I, o laboratório II e o laboratório III foram considerados áreas críticas. Os itens viscosímetro, temperatura do corpo de prova, sistema de coagulação no laboratório III equivalência planta/laboratório e misturador de rolos, foram os principais itens priorizados após a realização do FMEA. Por decorrência de tais evidências várias atividades de análise foram desencadeadas nos laboratórios, destacando-se o laboratório III, o mais ligado ao processo produtivo.

Todos experimentos discutidos neste capítulo tiveram um intuito de avaliação de algum aspecto importante para o tema do projeto. Graças às características dinâmicas do método DMAIC, foi possível a realização dos experimentos em momentos distintos da implantação do projeto, o que, segundo Pande (2001), não se configura como um problema. Contudo, as datas dos experimentos não estão demonstradas aqui, embora as mesmas estejam apresentadas de acordo com a ordem cronológica que foram realizadas.

4.4.1 *Análise do sistema de medição*

4.4.2.1 Considerando Látex NBR 2860 e SBR 1502

Esta análise do sistema de medição foi realizada com o intuito de obter informações com relação a repetitividade e à reprodutibilidade (R&R) nas leituras de VM realizadas no Laboratório III, a partir do látex em estado aquoso. Os dados do estudo R&R foram comparados com o desvio histórico (R&R/DH) e com os limites de especificação (R&R/Toler.). Os resultados obtidos na ASM estão apresentados na Tabela 8.

Tabela 8 Resultados obtidos para a ASM considerando látex NBR 2860 e SBR 1502

	R&R	Toler.	R&R/Toler.	DH	R&R/DH
Borracha NBR 2860	6,799	20	34,00 %	10,0	13,20 %
Borracha SBR 1502	4,925	12	41,05 %	5,0	19,13 %

De acordo com os resultados obtidos, foi possível concluir que o sistema de medição era inadequado comparando-se com a tolerância (R&R/Toler.), para ambos os tipos de látex. Embora o R&R comparado com o desvio histórico (R&R/DH) seja aceitável (entre 10 e 20%) em ambos os casos, no momento em que a variação do processo for reduzida, como é o desejado, o sistema de medição passaria a ser inadequado.

4.4.2.2 Considerando Látex aquoso e Borracha Seca

Esta análise foi realizada com o intuito de detectar qual o desempenho do sistema de medição no laboratório III considerando o látex em estado aquoso ou como borracha seca. A análise de VM em látex aquoso e borracha seca foi feita num mesmo lote de SBR 1502,

realizado por dois operadores utilizando dois viscosímetros, com 3 repetições. Os dados para R&R foram comparados com o desvio histórico (R&R/DH) e com os limites de especificação (R&R/Toler.). Os resultados obtidos na ASM estão demonstrado na Tabela 9.

Tabela 9 Resultados obtidos para a ASM considerando látex aquoso e borracha

	R&R	Toler.	R&R/Toler.	DH	R&R/DH
Látex Aquoso	3,47	12	28,94 %	1,9	35,49 %
Borracha Seca	2,35	12	19,65 %	1,7	26,94 %

Os resultados apresentados na Tabela 9 demonstram que o sistema de medição do látex aquoso é inadequado quando comparado com a tolerância. No caso da borracha seca, o sistema de medição torna-se adequado para comparação com a tolerância R&R/Toler.. O R&R comparado com o desvio histórico (R&R/DH) não foi aceitável em ambos os tipos de látex.

4.4.2 Avaliação de VM em função da troca do rotor velho por um novo

No FMEA havia sido priorizado o uso de rotores velhos como possível causa na variabilidade das leituras. Estes rotores costumam ser trocados esporadicamente, correspondendo seu período de utilização a aproximadamente 30 meses, prazo este que estava quase expirando. Em face da priorização do item rotor, observado no FMEA, decidiu-se realizar a compra de um rotor para uma das máquinas e, durante sua instalação, realizar um experimento para detectar qual o comportamento da leitura de VM na nova situação.

O experimento foi realizado com dois fatores, tipo de borracha e idade do rotor, a dois níveis cada um. Foram feitas três repetições para cada tratamento. O fator tipo de borracha foi experimentado a dois níveis sendo eles, borracha Butílica e borracha SBR 1502. A borracha Butílica é comprada pela empresa para realização da aferição dos viscosímetros, de acordo com as exigências de normas internacionais. A borracha SBR 1502 é produzida em maior quantidade pela empresa. Os dois níveis experimentados para o fator idade do rotor foram rotor velho e rotor novo. Os resultados das leituras obtidas são apresentados na Tabela 10. Ao avaliar a diferença das variâncias entre níveis do fator idade do rotor nos dois tipos de borracha não foi observada uma diferença significativa entre nenhum dos tratamentos,

conforme pode ser observado pela Tabela 11 e pelo gráfico da Figura 21. O valor-p para a diferença entre as variâncias foi 0,971 segundo o teste de Levene, o qual aceita que o comportamento dados não seja exatamente de uma curva normal.

Tabela 10 Resultados obtidos durante realização do experimento nos rotores

	Butílica	SBR 1502
Velho	74,5	51,7
	74,5	51,9
	74,5	51,7
Novo	76,1	52,2
	75,9	52,3
	75,9	52,3

Tabela 11 Comportamento de VM considerando idade do rotor e tipo de borracha

	N	Média	Desvio padrão	Intervalo de confiança para desvio padrão	
				Limite sup.	Limite inf.
Novo × Butílica	3	75,967	0,115	0,051	1,458
Novo × SBR1502	3	52,267	0,057	0,025	0,729
Velho × Butílica	3	74,567	0,115	0,051	1,458
Velho × SBR 1502	3	51,767	0,115	0,051	1,458

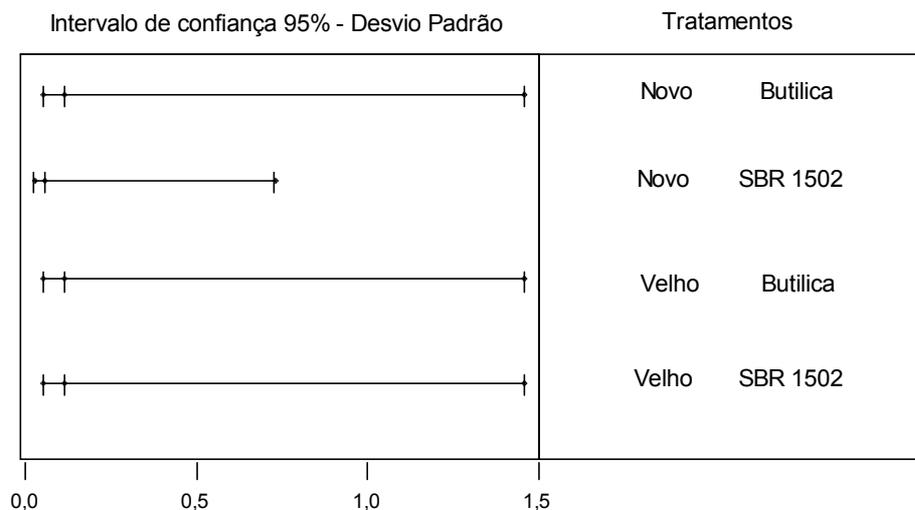


Figura 21 Variabilidade de VM considerando idade do rotor e tipo de borracha

4.4.3 Avaliação de VM em função da pressão usada nos viscosímetros

Com o objetivo de aumentar a eficiência dos viscosímetros, foi levantada a possibilidade de que a pressão exercida pelos viscosímetros sobre os corpos de prova fosse uma possível causa na variabilidade nas leituras de VM. Até então, esta possibilidade não havia sido encarada como causa de variabilidade para a obtenção de VM. Em face de tais aspectos decidiu-se realizar um experimento para detectar qual o comportamento da leitura de VM, quando imprimida uma variação da pressão de compressão sobre os corpos de prova no viscosímetro. O experimento foi realizado com dois fatores: tipo de borracha e nível de pressão. Cada um dos fatores foi experimentado a dois níveis. Para tipo de borracha foram experimentados a borracha Butílica e a borracha SBR 1502. Para o nível de pressão foram usados os níveis 50 psi e 80 psi. Foram feitas três repetições para cada tratamento. Os resultados das leituras obtidas são apresentados na Tabela 12.

Tabela 12 Resultados obtidos durante realização do experimento

	Butílica	SBR 1502
50 psi	74,5	51,7
	74,5	51,9
	74,7	51,7
80 psi	75,4	52,8
	75,5	53,4
	75,4	52,8

Tabela 13 Comportamento de VM considerando pressão e tipo de borracha

	N	Média	Desvio padrão	Intervalo de confiança para desvio padrão	
				Limite sup.	Limite inf.
50 psi × Butílica	3	74,567	0,115	0,051	1,458
50 psi × SBR1502	3	51,767	0,115	0,051	1,458
80 psi × Butílica	3	75,433	0,058	0,025	0,729
80 psi × SBR 1502	3	53,000	0,346	0,153	4,375

A diferença entre as variâncias para pressão aplicada nos dois níveis do fator tipo de borracha não mostrou diferença significativa, conforme pode ser observado pela Tabela 13 e pelo gráfico da Figura 22. O valor-p para a diferença entre as variâncias foi 0,733 segundo o

teste de Levene, o qual aceita que o comportamento dados não seja exatamente de uma curva normal.

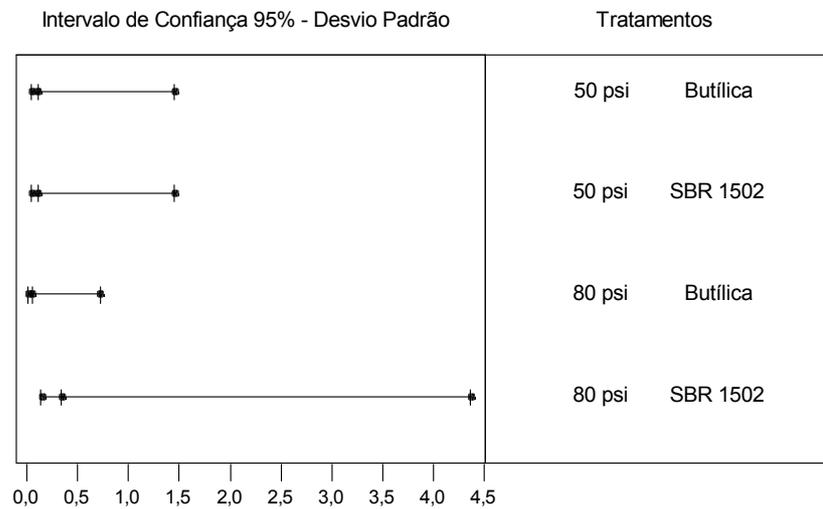


Figura 22 Variabilidade de VM considerando pressão e tipo de borracha

4.4.4 Avaliação de VM em função da temperatura do látex e do operador

O objetivo deste experimento é avaliar se há diferença significativa para leitura de VM obtida por diferentes operadores. No mesmo experimento objetivou-se detectar em que nível de temperatura do látex ocorre a menor variabilidade das medições de VM. Foram analisados dois fatores, temperatura a quatro níveis e operador a dois níveis, com quatro repetições para cada tratamento. As leituras obtidas são apresentados na Tabela 14.

Tabela 14 Resultados obtidos durante realização do experimento para avaliar a temperatura ótima do látex

	10°C	20°C	30°C	40°C
Operador 1	76,3	78,0	80,5	79,5
	79,2	80,8	80,2	81,4
	79,1	81,3	80,4	80,2
	80,2	81,4	80,2	82,0
Operador 2	76,3	77,5	80,6	80,3
	79,3	80,7	79,5	80,4
	77,0	80,0	79,2	81,3
	81,1	80,2	81,0	81,4

Através da ANOVA apresentada na Tabela 15 foi possível notar que a diferença na média das leituras de VM entre operadores não é significativa. Para temperatura, pelo menos um dos níveis observados possui uma leitura nas médias de VM significativamente diferente.

Tabela 15 Análise de Variância para DOE para avaliar a temperatura ótima do látex

	GL	SQ	MSQ	F	P
Operador	1	0,75	0,75	0,41	0,528
Temperatura	3	21,75	7,25	3,96	0,020
Operador*Temperatura	3	0,74	0,25	0,13	0,938
Erro	24	43,91	1,83		
Total	31	67,15			

Após os resultados observados na Tabela 15, foi feita a análise dos dados de temperatura para avaliar em que temperatura a variância é significativamente diferente e qual o nível de temperatura com a menor variabilidade. Para isso usou-se uma análise dos dados objetivando avaliar que variâncias são significativamente diferentes. A análise foi feita aos pares e resultou nos valores-p apresentados no Tabela 16. Valores-p menores ou iguais a 0,05 apontam os níveis de temperatura que apresentam variâncias significativamente diferentes.

Tabela 16 Valores de Valor-p obtidos nos testes para iguais variâncias aos pares

	20 °C	30 °C	40 °C
10 °C	0,589	0,008	0,058
20 °C	-	0,028	0,159
30 °C	-	-	0,377
40 °C	-	-	-

Pelos resultados demonstrados na Tabela 16 foi possível concluir que os valores de VM não são significativamente diferentes entre os seguintes níveis de temperatura: 10°C e 20°C, 20°C e 40°C e, 30°C e 40°C. Entre as temperaturas de 10°C e 30°C, 10°C e 40°C e, 20°C e 30°C existe uma diferença significativa entre as variabilidades. Um gráfico Boxplot é apresentado na Figura 23 com o comportamento de VM para os diferentes níveis de temperatura.

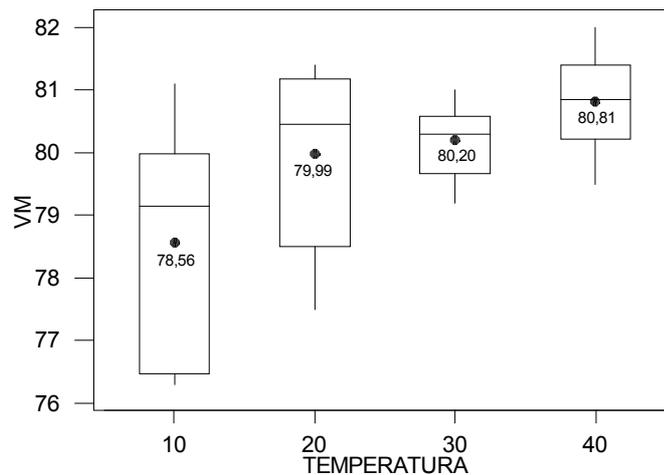


Figura 23 Comportamento de VM para os diferentes níveis de temperatura

Através da observação das variabilidades presentes em cada nível de temperatura procurou-se então determinar um nível ótimo para utilização da temperatura das amostras de látex. As médias e níveis de variabilidade podem ser observados na Tabela 17.

Tabela 17 Comportamento de VM para os diferentes níveis de temperatura do látex

	N	Média	Desvio Padrão	Mediana	1°. Quartil	3°. Quartil
VM 10°C	8	78,56	1,81	79,15	76,47	79,97
VM 20°C	8	79,99	1,47	80,45	78,50	81,17
VM 30°C	8	80,20	0,59	80,30	79,67	80,57
VM 40°C	8	80,81	0,83	80,85	80,22	81,40

Estes resultados apontaram que o látex coagulado no laboratório apresenta menor variabilidade nos valores de Mooney se for conservado a uma temperatura próxima de 30°C. Portanto, cada vez que um látex for experimentado deverá estar à temperatura de 30°C.

4.4.5 *Influência da posição do termosensor na obtenção de VM*

4.4.6.1 Primeiro experimento

O objetivo deste experimento foi avaliar a diferença entre as variabilidades de VM para diferentes posições do termosensor no viscosímetro. Ao mudar o termosensor do centro

do prato inferior do viscosímetro para a borda deste prato suspeitava-se que os valores de VM obtidos nas leituras fossem afetados. O experimento foi realizado com dois fatores, posição do termosensor a dois níveis e tipo de borracha a três níveis. Para o termosensor, os dois níveis experimentados foram borda do prato e centro do prato. Para o tipo de borracha, os três níveis experimentados foram SBR 1502, NBR 2860 e Butílica. Foram feitas cinco repetições para cada tratamento. Os resultados das leituras obtidas são apresentados na Tabela 18.

Tabela 18 Resultados obtidos durante realização do 1º experimento para diferentes posições do termosensor

	SBR 1502	NBR 2860	Butílica
Borda prato	59,8	56,6	76,0
	59,1	57,2	76,0
	59,6	56,6	75,9
	59,2	56,7	76,2
	59,5	57,1	76,1
Centro prato	58,6	55,8	74,8
	59,0	55,8	74,6
	58,4	55,7	74,5
	58,7	55,9	74,3
	58,2	56,0	74,4

Conforme pode ser observado na Tabela 19 para os três tipos de borracha, as variâncias não são significativamente diferentes nas duas posições do termosensor. Logo, não há evidências suficientes para concluir que exista efeito da posição do termosensor.

Tabela 19 Resultados obtidos no teste para variâncias para diferentes posições do termosensor

	Desvio Padrão	Variância	Teste para Variâncias Valor-p
SBR 1502 × Borda	0,288	0,083	0,923
SBR 1502 × Centro	0,303	0,092	
NBR 2860 × Borda	0,288	0,083	0,100
NBR 2860 × Centro	0,114	0,013	
Butílica × Borda	0,114	0,013	0,335
Butílica × Centro	0,192	0,037	

Na Tabela 20 são apresentados a média e variabilidade para os seis tratamentos experimentados.

Tabela 20 Comportamento de VM considerando posição do termosensor e tipo de borracha

	N	Média	Desvio padrão	Intervalo de confiança para desvio padrão	
				Limite sup.	Limite inf.
SBR 1502 × Borda	5	59,44	0,288	1,327	0,147
SBR 1502 × Centro	5	58,58	0,303	1,397	0,155
NBR 2860 × Borda	5	56,84	0,288	1,327	0,147
NBR 2860 × Centro	5	55,84	0,114	0,525	0,058
Butílica × Borda	5	76,04	0,114	0,525	0,058
Butílica × Centro	5	74,52	0,192	0,886	0,098

Na Figura 24 o intervalo de confiança de 95% para as variâncias referentes aos diferentes tratamentos.

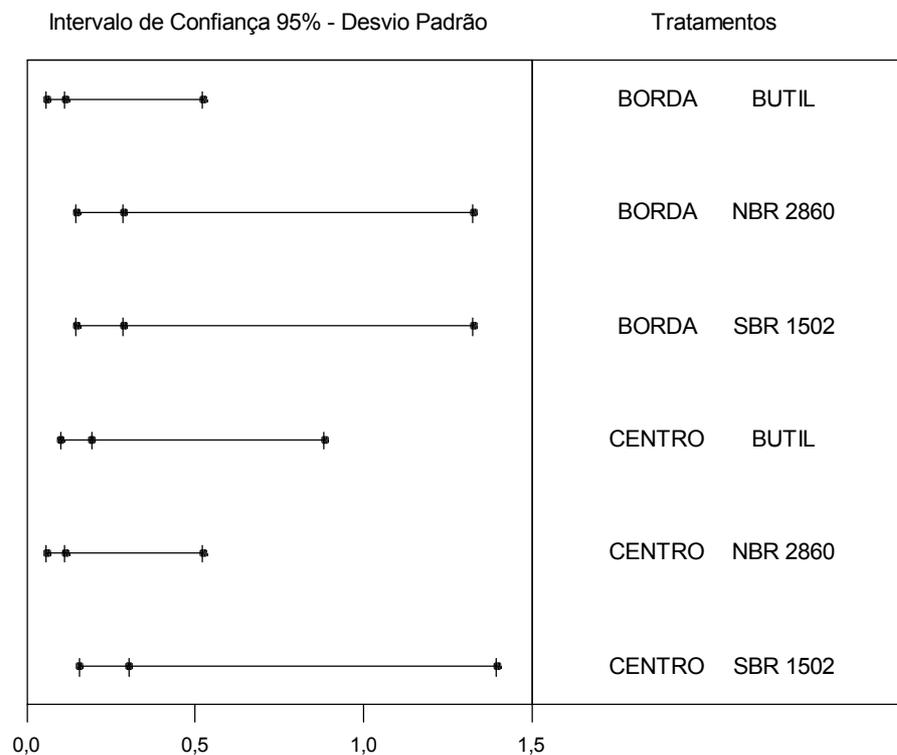


Figura 24 Variabilidade de VM considerando posição do termosensor e tipo de borracha

4.4.6.2 Segundo experimento

O objetivo deste experimento foi fazer uma avaliação mais aprofundada da variabilidade de VM, quando é mudada a posição do termosensor da borda do prato inferior do viscosímetro para a borda deste prato.

O experimento foi realizado com o fator posição do termosensor a dois níveis. Foram feitas dez repetições para cada nível. Os resultados das leituras obtidas são apresentados na Tabela 21.

Tabela 21 Resultados obtidos durante realização do 2º experimento para diferentes posições do termosensor

	Borda prato	Centro prato
SBR 1502	50,9	49,9
	51,1	49,3
	50,9	49,5
	51,0	49,1
	51,2	49,8
	51,0	49,5
	50,9	49,6
	51,1	49,9
	50,9	49,6
	50,8	50,0

As variâncias não podem ser consideradas iguais, para SBR 1502, quando muda-se o termosensor da borda do prato inferior do viscosímetro para o centro, conforme vista na Tabela 22. Observando-se o desvio padrão para as diferentes posições é possível definir a borda do viscosímetro como o local mais adequado para a utilização do termosensor.

Tabela 22 Variabilidade e o valor-p para diferentes tratamentos

	Desvio Padrão	Variância	Teste para Variâncias Valor-p
SBR 1502 × Borda	0,122	0,015	0,019
SBR 1502 × Centro	0,285	0,081	

4.4.6 *Aspectos observados na fase Analisar*

Ao apresentar a aplicação do método DMAIC no setor de coagulação de látex algumas ocorrências puderam ser constatadas.

Através das análises do sistema de medição, onde foi utilizado látex aquoso, observou-se que o sistema não é adequado em relação à tolerância. Em relação ao desvio histórico do processo o sistema mostrou-se adequado, contudo é possível que sistema de medição torne-se inadequado com uma eventual otimização do processo após o projeto. Foi também observada uma sensível diferença entre a variabilidade existente entre as leituras com látex em estado aquoso e as leituras com borracha seca, sendo que as leituras a partir de borracha seca apresentaram uma variabilidade menor.

A troca dos rotores não mostrou ser significativa para a redução da variabilidade nas leituras obtidas no Laboratório III. No caso da variação da pressão utilizada nos viscosímetros, também não houve diferença entre as variabilidades.

Em função dos experimentos com diferentes temperaturas de látex decidiu-se por estabelecer que o látex aquoso deveria ser mantido à temperatura de 30°C ao ser ensaiado. Para tanto, será usado um banho térmico que consiste em deixar os recipientes com as amostras de látex em um recipiente maior com água à temperatura constante de 30°C. Após a realização dos experimentos, também ficou decidido que o termosensor utilizado nos viscosímetro deveria ser utilizado na borda do prato do equipamento, pois esta configuração mostrou ser a melhor opção objetivando-se a redução da variabilidade na obtenção de VM.

Com relação aos fatores críticos para o sucesso, alguns aspectos são cabíveis de serem observados. O Laboratório III, por exemplo, tem uma rotina de trabalho bastante sistematizada. Os operadores sabem o que está sendo produzido, sabem quantas medidas devem fazer e quais as quantidades diárias de amostras que devem ser analisadas. Alterações sutis na rotina destes operadores costumam ser detectadas facilmente por eles. Este fato, possivelmente, acabou prejudicando os resultados dos experimentos, onde possivelmente o efeito dos operadores não foi representativo da realidade.

Alguns dos experimentos que foram realizados separados poderiam ter sido realizados juntos. Por decorrência disso, alguns resultados podem ter sido prejudicados, já que dessa forma não estimou-se alguns efeitos das interações entre fatores.

Algumas análises estatísticas poderiam ser realizadas durante o projeto com o intuito de enriquecer o mesmo em termos de informações.

Os experimentos apresentados na fase Analisar não estavam ligados com ações sistemáticas de melhorias no processo, embora até tenham ajudado na realização de eventuais mudanças.

4.5 FASE MELHORAR

Como é típico no método DMAIC, muitas melhorias sugeridas pelo projeto foram feitas mesmo antes da fase Melhorar.

A facilidade e custo baixo de algumas melhorias permitiram que algumas destas fossem realizadas ao final da fase Medir, o que poderia eventualmente antecipar ganhos. Algumas melhorias foram feitas em outros momentos do projeto, imediatamente após a realização dos experimentos.

Uma das atividades realizadas nesta fase do projeto foi a revisão do FMEA. Nesta revisão aqueles itens que haviam sido priorizados durante a fase Medir tiveram suas pontuações de Ocorrência, Severidade e Detecção revistas. O objetivo era apreciar se os itens priorizados realmente levaram a melhorias efetivas ou se necessitariam passar por novas intervenções e análises.

O resultado da revisão do FMEA é apresentado no Apêndice D. Nele constam apenas aqueles grupos de itens que haviam sido priorizados durante a fase Medir.

As ações propostas foram apresentadas em um plano de ação de acordo com o formato da ferramenta 5W1H. Neste plano de ação não estão contemplados os custos das melhorias. Este plano de ação foi discutido pelos integrantes da equipe de projeto, momento no qual foram avaliados os prazos para conclusão das melhorias previstas.

Dentre as melhorias presentes no plano de ação podem ser observadas aquelas que foram propostas por decorrência dos experimentos realizados no Laboratório III. O plano de ação proveniente do preenchimento do 5W1H é demonstrado no Quadro 7.

O que	Quem	Onde	Como	Por que	Quando	Situação
Aumentar eficiência dos viscosímetros	Supervisor do Laboratório	Laboratório III	Implantar rotina de monitoramento do tempo de vida dos rotores dos viscosímetros e ensaios periódicos para detecção da necessidade de troca	Rotores não tinham histórico sobre tempo para troca	01/03/03	Em andamento
	Supervisor do Laboratório	Laboratório III	Melhorar sistema de circulação do ar comprimido utilizado no Laboratório III e implantar manutenção preventiva para o sistema	Não havia controle da pressão usada nos viscosímetros	31/03/03	Em andamento
	Gerente de Produção	Administrativo	Implantar Cartas de Controle para os valores de PX por viscosímetro	Leitura ineficiente de VM	02/03/03	Em andamento
Padronizar a temperatura do látex analisado no Labor. III	Supervisor do Laboratório	Laboratório III	Adotar banho térmico para manter o nível de temperatura ótimo observado no experimento	VM muda em função da temperatura do látex	10/12/02	Concluído
Melhorar adequação ambiental do laboratório	Supervisor do Laboratório	Eng. Marcelo	Examinar em que posição encontra-se o processo de implantação de melhorias para o condicionamento de ar no laboratório III	Leitura ineficiente de VM	31/03/03	Em andamento
Melhorar coagulação no laboratório III	Gerente de Produção	Administrativo	Definição das características técnicas projetuais do novo sistema de coagulação, coagem e trituração de látex no laboratório III	Leitura ineficiente de VM	31/03/03	Em andamento
Compra de pHmetro	Supervisor do Laboratório	Administrativo	Compra do pHmetro que deverá ser utilizado no processo de coagulação do Laboratório III	Leitura ineficiente de VM	02/03/03	Em andamento

Quadro 7 Plano de ação elaborado após a realização da fase Melhorar

4.5.1 Aspectos observados na fase Melhorar

Um fator crítico para o sucesso de um projeto Seis Sigma é que as melhorias sejam realizadas subsidiadas por dados quantitativos. Ainda, é interessante que os ganhos do projeto em termos financeiros estejam claros para a organização, sobretudo para a alta administração. Em função destes aspectos seria interessante que as ações apresentadas no plano de ação fossem abordadas também em termos financeiros.

O fato de as ações terem sido tomadas no decorrer do projeto confirma a característica dinâmica do DMAIC. Ou seja, o DMAIC pode ser abordado como um método cíclico onde suas fases podem ser revistas várias vezes dentro de um mesmo projeto.

Tanto as melhorias, quanto os ganhos poderiam passar por um amplo processo de divulgação e documentação, fatores que auxiliariam na disseminação do conhecimento e na não recorrência de erros nos próximos projetos desenvolvidos na empresa. A divulgação poderia ser usada como meio para efetivação das melhorias que estavam contempladas no 5W1H.

4.6 FASE CONTROLAR

No início da fase Controlar foi feita uma reflexão com relação ao andamento do projeto. Com base nesta atividade foi montado um novo cronograma demonstrando os prazos que eram previstos para o projeto (indicados no Quadro 8 por P), e as datas quando realmente foram realizadas as atividades durante o mesmo (indicados no Quadro 8 por R).

		2002										2003								
		MAR	ABR	MAI	JUN	JUL	AGO	SET	OUT	NOV	DEZ	JAN	FEV	MAR						
DEFINIR	P	█																		
	R	█																		
MEDIR	P		█	█	█	█														
	R		█	█	█	█	█	█	█	█										
ANALISAR	P				█	█	█	█	█	█										
	R				█	█	█	█	█	█	█	█								
MELHORAR	P				█	█	█	█	█	█	█									
	R						█	█	█	█	█	█	█	█	█	█	█	█	█	█
CONTROLAR	P										█	█	█	█	█	█	█	█	█	█
	R										█	█	█	█	█	█	█	█	█	█

Quadro 8 Cronograma previsto para a realização do projeto

O cronograma foi cumprido relativamente dentro dos prazos previstos, especialmente nas fases iniciais do projeto. Contudo, a idéia inicial era que todas as melhorias já tivessem sido implantadas até a primeira quinzena de outubro de 2002, restando para os meses seguintes apenas o monitoramento e manutenção dos resultados. Algumas melhorias, no entanto, estavam pendentes ainda na primeira quinzena de março de 2003. Em função deste fato, a fase Controlar foi de certa forma prejudicada. Apesar disso, ainda foi possível buscar dados históricos que pudessem refletir qual comportamento da área de coagulação e acabamento de látex após a realização das melhorias previstas no projeto Seis Sigma.

Na Figura 25 é possível observar os dados de redirecionamento de lotes no período de janeiro a dezembro de 2002. Grande parte da produção de borracha é do tipo SBR 1502. Por isso, optou-se por demonstrar separadamente o redirecionamento de lotes em dois indicadores, um indicador contemplando apenas a borracha SBR 1502 (linha grossa na figura) e, outro contemplando esta e os demais tipos de borracha juntos (linha fina na figura). É possível perceber o quanto a borracha SBR 1502 é importante para a empresa em termos de

quantidade, uma vez que o comportamento da mesma determina também o comportamento geral das borrachas produzidas pela empresa.

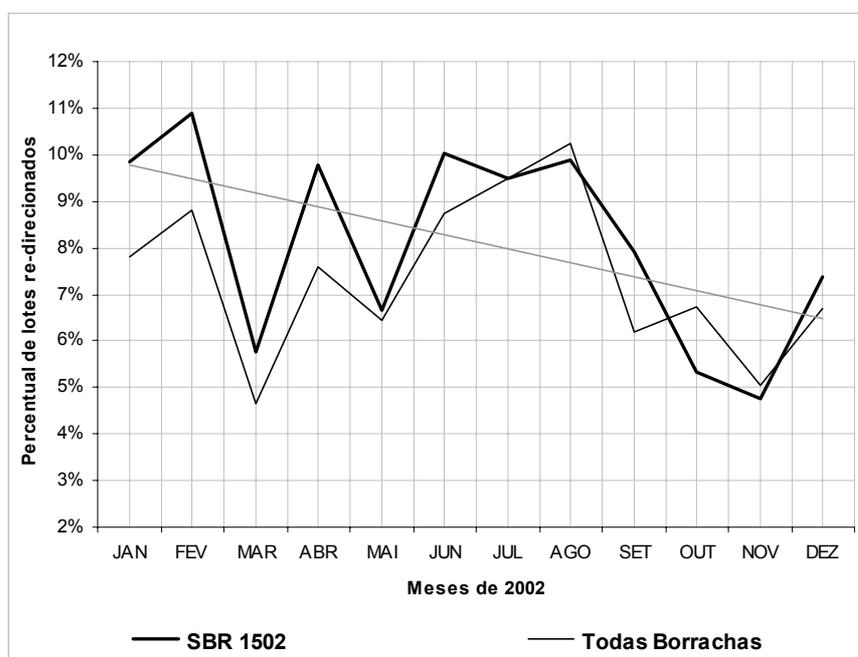


Figura 25 Redirecionamento de lotes observado durante o ano de 2002

É possível perceber no gráfico da Figura 25 que existe no período analisado uma tendência à diminuição do número de lotes de borracha redirecionados pela área de coagulação e acabamento de borracha. Pelo comportamento destes dados foi possível notar, embora não de forma definitiva, uma possível influência do projeto na redução da variabilidade existente entre a VM na entrada da área de coagulação e acabamento (VM_{IN}) e na saída deste processo (VM_{OUT}). Estes resultados podem ser usados como justificativa para a efetividade do projeto Seis Sigma que foi tema desta dissertação.

4.6.1 Aspectos observados na fase Controlar

Durante a implantação do presente trabalho observou-se a falta de um indivíduo com a função de transferência da metodologia de implantação de projetos Seis Sigma aos membros da equipe de projeto. Destaca-se aqui o caso do *brainstoming* onde, por exemplo, um facilitador deveria trabalhar com atividades de dinâmica de grupo.

Ao final do projeto ficou evidenciada uma redução no número de lotes redirecionados. Este fato demonstrou uma eficácia do projeto, ou seja, a previsibilidade na VM realmente vinha sendo melhorada. Contudo, o projeto não mostrou ser eficiente em termos de eliminação de problemas e efetivação das melhorias já que as melhorias não foram totalmente alcançadas dentro dos prazos previstos no cronograma do projeto.

Ao observar os fatores críticos para o sucesso do projeto é possível notar alguns aspectos relevantes na fase Controlar. O mais relevante é a deficiência no levantamento e monitoramento dos dados desde o início do projeto. A observação do comportamento dos dados referentes ao redirecionamento de lotes, por exemplo, poderia ter servido desde o início do projeto como um elemento balizador do quanto os trabalhos estavam sendo efetivos na obtenção dos objetivos.

Foi observado ao final do projeto um atraso no cronograma para as etapas finais do DMAIC. Este atraso pode ser atribuído à falta de uma agenda clara para o desenvolvimento do projeto, bem como, a determinação do papel de cada um dos agentes que deveriam atuar no desenvolvimento do projeto. Também, o tamanho do projeto pode ter levado ao atraso no cronograma, visto que o problema tratado durante a fase Medir já revelava-se demasiadamente complexo para a execução nos prazos estipulados.

Conforme afirma Wingenborn (1990), um programa Seis Sigma deve transportar a linguagem da qualidade da produção para o resto da empresa, fazendo com que cada indivíduo sinta-se parte do processo de busca do nível de qualidade em direção ao zero defeito. Neste sentido, o controle dos dados e a possibilidade de visualizar as melhorias obtidas por decorrência da implantação do projeto poderia ter sido usado como elemento motivador para os funcionários da área, já que estes participaram do projeto em atividades como o *brainstorming* e durante a realização os experimentos. Ao sentir-se parte dos resultados, os funcionários poderiam entender a importância e os conceitos envolvidos por trás de um programa Seis Sigma.

CAPÍTULO 5

CONCLUSÃO

Esta dissertação apresentou a implantação de um projeto Seis Sigma no setor de coagulação de látex e acabamento de borracha, em uma indústria petroquímica. O processo de implantação do projeto foi relatado e analisado desde suas fases iniciais até os resultados obtidos.

O objetivo específico de **apresentar as fases de implantação do método DMAIC** foi contemplado no capítulo 3.

Ao **discutir a relação entre o método DMAIC e o método PDCA** foi possível observar que, o DMAIC não pode ser considerado um método realmente novo ou diferente frente ao PDCA. O método DMAIC também é composto pelas bases do método científico e pela premissa de que as ações devem ser tomadas com base em evidências comprovadas por dados quantitativos, o que coincide com as premissas do PDCA. No entanto, o DMAIC aborda o planejamento de forma mais enfática, o que auxilia para que os projetos de melhoria apresentem uma possibilidade maior de sucesso.

Durante a fase Melhorar do DMAIC sugere-se que as melhorias sejam realizadas utilizando análises que sustentem a sua efetividade. No PDCA isto não é verificado, restringindo-se a etapa ação apenas às ações previstas.

Observou-se ainda que, pelo fato do DMAIC estar estreitamente ligado ao surgimento do Seis Sigma e ser considerado tão novo quanto ele, existe uma possibilidade de utilização deste método como elemento motivador de sucesso. Além disso este método possui uma acentuada ênfase na observação das características críticas para o cliente e na medição destas características. Esses aspectos não eram observados com igual intensidade na utilização do PDCA.

O objetivo de **apresentar a aplicação do método DMAIC em um setor de coagulação de látex de uma indústria petroquímica e apresentar os resultados obtidos**, foi contemplado no capítulo 4. As principais conclusões foram:

Através das análises do sistema de medição, onde foi utilizado látex aquoso, observou-se que o sistema não era adequado em relação à tolerância. Em relação ao desvio histórico do processo o sistema mostrou-se adequado, contudo notou-se que o sistema de medição se tornaria inadequado com uma eventual otimização do processo após o projeto. Foi também observada uma sensível diferença entre a variabilidade existente entre as leituras com látex em estado aquoso e as leituras com borracha seca, sendo que, as leituras a partir de borracha seca apresentaram uma variabilidade menor.

Alguns itens, embora priorizados durante a fase Medir, não demonstraram serem realmente críticos para o problema de variabilidade de VM na área de coagulação e acabamento. A idade dos rotores dos viscosímetros e a pressão utilizada nestes equipamentos não mostraram serem significativos para a redução da variabilidade nas leituras obtidas no Laboratório III.

Através dos experimentos foi possível tomar algumas ações de melhoria como, por exemplo, decidiu-se implantar um sistema de banho térmico para as amostras de látex. Este banho térmico consiste em deixar os recipientes com as amostras de látex em um recipiente maior com água, à temperatura constante de 30°C, para que todas as amostras sejam ensaiadas na mesma temperatura. Outro exemplo foi a utilização do termosensor de cada viscosímetros na borda do prato do equipamento.

Ao final do projeto ficou evidenciada uma redução no número de lotes redirecionados. O projeto demonstrou eficácia uma vez que a previsibilidade na VM realmente foi melhorada. Contudo, o projeto não mostrou ser eficiente em termos de eliminação de problemas e efetivação das melhorias, já que as melhorias não foram totalmente alcançadas dentro dos prazos previstos no cronograma do projeto.

Ao **discutir os fatores críticos de sucesso para cada fase do DMAIC, considerando juntamente elementos da aprendizagem organizacional**, alguns aspectos puderam ser observados. Foi possível observar que durante a fase Definir é importante que o papel dos agentes envolvidos no projeto Seis Sigma esteja bem claro. Neste estudo em

específico o comprometimento da equipe ficou prejudicado pois faltou a caracterização desta equipe como um time, e do diretor da empresa como um indivíduo que exerce o trabalho de cobrança e apoio às ações durante o projeto.

Durante a fase definir não foi definida uma agenda de atividades de forma clara para as atividades do grupo durante a implementação do projeto. A não utilização deste tipo de artifício, unindo-se a este a falta de determinação clara de qual deveria ser o papel dos agentes no projeto, pôs em risco já no início do projeto o andamento dos trabalhos pela equipe. Estas evidências acabaram sendo confirmadas no decorrer do projeto quando a fase Melhorar e a fase Controlar sofreram atraso no seu cronograma.

O projeto Seis Sigma abordado neste trabalho mostrou ser relativamente grande. Por isso, o mesmo deveria ser desdobrado em projetos menores, se possível, já na fase Definir. Por decorrência disto a solução do projeto acabou revelando-se demasiadamente complexa para que ações de melhoria fossem implantadas de forma efetiva. Ainda, em decorrência da complexidade do projeto o cronograma do mesmo acabou sendo prejudicado.

O uso e o monitoramento de indicadores mostrou ser importante e, possivelmente até imprescindível para o bom andamento de um projeto e o alcance de resultados. Um projeto precisa ser monitorado desde sua concepção até sua conclusão por indicadores, fato não ocorrido durante o projeto em questão. O projeto demonstrou que os dados quantitativos na comprovação da evolução das melhorias, caso contrário, as conclusões correm o risco de não mostrarem a real influência do programa Seis Sigma no alcance de melhorias na organização.

Através do presente trabalho observou-se que é importante para o desenvolvimento dos primeiros projetos Seis Sigma que exista um indivíduo com a função de transferência da metodologia de implantação destes projetos aos participantes do programa Seis Sigma.

Um programa como o Seis Sigma não pode ter sua implantação embasada essencialmente no desenvolvimento de projetos. No caso do trabalho apresentado nesta dissertação o desenvolvimento de projetos não foi acompanhado por atividades objetivando a absorção de conhecimento sobre o programa Seis Sigma através de toda a organização. A realização de projetos de sucesso pode servir como elemento motivador do pessoal na organização, contudo, o entendimento por toda a organização do que consiste trabalhar com o

Seis Sigma é essencial para o sucesso deste programa. Logo, a empresa deveria ter investido mais em treinamentos durante a implantação do projeto.

É necessário para a realização dos projetos Seis Sigma que sejam usados artifícios objetivando eliminar a perda do foco por parte da equipe, durante os projetos. No projeto abordado nesta dissertação não foi feita a utilização de cronogramas, datas limites para cada fase do DMAIC e metas definidas para o atendimento das necessidades dos clientes, meios estes que poderiam ter sido bons artifícios para reduzir a perda de foco por da equipe de projeto.

Neste projeto, especificamente, foi observada uma forte influência dos operadores nas causas de variabilidade nos laboratórios, devido às características dos produtos produzidos pela empresa. Num processo com tais características exige-se um cuidado adicional com capacitação e sensibilização dos funcionários. Idealmente, a implantação de um programa Seis Sigma é feita capacitando-se todas as pessoas na organização.

5.1 SUGESTÕES PARA TRABALHOS FUTUROS

O presente trabalho utilizou-se da implantação de um projeto Seis Sigma como meio para avaliar os fatores críticos de sucesso durante a aplicação do DMAIC. Um próximo trabalho de pesquisa poderia ser realizado no formato de um estudo de caso e, utilizando-se da análise da implantação de mais de um projeto para novas conclusões com relação ao método DMAIC.

A pesquisa que originou esta dissertação foi realizada no setor de coagulação e acabamento de látex, em uma indústria petroquímica. Em virtude da diversidade existente para os diferentes tipos de processos produtivos químicos, sugere-se que num trabalho futuro seja feito o estudo mais abrangente dos fatores críticos para o DMAIC em diferentes processos químicos.

Na presente dissertação foram usados os conceitos da Aprendizagem Organizacional para subsidiar as observações apresentadas no decorrer da implantação de um projeto Seis Sigma. Como sugestão para um trabalho futuro poderia realizar-se uma pesquisa

discutindo como a utilização dos conceitos da Aprendizagem Organizacional pode auxiliar na implantação de um programa Seis Sigma.

Neste trabalho não foi discutido em profundidade que modelo de Aprendizagem Organizacional estaria mais adequadamente relacionado com o Seis Sigma. Neste sentido, um trabalho futuro que tenha por objetivo explorar e discutir este tema, poderia ser realizado.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

AGUIAR, Silvio. *Integração das ferramentas da qualidade ao PDCA e ao programa Seis Sigma*. Belo Horizonte: Editora de Desenvolvimento Gerencial, 1 ed., 2002.

ARGYRIS, Chris. Ensinando pessoas inteligentes a aprender. p.185-203 *in*: HOWARD, Robert; DRUCKER, Peter; STALK, George; NONAKA, Ikujiro; ARGYRIS, Chris; [et al.]. *Aprendizado organizacional: gestão de pessoas para a inovação contínua*. Rio de Janeiro: Campus, 2000.

BASU, Ron. *Six Sigma to fit sigma*. IIE Solutions, v. 33, n. 7, July 2001.

BREYFOGLE, Forrest W., MEADOWS, Becki. *Bottom-line Success with Six Sigma*: Define key process output variables and their effects on the cost of poor quality. *Quality Progress*. v. 34, n. 5, p. 101-104, mai. 2001.

CAMPOS, Vicente F. *TQC – Controle da qualidade total*. Belo Horizonte: Editora de Desenvolvimento Gerencial, 7 ed., 1999.

CHALLENGER, Cynthia. *Six Sigma*: Can the GE model work in the chemical industry?. *Chemical Market Reporter*, v. 260, n. 3, p. 6-10, July 2001.

DAHLGAARD, Su M. P. *The evolution of patterns of quality management*: some reflections on the quality movement. *Total Quality Management*, v. 10, n. 3&5, p. 473-480, 1999.

DELLARETTI, Osmário D. *As sete ferramentas da qualidade*. Belo Horizonte: Fundação Christiano Ottoni, Escola de Engenharia da UFMG, 1 ed., 1996.

ECKES, George. *A revolução Seis Sigma*: o método que levou a GE e outras empresas a transformar processos em lucros. Rio de Janeiro: Campus, 2 ed., 2001.

ERWIN, Jane; DOUGLAS, P. C. *It's not difficult to change company culture*. *Supervision*. v. 61, n. 11, p. 6-11, Jan. 2000.

FINGER, Matthias; BRAND, Silvia B. Conceito de “organização de aprendizagem” aplicado à transformação do setor público: contribuições conceituais ao desenvolvimento da teoria. p.165-195 *in*: EASTERBY-SMITH, Mark; BURGOYNE, John; ARAUJO, Luis. *Aprendizagem organizacional e organização de aprendizagem*. São Paulo: Atlas, 2001.

FREITAS, Marta A.; COLOSIMO, Enrico A. **Confiabilidade**: análise de tempo de falha e testes de vida acelerados. Belo Horizonte: Fundação Christiano Ottoni, Escola de Engenharia da UFMG, 1 ed., 1997.

GARVIN, David A. **Gerenciando a qualidade**: a visão estratégica e competitiva. Rio de Janeiro: Qualitymark, 1 ed., 1992.

GIL, Antonio C. **Como elaborar projetos de pesquisa**. São Paulo: Atlas, 3 ed., 1991.

HARRY, Mikel J. **Abatement of business risk is key to Six Sigma**. Quality Progress, v. 33, n. 7, p. 72-76, July 2000.

HARRY, Mikel J. **Six Sigma**: a breakthrough strategy for profitability. Quality Progress. v. 31, n. 5, p. 60-64, mai. 1998.

HELMAN, Horácio; ANDERY, Paulo R. P. **Análise de falhas**: aplicação dos métodos de FMEA e FTA. Belo Horizonte: Fundação Christiano Ottoni, Escola de Engenharia da UFMG, 1 ed., 1995.

HILD, Cheryl; SANDERS, Doug; COOPER, Tony. **Six Sigma on continuous processes**: how and why it differs. Quality Engineering. v. 13, n. 1, p. 1-9, 2000-01.

JURAN, Joseph M.; GRZYNA, Frank M. **Controle da qualidade**: métodos estatísticos clássicos aplicados à qualidade. São Paulo: McGraw-Hill, v. 7, 1993.

JURAN, Joseph M.; GRZYNA, Frank M. **Controle da qualidade**: métodos estatísticos clássicos aplicados à qualidade. São Paulo: McGraw-Hill, v. 6, 4 ed., 1992.

MAGUIRE, Miles. **Cowboy quality**: Mikel Harry's riding tall in the saddle as Six Sigma makes its mark. Quality Progress. v. 32, n. 10, p. 27-34, out. 1999.

MIGUEL, Paulo A. C. **Quality movement continues growth in Brazil**. Quality Progress, v. 35, n. 2, p. 70-73, 2002.

MONTGOMERY, Douglas C. **Design and analysis of experiments**. New York: John Wiley & Sons, 5 ed., 2001.

MONTGOMERY, Douglas C. **Introduction to Statistical Quality Control**. New York: John Wiley & Sons, 4 ed., 2000.

NAVE, Dave. **How to compare Six Sigma, Lean and the Theory of Constraints**: a framework for choosing what's best for your organization. Quality Engineering. v. 35, n. 3, p. 73-78, mar. 2002.

NEUSCHELER-FRITSCH, Debbie; NORRIS, Robert. **Capturing financial benefits from Six Sigma**. Quality Progress, v. 34, n. 5, p. 39-44, May 2001.

PANDE, Peter S.; NEUMAN, Robert P.; CAVANAGH, Roland R. **Estratégia Seis Sigma**: como a GE, a Motorola e outras grandes empresas estão aguçando seu desempenho. 1 ed. Rio de Janeiro: Qualitymark, 2001.

PEARSON, Thomas A. *Measure for Six Sigma success: Combining measurement science with Six Sigma builds organization wisdom, big business advantages*. Quality Progress. v. 34, n. 2, p. 35-40, feb. 2001.

PEREZ-WILSON, Mario. *Seis Sigma: compreendendo o conceito, as implicações e os desafios*. Tradução de Bazán Tecnologia e Linguística. Rio de Janeiro: Qualitymark, 1 ed., 1999.

RASIS, Dana; GITLOW, Howard S.; POPOVICH, Edward. *Paper organizers international: a fictitious Six Sigma Green Belt case study. I*. Quality Engineering. v. 15, n. 1, p. 127-145, 2002-03.

RIBEIRO, José L. D.; CATEN, Carla S. *Controle Estatístico do Processo - Apostila de Curso*. Programa de Pós Graduação em Engenharia de Produção. Escola de Engenharia. Porto Alegre: UFRGS, 2001a.

RIBEIRO, José L. D.; CATEN, Carla S. *Projeto de Experimentos na Otimização de Produtos e Processos – Apostila do Curso*. Programa de Pós Graduação em Engenharia de Produção. Escola de Engenharia. Porto Alegre: FEENG/UFRGS, 2001b.

ROTONDARO, Roberto G. *Seis Sigma: estratégia para a melhoria de processos, produtos e serviços*. São Paulo: Editora Atlas, 1 ed., 2002.

SANDERS, Doug; HILD, Cheryl. *A discussion of strategies for Six Sigma implementation*. Quality Engineering. v. 12, n. 3, p. 303-309, 2000.

SANTOS, Antônio Raimundo; PACHECO, Fernando Flávio; PEREIRA, Heitor José; BASTOS Jr, Paulo Alberto. Gestão do conhecimento como modelo empresarial. p.11-48 in: SANTOS, Antônio Raimundo; [et al.]. *Gestão do conhecimento: uma experiência para o sucesso empresarial*. Curitiba: Champagnat, 2001.

SAUER, Pamela. *Six Sigma and the botton line*. Chemical Market Reporter, v. 260, n. 3, p. 10, 2001.

SENGE, Peter M. *A Quinta Disciplina: Arte, Teoria e Prática da Organização de Aprendizagem*. São Paulo, Best Seller, 2002.

SNEE, Ronald D. *Dealing with the Achilles' Heel of Six Sigma initiatives: Project selection is key to success*. Quality Progress. v. 34, n. 3, p. 66-72, mar. 2001.

SPIEGEL, Murray R. *Estatística*. Tradução e revisão técnica Pedro Consentino São Paulo: Makron Books, 3 ed., 1993.

STURION, Wagner. *Até onde o Seis Sigma alcança...*. Banas Qualidade. n. 130, dez. 2002.

THIOLLENT, Michel. *Pesquisa-ação nas organizações*. São Paulo: Editora Atlas, 1 ed., 1997.

TREICHLER, David; CARMICHAEL, Ronald; KUSMANOFF, Antone; LEWIS, John; BERTHIEZ, Gwendolyn. *Design for Six Sigma: 15 lessons learned*. Quality Progress. v. 35, n. 1, p. 33-42, july 2002.

WERKEMA, Maria C. C. *Avaliação da qualidade de medidas*. Belo Horizonte: Fundação Christiano Ottoni, Escola de Engenharia da UFMG, 1 ed., 1996c.

WERKEMA, Maria C. C. *Criando a Cultura Seis Sigma*. Rio de Janeiro: Qualitymark, 1 ed., 2002.

WERKEMA, Maria C. C. *Ferramentas estatísticas básicas para o gerenciamento de processos*. Belo Horizonte: Fundação Christiano Ottoni, Escola de Engenharia da UFMG, 1 ed., 1995.

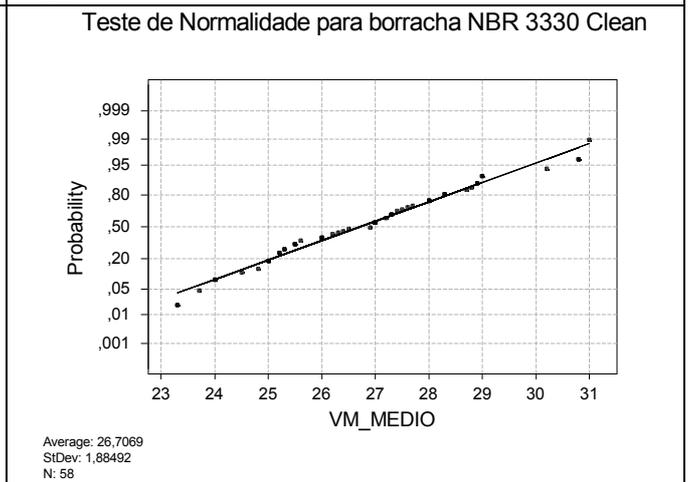
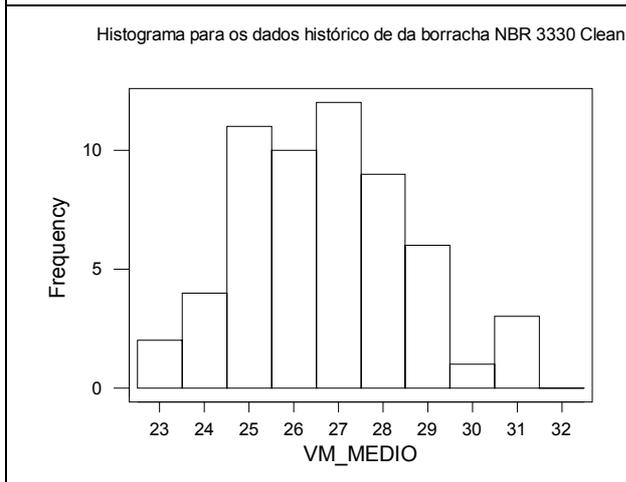
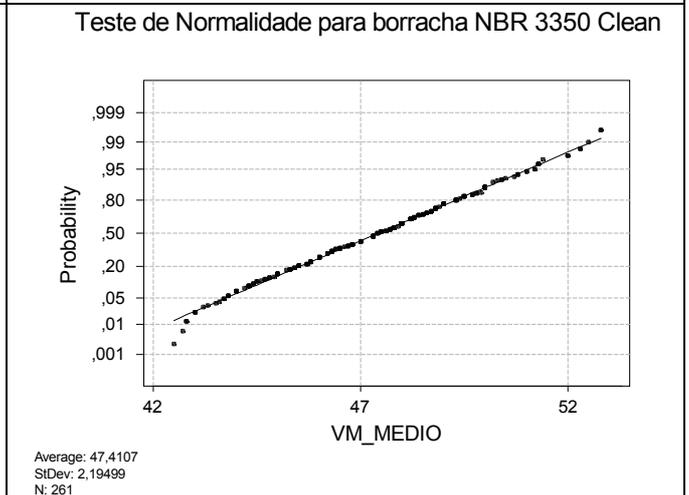
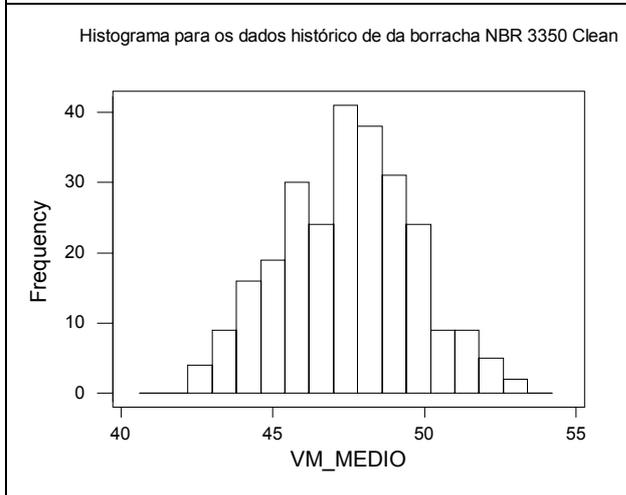
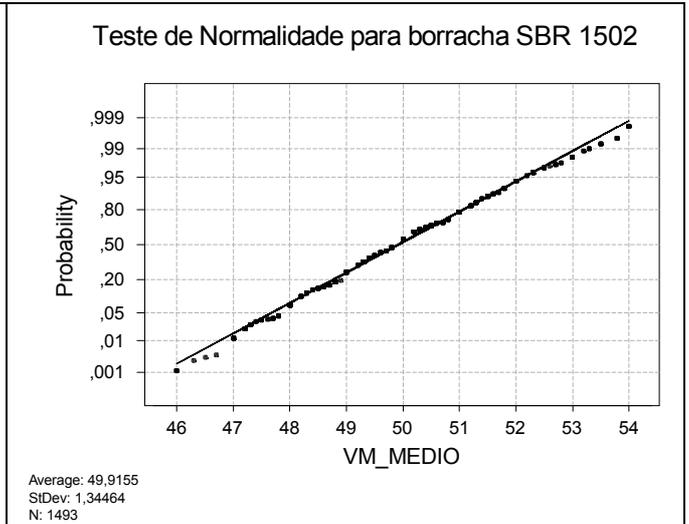
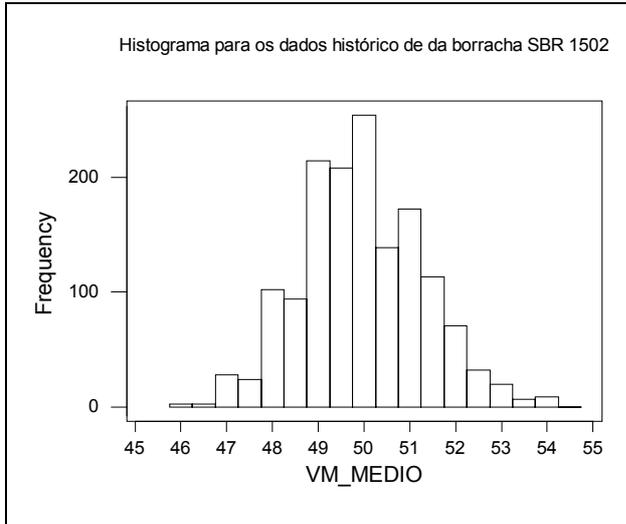
WERKEMA, Maria C. C.; AGUIAR, Sílvio. *Otimização estatística de processos*: como determinar a condição de operação de um processo que leva ao alcance de uma meta de melhoria. Belo Horizonte: Fundação Christiano Ottoni, Escola de Engenharia da UFMG, 1 ed., 1996a.

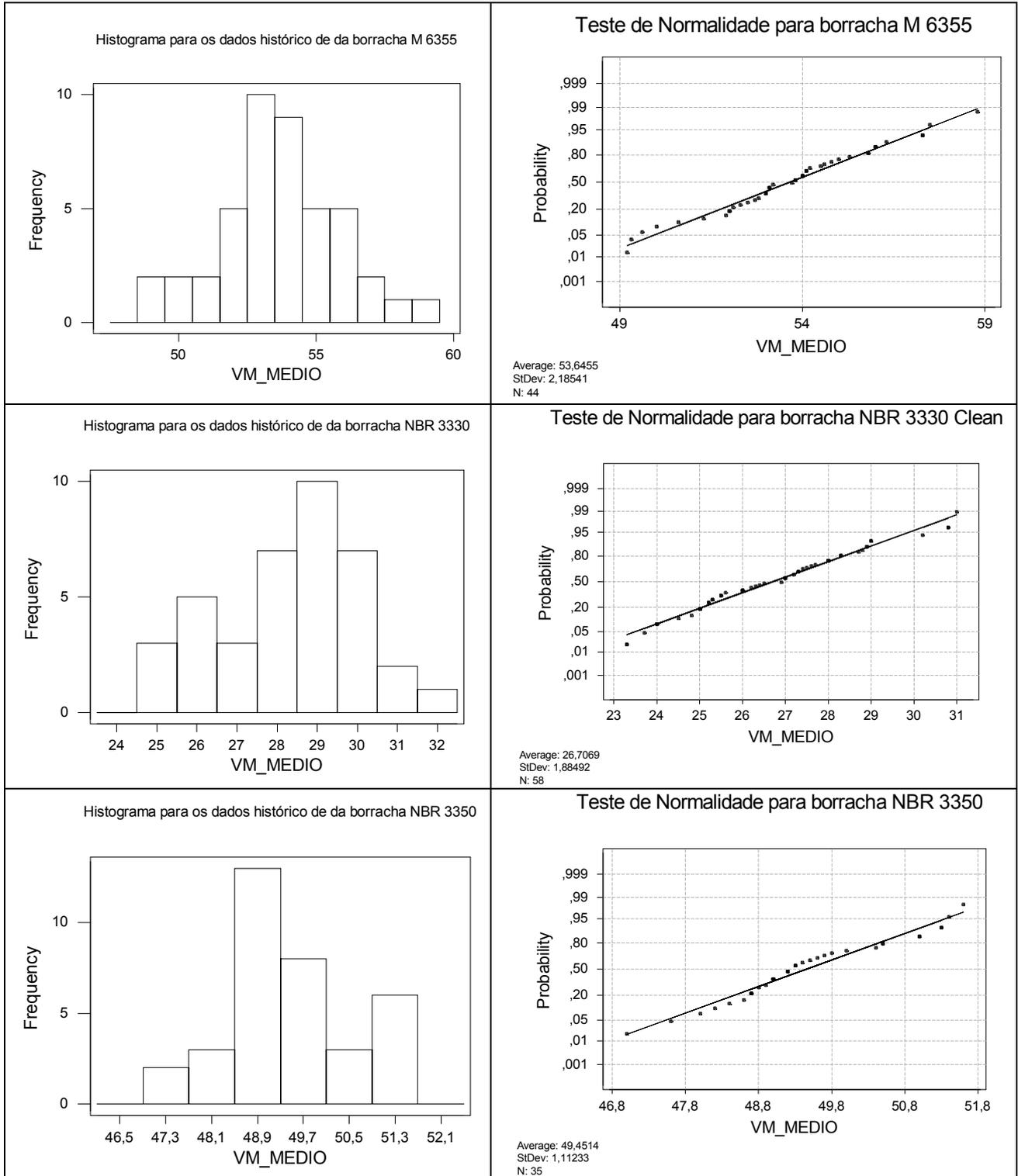
WERKEMA, Maria C. C.; AGUIAR, Sílvio. *Planejamento e análise de experimentos*: como identificar as principais variáveis influentes em um processo. Belo Horizonte: Fundação Christiano Ottoni, Escola de Engenharia da UFMG, 1 ed., 1996b.

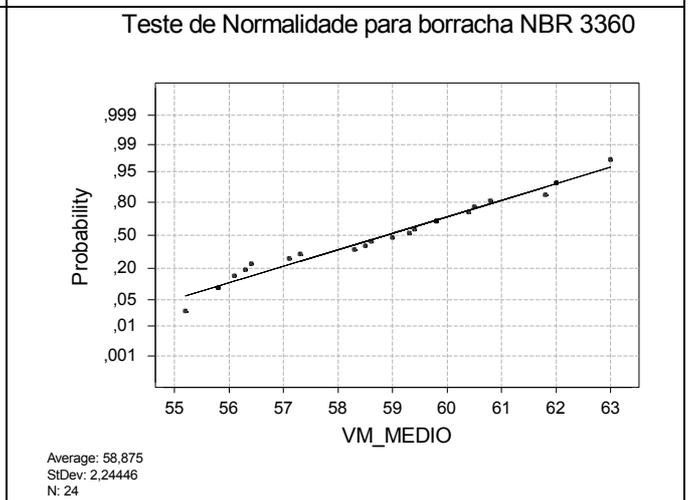
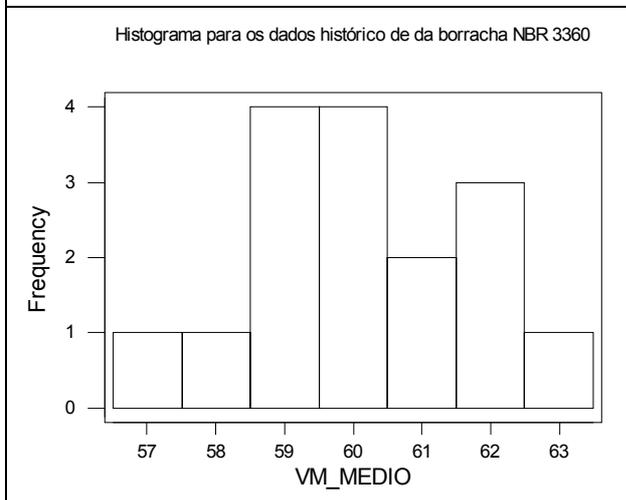
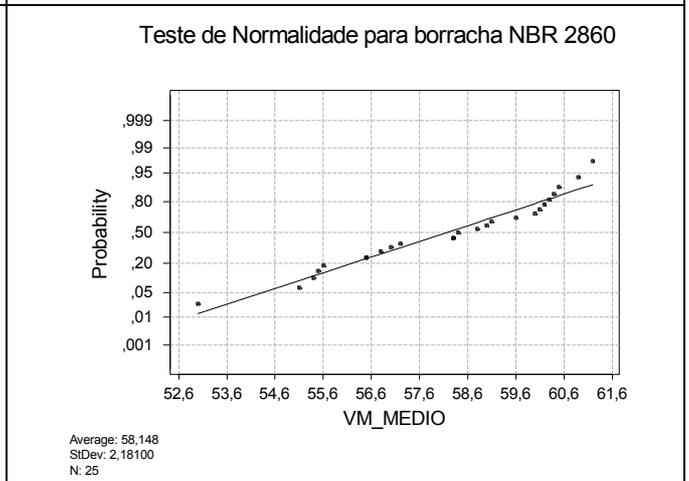
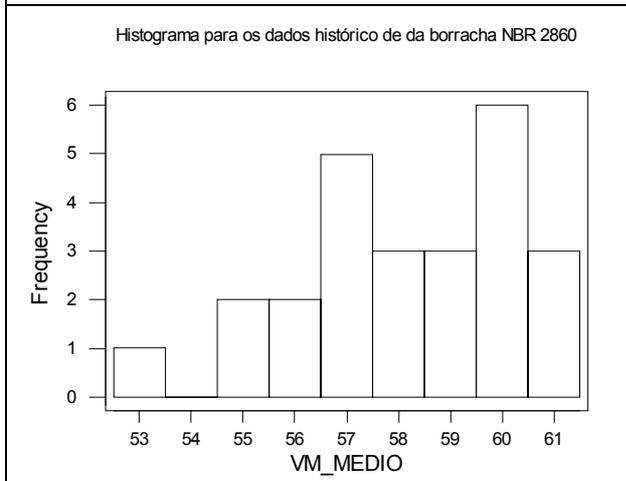
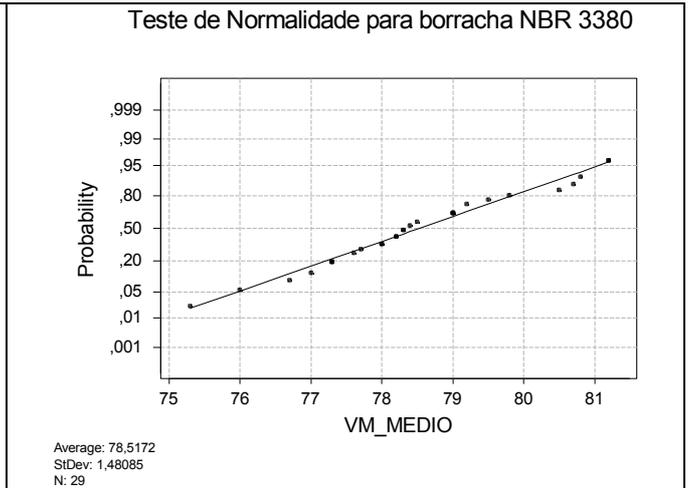
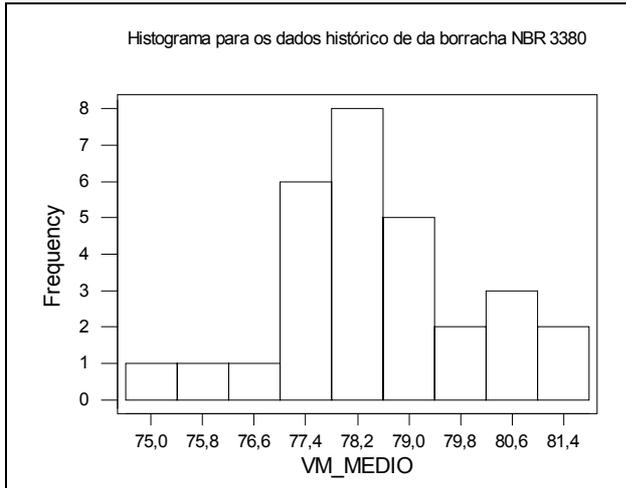
WIGGENBORN, Willian. A universidade Motorola: quando o treinamento se transforma em educação. p.245-266 *in*: HOWARD, Robert [et al.] *Aprendizado organizacional*: gestão de pessoas para a inovação contínua. Rio de Janeiro: Campus, 2000.

APÊNDICE A

Neste apêndice é demonstrado o comportamento dos dados históricos de VM para os tipos de borracha produzidos pela empresa.







APÊNDICE B

Neste apêndice é apresentado um mapa do processo em um formato alternativo.

X's Entradas	Etapas do Processo	Y's Saída
Dosagem de potassa no látex Delta Mooney do látex	RECEBIMENTO DO LÁTEX NOS TANQUES Recebe o látex do emissário provindo da mistura	
Equivalência planta/laboratório Controle de Ph na área 22 Dosagem de potassa no látex Sistema de coagulação na área 22 Viscosímetros Temperatura do corpo de prova Temperatura da amostra de látex Delta Mooney do látex Precisão da leitura no viscosímetro Temperatura do misturador de rolos pH do látex Preparo de soluções Dosagem de A.O. com fenol na área	ANÁLISE DO LÁTEX Obtém no laboratório da área Coagulação de Acabamento a VM nos tanques	i viscosidade Mooney Teórico (VM _T)
Adição no TQ 2502 Delta Mooney do látex	ADIÇÃO DE LÁTEX NO Tanque Adiciona proporções de látex do tanque para obter VM desejado (VM _I)	i Sólidos Totais (ST)
Equivalência planta/laboratório Controle de pH na área Dosagem de potassa no látex Sistema de coagulação na área Viscosímetros Temperatura do corpo de prova Temperatura da amostra de látex Equivalência entre Mistura e Coag./Acab. Adição no Tanque Delta Mooney do látex Precisão da leitura no viscosímetro Temperatura do misturador de rolos pH do látex Preparo de soluções Dosagem de A.O. com fenol na área	ANÁLISE DO LÁTEX Análise com o objetivo de definir se a VM está dentro dos valores previstos em VM _I (VM _{IN})	i viscosidade Mooney de Liberação (VM _L)
Controle de pH no vaso W Medição de sólidos totais no látex Dosagem do anti oxidante na área Tempo de residência no vaso W Temperatura de coagulação na área Controle de pH no vaso Y Medição da vazão de coagulação Abertura da D.U. pH do látex Saturação da água mãe Residual de acrilonitrila pH da coagulação	COAGULAÇÃO Através da adição de espécies químicas provoca-se a coagulação do látex	i Grumos com tamanho uniforme i Residual de NaOH

Continua...

Continuação

X's Entradas	Etapas do Processo	Y's Saída
Regularidade da camada	SECAGEM O látex em grumos passa pelo forno de esteiras para retirada de matéria volátil (MV)	e Matéria Volátil
Perfil de temperatura no secador		
Equivalência planta/laboratório	ANÁLISE DA BORRACHA SECA Examina VM da borracha (VM_{OUT}) para avaliar se ela está na especificação desejada	viscosidade Mooney da Borracha Seca (VM _{OUT})
M.V. heterogêneo na área		
Viscosímetros		
Temperatura do corpo de prova		
Equivalência entre Mistura e Coag./Acab.		
Precisão da leitura no viscosímetro		
Temperatura do misturador de rolos		
Residual de soda no vaso X – NBR		
M.V. heterogêneo na coagulação e no acabamento	ACABAMENTO A borracha é prensada, cortada em fardos, embalada e encaixotada	Peso dos fardos
		Aspecto visual

APÊNDICE C

Este apêndice apresenta a tabela de FMEA de Processo elaborada na fase Medir do DMAIC, antes da implantação das melhorias previstas para o projeto.

FMEA DE PROCESSO	Data de confecção : 25 / 04 / 2002	Pessoas envolvidas : Carlos, Lemos, Flávio, Luis, Luciano, Samuel
	Revisão anterior : 25 / 04 / 2002	Coordenação : Luis e Carlos
	Última versão : 30 / 04 / 2002	Responsável : Carlos

Item do Processo (Entrada)	Modo de Falha Potencial	Efeito Potencial	S	Causa Potencial Modo de Falha	O	Controles Atuais	D	RPN	Ação Recomendada
Viscosímetro	Temperatura fora de faixa	Leitura incorreta VM	8	Abertura da termo-resistência	4	Indicador digital	3	96	
				Defasagem do controle de temperatura	1	Indicador digital	9	72	
				Temperatura ambiente inadequada	4	Condicionador de ar	8	256	Relocar condicionadores de ar
				Falta de tempo para estabilizar temperatura	7	Controle do operador	9	504	Adocao de identificacao paralela e intertravamento
				Varição na massa da amostra	2	Balança digital	1	16	
				Controle inadequado da temperatura (sensor)	8	Indicação em paralelo num viscosímetro	8	512	Adocao de identificacao paralela e intertravamento
	Pressão fora de faixa	Leitura incorreta VM	8	Ajuste inadequado	2	Regulador de pressão / PI	7	112	
				Erro de indicação de pressão	1	Aferição do PI	7	56	
				Varição na pressão do ar	1	Regulador de pressão	7	56	
	Desgaste do rotor	Leitura incorreta VM (baixa)	8	Tempo de uso	1	Aferição do viscosímetro	1	8	
				Limpeza inadequada	2	Procedimento operacional	1	16	
	Equipamento sujo	Leitura incorreta VM	8	Frequência de limpeza inadequada	4	Aferição do viscosímetro	1	32	
	Viscosímetro descalibrado	Leitura incorreta VM	8	Limpeza inadequada	4	Aferição do viscosímetro	4	128	
				Desgaste no sistema de transmissão	4	Aferição do viscosímetro	4	128	
				Sistema da célula de carga com problemas	4	Aferição do viscosímetro	4	128	
Tempo incorreto no temporizador	Leitura incorreta de VM	8	Toque acidental no temporizador	7	Aferição do viscosímetro	4	224	Colocação de capas de proteção	
			Defeito no relé	2	Aferição do viscosímetro	4	64		

Continua...

Continuação

Item do Processo (Entrada)	Modo de Falha Potencial	Efeito Potencial	S	Causa Potencial Modo de Falha	O	Controles Atuais	D	RPN	Ação Recomendada
	Excesso de celofane no corpo de prova	Leitura incorreta de VM	4	Folhas grudadas	5	N existe	8	160	Confirmar efeito
Equivalência planta/laboratório	Diferença no MV	Diferença no VM	8	Tamanho de grumos	6	Visual	8	384	Buscar correlacoes apos revisao metodos utilizados
				Método de secagem	6	Procedimento e sistema	8	384	Buscar correlacoes apos revisao metodos utilizados
				Alvo de MV na área de coagulação	6	Programação de produção	8	384	Buscar correlacoes apos revisao metodos utilizados
	Diferença no pH de coagulação	Coagulação incompleta	8	Falha na medição no Labor. III	6	Fita	8	384	Compra de pHmetro
	Diferença no tipo de AO	Diferença no VM	5	Procedimento	2	Procedimento e sistema	8	80	
	Uso de salmoura	Diferença no VM	6	Procedimento	2	Procedimento e sistema	8	96	
	Uso de metanol	Diferença no VM	6	Procedimento	2	Procedimento e sistema	8	96	
	Uso de água-mãe	Diferença no VM	6	Procedimento	2	Procedimento e sistema	8	96	
Temperatura da amostra de látex	Temperatura variável	Coagulação não homogênea	8	Pontos de coleta variados	8	N existe	8	512	Estender controle de temp. para outros latices
				Tempo entre coleta e análise	8	N existe	8	512	Estender controle de temp. para outros latices
Sistema de coagulação no Laboratório III	Coagulação incompleta	Variação no VM	8	Agitação	8	Visual	8	512	Confecção de um novo copo para coagulação
				PH	8	Fita	8	512	Compra de pHmetro
				Salmoura	4	Dosagem por proveta	1	32	
				AO mais metanol	4	Dosagem por proveta	1	32	
				Temperatura da coagulação	8	N existe	8	512	Estender controle de temp. para outros latices
				Presença de monômeros	6	Odor e aspecto	6	288	Sistema de ventagem no Laboratório III
				Sólidos totais baixos	4	Medição de sólidos	4	128	
	Tamanho de grumo grande	Variação na MV (MV alto)	8	Agitação	8	Visual	8	512	Confecção de um novo copo para coagulação
				PH	8	Fita	8	512	Compra de pHmetro
				Salmoura	4	Dosagem por proveta	1	32	
				AO mais metanol	4	Dosagem por proveta	1	32	

Continua...

Continuação

Item do Processo (Entrada)	Modo de Falha Potencial	Efeito Potencial	S	Causa Potencial Modo de Falha	O	Controles Atuais	D	RPN	Ação Recomendada
				Temperatura da coagulação	8	N existe	8	512	Estender controle de temp. para outros latices
				Presença de monômeros	6	Odor e aspecto	6	288	Sistema de ventagem no Laboratório III
				Sólidos totais baixos	4	Medição de sólidos	4	128	
				Trituração	8	Visual	8	512	Trituração intermediária
Temperatura do corpo de prova	Temperatura alta	Leitura incorreta VM (baixa)	8	Temperatura ambiente inadequada	4	Condicionador de ar	8	256	Adequacao ambiental
				Procedimento (tempo de descanso)	8	N existe	8	512	Revisar métodos utilizados atualmente
	Temperatura baixa	Leitura incorreta VM (alta)	8	Temperatura ambiente inadequada	4	Condicionador de ar	8	256	Adequacao ambiental
				Procedimento (tempo de descanso)	8	N existe	8	512	Revisar métodos utilizados atualmente
Misturador de rolos	Temperatura baixa	Diferença no VM	8	Falta de vapor / excesso de água	8	Manual / TI	6	384	Adocao de termostatizador
	Temperatura alta	Diferença no VM	8	Excesso de vapor / falta de água	8	Manual / TI	6	384	Adocao de termostatizador
	Velocidade de rotação	Diferença no VM	8	Sistema de acoplamento	2	Tacômetro	6	96	
	Abertura entre rolos	Diferença no VM	8	Ajuste incorreto	2	Dial	6	96	
Agitação no tanque de mistura	Tempo insuficiente	Varição de VM dentro do lote / VM _{IN}	10	Tempo limitado p/ confecção lote	4	Procedimento / Registros EO	1	40	
	Falha mecânica	Varição de VM dentro do lote / VM _{IN}	10	Desgaste do equipamento	1	Manutenção preventiva	1	10	
				Desgaste do equipamento	1	Inspeção visual e de ruído	1	10	
				Acumulo de borracha	1	Inspeção visual	1	10	
Residual de soda na coagulação	Residual desoda excessivo	Excesso de sabão	7	Falha no controle de pH	1	Frequência de aferição	7	49	
				Temp. baixa força redução de WC	7	Malha de controle de WC	1	49	
				Falta de WC	1	N existe	7	49	
		Queda na VM	10	Falha no controle de pH	1	Frequência de aferição	7	70	
				Temp. baixa força redução de WC	7	Malha de controle de WC	1	70	
				Falta de WC	1	N existe	7	70	

Continua...

Continuação

Item do Processo (Entrada)	Modo de Falha Potencial	Efeito Potencial	S	Causa Potencial Modo de Falha	O	Controles Atuais	D	RPN	Ação Recomendada
Tempo residência na coagulação	Tempo excessivo	Ácido orgânico baixo	7	Parada de linha	1	Instrução de processo / segregação	1	7	
				Partida de linha, sistema vazio	4	N existe	4	112	
		Excesso de sabão	7	Parada de linha	1	Instrução de processo / segregação	1	7	
				Partida de linha, sistema vazio	4	N existe	4	112	
M.V. na área de coagulação	Heterogeneidadena área de coagulação	Variação de VM dentro do lote	10	Altura da camada	1	Inspeção visual	4	40	
				Regularidade da camada	4	Inspeção visual	4	160	
				Temperatura de secagem	4	Malha de controle	1	40	
				VM baixo	7	Programação de produção	1	70	
	MV alto	Queda de VM	10	Abertura da desumidif. além necessário	4	Indicação	4	160	
				Temperatura de secagem	1	Malha de controle	1	10	
				Descontrole de vazão	7	Malha de controle	2	140	
	MV baixo	Elevação de VM	7	Parada com secador cheio	1	N existe	1	7	
				Temperatura de secagem	1	Malha de controle	1	7	
				Descontrole de vazão	1	Malha de controle	4	28	
Abertura da desumidificadora	Muito aberta	Queda de VM	7	Troca de tipo	4	Procedimento	1	28	
				Vazão de produção alta	4	Programação de produção	1	28	
	Muito fechada	Aumento de VM	7	Troca de tipo	4	Procedimento	1	28	
				Vazão de produção baixa	4	Programação de produção	1	28	

APÊNDICE D

Este apêndice apresenta a tabela de FMEA de Processo elaborada na fase Controlar do DMAIC, após a implantação das melhorias previstas para o projeto.

FMEA DE PROCESSO	Data de confecção : 25 / 04 / 2002	Pessoas envolvidas : Carlos, Lemos, Flávio, Luis, Luciano
	Revisão anterior : 25 / 04 / 2002	Coordenação : Luis e Carlos
	Última versão : 17 / 01 / 2003	Responsável : Carlos

Item do Processo (Entrada)	Modo de Falha Potencial	Efeito Potencial	S	Causa Potencial Modo de Falha	O	Controles Atuais	D	RPN	Ação Recomendada	S	O	D	RPN	
Viscosímetro	Temperatura fora de faixa	Leitura incorreta VM	8	Abertura da termo-resistência	4	Indicador digital	3	96						
				Defasagem do controle de temperatura	1	Indicador digital	9	72						
				Temperatura ambiente inadequada	4	Condicionador de ar	8	256	Relocar condicionadores de ar	8	4	8	256	
				Falta de tempo para estabilizar temperatura	7	Controle do operador	9	504	Adoção de identificação paralela e intertravamento	8	2	9	144	
				Variação na massa da amostra	2	Balança digital	1	16						
				Controle inadequado da temperatura (sensor)	8	Indicação em paralelo num viscosímetro	8	512	Adoção de identificação paralela e intertravamento	8	2	8	128	
	Pressão fora de faixa	Leitura incorreta VM	8	Ajuste inadequado	2	Regulador de pressão / PI	7	112						
				Erro de indicação de pressão	1	Aferição do PI	7	56						
				Variação na pressão do ar	1	Regulador de pressão	7	56						
	Desgaste do rotor	Leitura incorreta VM (baixa)	8	Tempo de uso	1	Aferição do viscosímetro	1	8						
				Limpeza inadequada	2	Procedimento operacional	1	16						
	Equipamento sujo	Leitura incorreta VM	8	Frequência de limpeza inadequada	4	Aferição do viscosímetro	1	32						
	Viscosímetro descalibrado	Leitura incorreta VM	8	Limpeza inadequada	4	Aferição do viscosímetro	4	128						
				Desgaste no sistema de transmissão	4	Aferição do viscosímetro	4	128						
				Sistema da célula de carga com problemas	4	Aferição do viscosímetro	4	128						
	Tempo incorreto no temporizador	Leitura incorreta de VM	8	Toque acidental no temporizador	7	Aferição do viscosímetro	4	224	Colocação de capas de proteção					
				Defeito no relé	2	Aferição do viscosímetro	4	64						
	Excesso de celofane no corpo de prova	Leitura incorreta de VM	4	Folhas grudadas	5	N existe	8	160	Confirmar efeito					
	Equivalência planta/laboratório	Diferença no MV	Diferença no VM	8	Tamanho de grumos	6	Visual	8	384	Buscar correlações apos revisão métodos utilizados				

Continua...

Continuação

Item do Processo (Entrada)	Modo de Falha Potencial	Efeito Potencial	S	Causa Potencial Modo de Falha	O	Controles Atuais	D	RPN	Ação Recomendada	S	O	D	RPN
				Método de secagem	6	Procedimento e sistema	8	384	Buscar correlações após revisão métodos utilizados				
				Alvo de MV na área de coagulação	6	Programação de produção	8	384	Buscar correlações após revisão métodos utilizados				
	Diferença no pH de coagulação	Coagulação incompleta	8	Falha na medição no Labor. III	6	Fita	8	384	Compra de pHmetro				
	Diferença no tipo de AO	Diferença no VM	5	Procedimento	2	Procedimento e sistema	8	80					
	Uso de salmoura	Diferença no VM	6	Procedimento	2	Procedimento e sistema	8	96					
	Uso de metanol	Diferença no VM	6	Procedimento	2	Procedimento e sistema	8	96					
	Uso de água-mãe	Diferença no VM	6	Procedimento	2	Procedimento e sistema	8	96					
Temperatura da amostra de látex	Temperatura variável	Coagulação não homogênea	8	Pontos de coleta variados	8	N existe	8	512	Estender controle de temp. para outros látices	8	2	8	128
				Tempo entre coleta e análise	8	N existe	8	512	Estender controle de temp. para outros látices	8	2	8	128
Sistema de coagulação no Laboratório III	Coagulação incompleta	Variação no VM	8	Agitação	8	Visual	8	512	Confecção de um novo copo para coagulação	8	8	8	512
				PH	8	Fita	8	512	Compra de pHmetro	8	8	8	512
				Salmoura	4	Dosagem por proveta	1	32					
				AO mais metanol	4	Dosagem por proveta	1	32					
				Temperatura da coagulação	8	N existe	8	512	Estender controle de temp. para outros látices	8	2	8	128
				Presença de monômeros	6	Odor e aspecto	6	288	Sistema de ventagem no Laboratório III	8	1	8	64
				Sólidos totais baixos	4	Medição de sólidos	4	128					
	Tamanho de grumo grande	Variação na MV (MV alto)	8	Agitação	8	Visual	8	512	Confecção de um novo copo para coagulação	8	8	8	512
				PH	8	Fita	8	512	Compra de pHmetro	8	8	8	512
				Salmoura	4	Dosagem por proveta	1	32					
				AO mais metanol	4	Dosagem por proveta	1	32					
				Temperatura da coagulação	8	N existe	8	512	Estender controle de temp. para outros látices	8	8	8	512

Continua...

Continuação

Item do Processo (Entrada)	Modo de Falha Potencial	Efeito Potencial	S	Causa Potencial Modo de Falha	O	Controles Atuais	D	RPN	Ação Recomendada	S	O	D	RPN
				Presença de monômeros	6	Odor e aspecto	6	288	Sistema de ventagem no Laboratório III	8	1	8	64
				Sólidos totais baixos	4	Medição de sólidos	4	128					
				Trituração	8	Visual	8	512	Trituração intermediária	8	8	8	512
Temperatura do corpo de prova	Temperatura alta	Leitura incorreta VM (baixa)	8	Temperatura ambiente inadequada	4	Condicionador de ar	8	256	Adequação ambiental				
				Procedimento (tempo de descanso)	8	N existe	8	512	Revisar métodos utilizados atualmente	8	8	8	512
	Temperatura baixa	Leitura incorreta VM (alta)	8	Temperatura ambiente inadequada	4	Condicionador de ar	8	256	Adequação ambiental				
				Procedimento (tempo de descanso)	8	N existe	8	512	Revisar métodos utilizados atualmente	8	8	8	512
Misturador de rolos	Temperatura baixa	Diferença no VM	8	Falta de vapor / excesso de água	8	Manual / TI	6	384	Adoção de termostatizador				
	Temperatura alta	Diferença no VM	8	Excesso de vapor / falta de água	8	Manual / TI	6	384	Adoção de termostatizador				
	Velocidade de rotação	Diferença no VM	8	Sistema de acoplamento	2	Tacômetro	6	96					
	Abertura entre rolos	Diferença no VM	8	Ajuste incorreto	2	Dial	6	96					