

UNIVERSIDADE DE SÃO PAULO
ESCOLA POLITÉCNICA

ADRIANA LUIZETTO DOS SANTOS DANIEL

SEIS SIGMA: APLICAÇÃO DA METODOLOGIA
PARA REDUÇÃO DE RETRABALHO DE
ENGENHARIA

São Paulo
2014

ADRIANA LUIZETTO DOS SANTOS DANIEL

SEIS SIGMA: APLICAÇÃO DA METODOLOGIA
PARA REDUÇÃO DE RETRABALHO DE
ENGENHARIA

São Paulo
2014

ADRIANA LUIZETTO DOS SANTOS DANIEL

**SEIS SIGMA: APLICAÇÃO DA METODOLOGIA
PARA REDUÇÃO DE RETRABALHO DE
ENGENHARIA**

Monografia apresentada à Escola Politécnica
da Universidade de São Paulo para obtenção
do certificado de Especialista em Gestão e
Engenharia da Qualidade – MBA / USP

Orientador: Prof. Dr. Adherbal Caminada Netto

São Paulo

2014

Nome: DANIEL, Adriana Luizetto dos Santos

Título: Seis Sigma: Aplicação da metodologia para redução de retrabalho de engenharia

Monografia apresentada à Escola Politécnica
da Universidade de São Paulo para obtenção
do certificado de Especialista em Gestão e
Engenharia da Qualidade – MBA / USP

Aprovado em:

Banca Examinadora

Prof. Dr. _____ Instituição: _____

Julgamento: _____ Assinatura: _____

Prof. Dr. _____ Instituição: _____

Julgamento: _____ Assinatura: _____

Prof. Dr. _____ Instituição: _____

Julgamento: _____ Assinatura: _____

AGRADECIMENTOS

Agradeço primeiramente a Deus que iluminou os meus caminhos durante esta caminhada. Agradeço meus pais pela minha vida e pelos cuidados que me proporcionaram, pelo valor sempre dado à educação e aos estudos, por sempre me encorajarem diante de todos os desafios impostos pela vida. Agradeço à minha irmã que sempre me apoiou, em todos os estágios deste curso e principalmente na conclusão deste. Agradeço meu marido, que de forma especial e carinhosa me deu força e coragem, me apoiando em todos os momentos. Agradeço ao meu filho, Cassiano Luizetto Daniel por compreender a distância, as ausências, as renúncias. Obrigada pela paciência e pelo amor. Sem você, nada faria sentido. Agradeço também a todos os professores que me acompanharam durante o curso, em especial ao Prof. Dr. Adherbal Caminada Netto e ao Prof. Dr. Gilberto Francisco M. de Souza, responsáveis pela realização deste trabalho. Suas contribuições foram de grande valia para o desenvolvimento e conclusão deste trabalho.

RESUMO

Desde que o movimento pela qualidade se iniciou, a alta competitividade fez com que as empresas buscassem alternativas para a melhoria do desempenho organizacional. Em 1987, o presidente da Motorola, Bob Galvin estabeleceu uma meta agressiva de aumento de desempenho de dez vezes em cinco anos. O então engenheiro Bill Smith, baseado nos ensinamentos de Shewart (1939), apresentou uma metodologia para a Motorola atingir como limite Seis Sigma (para a tolerância de um processo), ou seja, seis desvios padrão. Um processo padrão Seis Sigma apresenta a probabilidade de 3,4 defeitos (falhas) por milhão de itens produzidos, ou 99,99966% de perfeição. O Seis Sigma é uma metodologia estruturada que incrementa a qualidade dos processos e possibilita o alinhamento com as estratégias empresariais, proporcionando altos ganhos financeiros para quem a utiliza. A aplicação desta metodologia em processos de engenharia ainda é restrita, porém, há indícios de que possa ser aplicada com o mesmo sucesso. O objetivo desta monografia é a estruturação e implantação da metodologia Seis Sigma no processo de engenharia da empresa Alfa para o aumento da eficiência e da eficácia no desenvolvimento de projetos de engenharia, minimizando os erros, não conformidades e a variabilidade, de forma a alcançar um aumento na produtividade e na lucratividade da organização. A implantação do Seis Sigma foi realizada através da utilização da metodologia Define, Measure, Analyse, Improvement, Control (DMAIC), a qual definiu o escopo do projeto, determinou a localização e as causas do problema e propôs soluções para posterior monitoramento e controle. Ao final do projeto, verificou-se uma redução no custo total do departamento de engenharia, resultante de ações originadas pelo projeto. Verificou-se também que, novas medidas e ações de melhoria poderão ser iniciadas e eventuais ganhos podem surgir.

Palavras-chave: Seis Sigma, Define, Measure, Analyse, Improvement, Control (DMAIC), Plan (Planejar), Do (Fazer), Check (Checar) e Act (Agir) (PDCA).

ABSTRACT

Since the quality movement began, has made companies seek alternatives to improve organizational performance. In 1987, the Motorola's president, Bob Galvin set an aggressive goal for increasing the performance ten times in five years. Then, the engineer Bill Smith, based on the knowledge of Shewhart presented a methodology to reach the limit of Six Sigma to the Motorola (for tolerance of a process), in other words, six standard deviations. A standard Six Sigma process has the probability of 3,4 defects (faults) produced per million or 99.99966 % of perfection. Six Sigma is a structured methodology that enhances the quality of processes and enables alignment with business strategies, providing high financial gains for those who use it. The application of this methodology in engineering processes is still limited, however, there is evidence that can be applied with the same success. The purpose of this monograph is to structure and to implement of Six Sigma methodology in engineering process of Alfa's company for increasing efficiency and effectiveness in the development of engineering projects, minimizing errors, variability and nonconformities in order to achieve an increase productivity and profitability of the organization. The six Sigma implementation used the methodology DMAIC (Define, Measure, Analyze, Improvement and Control), which defined the scope of the Project, It showed us where the problems were and the reasons why they occurred. The project also proposed the solutions for further monitoring and control. At the end of the project, there was a reduction in total engineering cost, resulting from actions originated by the project. It was also found that, from the project, new measures and improvement actions may be initiated and any gains may arise.

Keywords: Six Sigma, Define, Measure, Act, Improve and Control (DMAIC), Plan, Do, Check and Act (PDCA).

LISTA DE TABELAS

Tabela 1: Plano de ação	45
Tabela 2: Custos do departamento de engenharia com horas extras	49

LISTA DE FIGURAS

Figura 1: Demonstração de 3σ	11
Figura 2: Resumo histórico do Seis Sigma.....	13
Figura 3: Método Seis Sigma para melhorias.....	15
Figura 4: Ciclo PDCA	16
Figura 5: Método DMAIC.....	18
Figura 6: Diagrama de Ishikawa.....	23
Figura 7: Diagrama de Pareto % por motivo de revisão.....	24
Figura 8: Visão da empresa	27
Figura 9: Fluxograma do Macroprocesso de Sistemas	29
Figura 10: Recorte do processo avaliado.....	30
Figura 11: Matriz de priorização	33
Figura 12: Mapa do processo de engenharia detalhada	35
Figura 13: Custos do departamento de engenharia incluindo horas extras	36
Figura 14: Média de horas extras.....	37
Figura 15: Dispersão	37
Figura 16: Quadrados dos desvios.....	38
Figura 17: Diagrama de Pareto. Documentos gerados e motivos de revisões.....	39
Figura 18: Desvios e quadrados dos desvios.....	40
Figura 19: Diagrama de Ishikawa – classificação incorreta de revisões	42

Figura 20: Diagrama de Ishikawa – horas extras	42
Figura 21: Diagrama de Ishikawa – revisão de engenharia	43
Figura 22: Revisões de engenharia após implementação das ações	46
Figura 23: Comparação das revisões de engenharia antes e após as ações	47
Figura 24: Custos de engenharia	47

LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

5W2H: what, who, when, why, how, how much

DMAIC: define, measure, analyse, design, validate

GE: General Electric

PDCA: plan, do, check, act

CTQ's: Critical to quality

SUMÁRIO

1.0 INTRODUÇÃO	8
1.1 OBJETIVOS	9
1.1.1 OBJETIVO GERAL	9
1.1.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS	9
2.0 FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA	10
2.1 A ORIGEM DA METODOLOGIA SEIS SIGMA	10
2.2 SEIS SIGMA	11
2.3. PROJETO SEIS SIGMA	14
2.4. MÉTODOS DE IMPLANTAÇÃO SEIS SIGMA	15
2.4.1 MÉTODO DMAIC	17
2.4.1.1 D - DEFINE	19
2.4.1.2 M – MEASURE	19
2.4.1.3 A – ANALYSE	20
2.4.1.4 I – IMPROVE	20
2.4.1.5 C – CONTROL	21
2.5 FERRAMENTAS DA QUALIDADE	22
2.5.1 MATRIZ DE PRIORIZAÇÃO	22
2.5.2 DIAGRAMA DE ISHIKAWA	22
2.5.3 FLUXOGRAMA	23
2.5.4 DIAGRAMA DE PARETO	24
3.0 APLICAÇÃO DA METODOLOGIA	25
3.1 CARACTERIZAÇÃO DA ORGANIZAÇÃO	25
3.1.1. VISÃO DA EMPRESA	25
3.1.2. GESTÃO DA QUALIDADE	28
3.1.3. MACRO PROCESSO	28

3.2. MÉTODO DMAIC	32
3.2.1 FASE DEFINE	32
3.2.1.1. DEFINIR O ESCOPO DO PROJETO	32
3.2.1.2 IDENTIFICAR A VOZ DO CLIENTE	33
3.2.1.3. DESENHAR O MAPA DO PROCESSO	34
3.2.2. FASE MEASURE.....	35
3.2.2.1. CUSTO DA ÁREA DE ENGENHARIA.....	36
3.2.2.2. NÚMERO DE REVISÕES E ESTRATIFICAÇÃO POR MOTIVOS DE REVISÃO	38
3.2.3. FASE ANALYSE.....	41
3.2.3.1. CLASSIFICAÇÃO INCORRETA DE REVISÕES	42
3.2.3.2. REVISÃO DE ENGENHARIA	43
3.2.4. FASE IMPROVEMENT	44
3.2.5. FASE CONTROL.....	46
4.0. CONCLUSÃO/RESULTADOS	48
4.1. NÚMERO DE REVISÕES E MOTIVOS DE REVISÃO	48
4.2. CUSTO DA ÁREA DE ENGENHARIA.....	49
4.3. SUGESTÕES PARA TRABALHOS FUTUROS.....	49
4.3.1 ADITIVO CONTRATUAL DE PROJETOS.....	50
4.3.2. ANÁLISE DE BUDGET X CUSTO DE ENGENHARIA.....	50
4.3.3. PADRONIZAÇÃO DE PROJETOS.....	50
4.3.4. AVALIAÇÃO DAS REVISÕES DE PROJETOS POR DISCIPLINA.....	50
REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	51

1.0 INTRODUÇÃO

No cenário atual de competitividade mundial entre as empresas, se faz cada vez mais necessário, modelos de melhoria de processos para redução de custos desnecessários ou não conformes ligados aos produtos e serviços prestados pelas empresas. Uma das ferramentas recentemente utilizadas para a melhoria do desempenho organizacional e redução de variabilidade de processos é o Seis Sigma, metodologia gerencial com o objetivo de reduzir os níveis de defeito abaixo de 3,4 defeitos por milhão, bem como ampliar as melhorias na qualidade dos processos nas organizações. Essa metodologia foi criada por Bill Smith e implantada na Motorola em 1987. Mas só a partir da década de 90 que outras organizações adotaram o projeto Seis Sigma, como General Eletric (GE), Kodak, Toshiba, Sony, Johnson & Johnson, Black & Decker, Citibank, entre outras. Estas organizações tiveram ganhos substâncias com a implementação da ferramenta.

A implementação do projeto Seis Sigma tem como objetivo reduzir a variação nos processos a fim de eliminar e/ou reduzir as falhas e/ou defeitos nos produtos e serviços, contribuindo para o aprimoramento e melhoria contínua dos processos das organizações. Para viabilizar a implementação do projeto Seis Sigma, faz-se uso de técnicas, ferramentas e métodos de solução de problemas como PDCA (planejar, executar, verificar e agir), DMAIC (definir, medir, analisar, melhorar e controlar) e DMADV (definir, medir, analisar, desenhar e verificar), ferramentas estatísticas (quantitativas) para analisar e controlar as falhas e as variações nos processos, além de treinamentos de formação (*champions, master black belts, black belts, geen belts e yellow belts*).

O projeto proposto utilizou a aplicação estruturada do projeto Seis Sigma (DMAIC) no processo de engenharia na empresa *Alfa* a fim de reestruturar o processo de detalhamento de projeto. O objetivo da implementação desta metodologia é aumentar a assertividade no processo de elaboração de projetos para diminuição do retrabalho, aumentando da produtividade, satisfação dos clientes e maior rentabilidade. Foram realizadas medições no processo estudado através do monitoramento da emissão de documentos da engenharia. Após coleta de dados e

análise das informações históricas, foram implementadas ações para garantir a melhoria do processo e redução de variabilidade detectada.

1.1 OBJETIVOS

1.1.1 OBJETIVO GERAL

Implementar o projeto Seis Sigma no processo de engenharia detalhada da empresa *Alfa* para alcançar, maximizar e manter o sucesso da organização.

1.1.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS

- Melhorar a eficiência e a eficácia do processo de engenharia;
- Incrementar o desempenho do processo de engenharia;
- Aumentar a qualidade dos projetos;
- Colaborar para o aumento da satisfação dos clientes;
- Aumentar a produtividade;
- Redução de custo da engenharia.

2.0 FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA

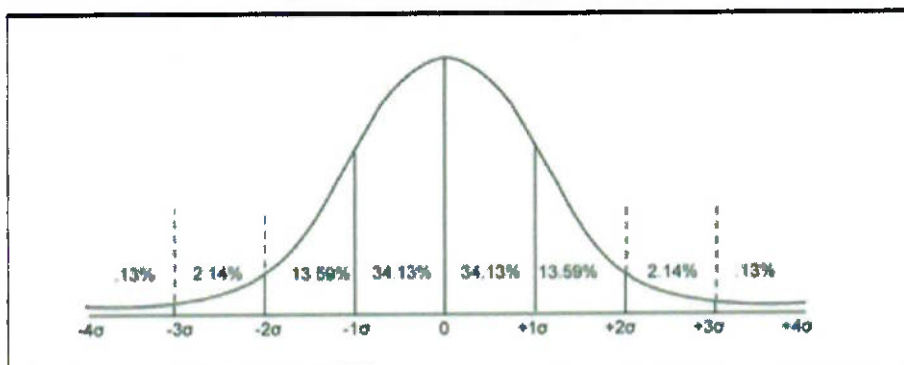
2.1 A ORIGEM DA METODOLOGIA SEIS SIGMA

Em meados do século XIX, a partir de estudos do comportamento de fenômenos naturais, o matemático e físico alemão Carl Frederic Gauss, concluiu que os mesmos tendiam a um comportamento comum, podendo ser representados através de uma curva no formato de um sino, denominada de Curva de Gauss, a qual descreve uma série de fenômenos físicos e financeiros e possui grande uso na estatística. Esta curva representa o conceito de probabilidade de ocorrência de um evento e sua variabilidade. (RODRIGUES, 2006).

Esta variabilidade pode ser medida matematicamente através do desvio padrão, o qual é representado pela letra grega sigma, representada pelo símbolo σ .

A letra sigma é usada estaticamente para representar a dispersão em torno da média de um processo.

Durante a primeira Guerra Mundial (início do século XX), os EUA forneciam produtos militares para a Europa, porém, necessitavam aumentar a produtividade e controlar a qualidade destes produtos. Pensando nisto, o norte-americano Walter Shewhart foi um dos convocados para auxiliar na produção de fones de ouvido para os soldados em função das diferenças de tamanho da cabeça de cada um deles. Shewhart fez um estudo para medir a cabeça de 10 mil soldados e ao plotar os dados obtidos, o mesmo notou que curva tinha uma semelhança com a Curva de Gauss. Quanto mais se aumentava o tamanho da amostra, mais a curva se aproximava à curva de Gauss. Shewhart notou que repetindo o experimento com outros eventos, o comportamento da curva se mantinha em formato de sino apresentando uma tendência natural, portanto neste momento a curva passou a se chamar de Curva Normal. Diante destas informações, Shewhart considerou que três desvios padrão (ou seja, 3σ), deveria ser o limite de tolerância de um processo, oferecendo uma assertividade em relação à média de 99,73% ($x - 3\sigma$) e ($x + 3\sigma$), conforme demonstrado na Figura 1 (RODRIGUES, 2006).

Figura 1: Demonstração de 3 σ 

Fonte: http://smolkaetcaterva.blogspot.de/2011_07_01_archive.html

As aplicações desta metodologia no mundo produtivo foram as mais diversas, dentre as quais podemos citar: Carta de Controle, CEP, Capacidade de processo. A aplicação mais recente foi proposta pelo executivo Bill Smith, da Motorola, em 1987, quando Bob Galvin (presidente da Motorola) estabeleceu, em 1981, a meta de aumentar o desempenho da Motorola em dez vezes em cinco anos. Com base nos ensinamentos de Shewhart, Smith apresentou, em 1987, uma metodologia para a Motorola alcançar como limite, para a tolerância de um processo, seis desvios padrão (Seis Sigma - 6 σ), a qual passou a ser denominado de Metodologia Seis Sigma.

2.2 SEIS SIGMA

De acordo com Perez-Wilson (2000, p. 18-19), o Seis Sigma tem múltiplos significados, entre eles:

- a) Seis Sigma é Benchmark: parâmetro para comparar nível de qualidade entre processos, operações e produtos;
- b) Seis Sigma é Meta: Chegar próximo a zero defeitos;
- c) Seis Sigma é Medida: é a representação de determinado nível de qualidade;
- d) Seis Sigma é uma Filosofia: de melhoria do processo e redução de variabilidade;

e) Seis Sigma é uma Estatística: calculada para a característica crítica da qualidade de forma a avaliar o desvio em relação à tolerância ou especificação;

f) Seis Sigma é uma Estratégia: baseada na relação existente entre os diversos processos relacionados a um produto, como, projeto, fabricação, qualidade final, confiabilidade, etc..Seis Sigma é Valor: derivado na multiplicação de 12 vezes um dado valor de sigma

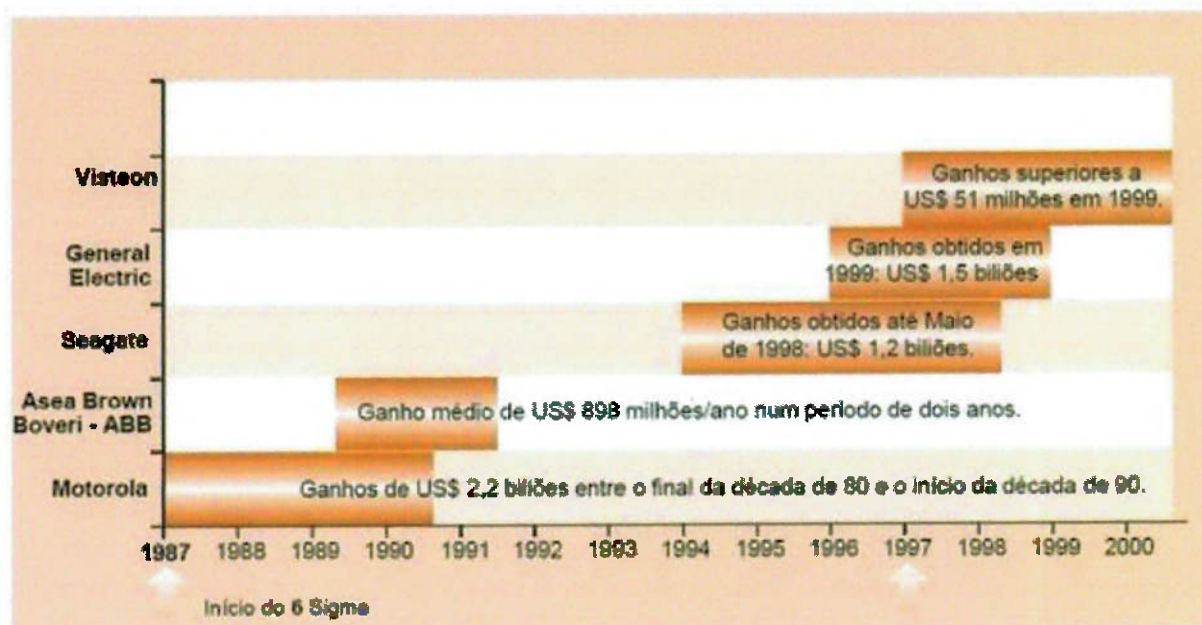
g) Seis Sigma é Visão: levar a empresa a ser melhor, superar as expectativas dos clientes.

Segundo Rotondaro (2012), é uma filosofia de trabalho para alcançar e maximizar o sucesso comercial, através de um melhor entendimento e interpretação das necessidades dos clientes. Metodologia estruturada que incrementa a qualidade por meio da melhoria dos processos envolvidos na produção de um produto ou serviço. Trata-se de uma ferramenta gerencial de mudanças para aprimoramento e melhoria da qualidade dos processos, a qual utiliza métodos estatísticos para definir os problemas, medi-los, analisá-los, melhorá-los e controlá-los, conduzindo à otimização de operações, melhoria de qualidade e redução de defeitos e falhas.

Segundo RODRIGUES, M. V., 2006, um processo padrão Seis Sigma, é um processo que apresenta uma probabilidade de 3,4 defeitos (falhas) por milhão, ou seja, 99,99966% de perfeição.

Seis Sigma (Figura 2) é considerada a metodologia da qualidade para este novo século. A utilização da metodologia Seis Sigma levou grandes empresas a resultados notáveis. Em cinco anos, a GE apresentou uma redução de US\$12 bilhões nos seus custos e a Motorola de US\$ 15 bilhões nos custos industriais. Posteriormente, com os resultados da General Eletric (GE) e Motorola, outras empresas de grande porte como Kodak, Toshiba, Sony, Johnson & Johnson, Black & Decker, Citibank têm adotado a metodologia.

Figura 2: Resumo histórico do Seis Sigma



Fonte: Werkema, 2002, p. 19

Segundo Werkema (2002, p. 21-22), o Seis Sigma não envolve essencialmente nada inovador, sendo as ferramentas estatísticas utilizadas conhecidas e parte do arsenal da qualidade para redução de defeitos. O que justifica o sucesso do Seis Sigma é sua forma de implementação e abordagem.

Para Werkema (2002), os principais motivos deste sucesso são:

- a) Comprometimento da alta administração;
- b) Utilização de método estruturado (DMAIC). O método será detalhado no capítulo 2.4.1;
- c) Benefícios mensuráveis em termos de lucratividade;
- d) Foco na satisfação dos clientes;
- e) Equipe estruturada para aplicação da metodologia;
- f) Busca contínua pela melhoria dos processos e redução de sua variabilidade;
- g) Extensão do método a novos produtos;
- h) Aplicação abrangente a todos os processos e não somente a manufatura e procedimentos técnicos.

2.3. PROJETO SEIS SIGMA

Em um projeto Seis Sigma, o produto é a criação ou a modificação de um processo, como foco na maior rentabilidade do negócio e maior eficácia no atendimento das necessidades e expectativas do cliente (RODRIGUES, 2006).

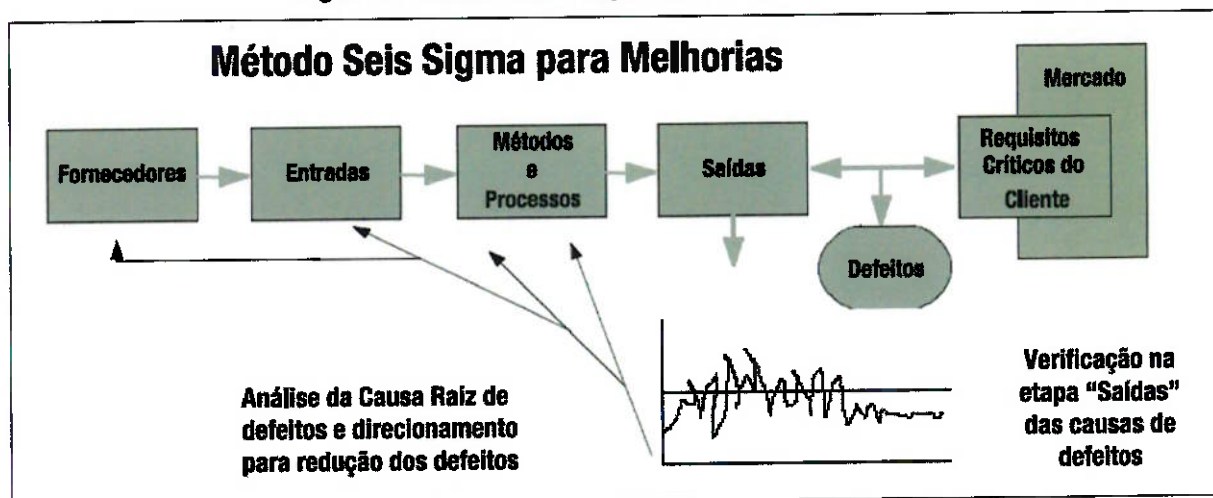
O princípio fundamental da implementação do projeto Seis Sigma é reduzir continuamente a variação nos processos, e desta maneira eliminar os defeitos ou falhas nos produtos e serviços, contribuindo para o aprimoramento dos processos nas organizações. (LINDERMAN et al., 2003).

De acordo com Basu e Wright (2003), Seis sigma não é somente uma ferramenta estatística para melhoria de variâncias medidas, é um processo e uma cultura para alcançar a excelência operacional. Segundo Perez-Wilson (2000), Seis Sigma não é uma metodologia, mas um nível otimizado de performance que se aproxima a zero defeitos em um processo de confecção de um produto ou serviço, o qual indica a obtenção e a manutenção de uma performance de alto nível. Para Aguiar (2006), a aplicação do programa Seis Sigma promove uma mudança de cultura na empresa, pois sua implementação altera a forma de identificação dos problemas e a tratativa realizada.

O método é aplicado para identificação dos desvios ocorridos em um produto, processo ou serviço, possibilitando o alcance de benefícios após sua implementação (PANDE, 2001).

No desenvolvimento desta metodologia, devem ser considerados os requisitos críticos do cliente (CTQ's) que direcionarão os objetivos e metas da organização. As informações geradas durante e após a realização dos métodos e processos poderão sinalizar "defeitos" que serão analisados para identificação de causa raiz e posterior direcionamento de ações, conforme ilustrado na Figura 3.

Figura 3: Método Seis Sigma para melhorias



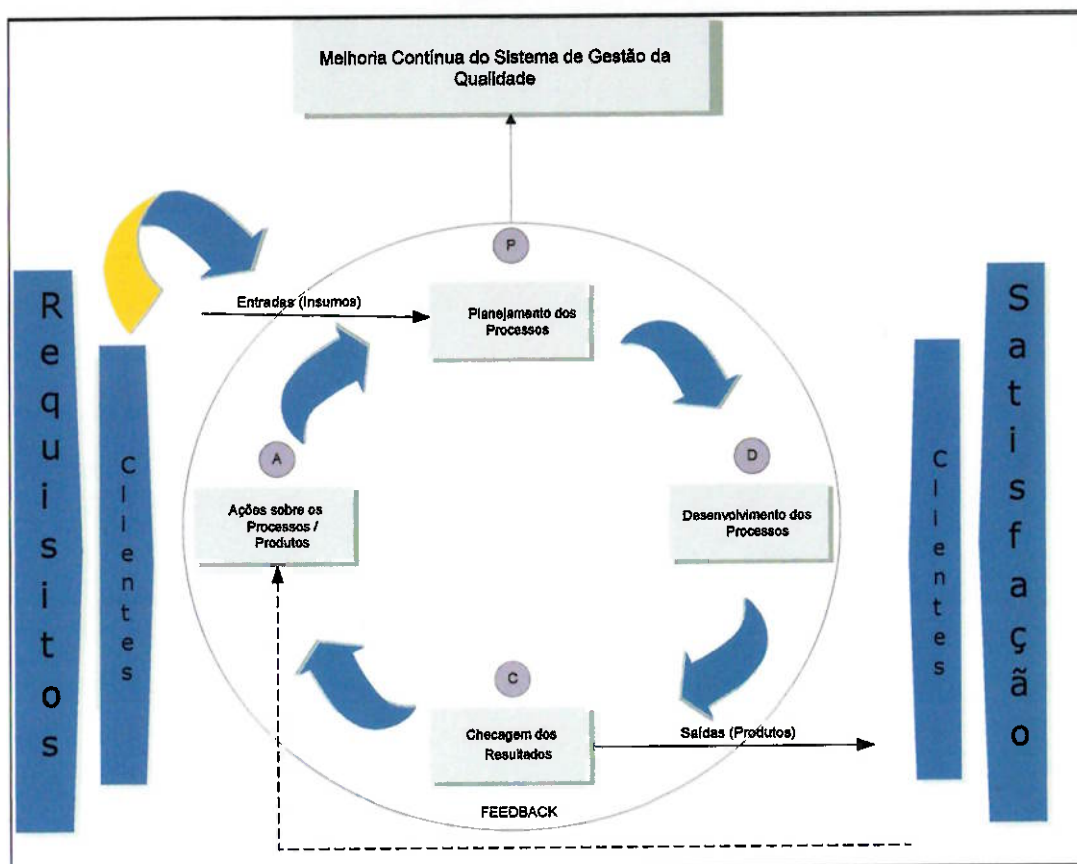
Fonte: (Blakeslee Jr., 1999)

2.4. MÉTODOS DE IMPLANTAÇÃO SEIS SIGMA

Desde o início do movimento pela qualidade, muitos métodos de melhoria foram aplicados nos processos, sendo que a maioria deles baseado no ciclo PDCA (PANDE, *et al*, 2001). O ciclo PDCA (Planejar, Fazer, checar e agir) foi introduzido por W. Edwards Deming, e atualmente é uma das ferramentas mais conhecidas e utilizadas para a melhoria de processos, a qual utiliza uma sequência repetitiva de quatro passos. Sua origem está no trabalho desenvolvido por Walter Andrew Shewart, que em sua concepção, introduziu três passos cíclicos para controle de qualidade: Specification (Especificação); Production (Produção); e Inspection (Inspeção) (SHEWART, 1939).

Deming modificou este conceito, adicionando um quarto passo, o qual passou a ser apresentado em suas palestras no Japão na década de 1950. O modelo evoluiu para Plan (Planejar), Do (Fazer), Study (Estudar) e Act (Agir). Após a Segunda Guerra Mundial, e os esforços de Deming e Juran no Japão, o terceiro passo foi modificado e passou a chamar-se Check (Checar). Por esta razão, o ciclo PDSA, passou a chamar-se PDCA, conforme ilustrado na Figura 4.

Figura 4: Ciclo PDCA



Fonte: Autoria própria.

Com a evolução do PDCA, outras ferramentas posteriormente foram desenvolvidas como o Modelo MAIC (Medir, Analisar, Melhorar e Controlar) e DMAIC utilizado pela Motorola e pela GE, respectivamente. A aplicação do método DMAIC contempla passos específicos utilizados no gerenciamento de projetos, como Definir, Medir, Analisar, Melhorar e Controlar. O PDCA e o DMAIC são as principais metodologias utilizadas nos programas Seis Sigma. O PDCA é um método conhecido mundialmente e utilizado para manutenção, melhoria e inovação de produtos e serviços. Já o DMAIC é um método de resolução de problemas utilizado com o objetivo de realizar melhorias em produtos, serviços e processos.

O presente estudo visa promover a melhoria do aumento da eficiência e da eficácia no desenvolvimento de projetos de engenharia, minimizando os erros, não

conformidades e a variabilidade. Por este motivo, a metodologia DMAIC foi escolhida para aplicação.

2.4.1 MÉTODO DMAIC

A metodologia DMAIC é uma forma estruturada de desenvolvimento de projetos Seis Sigma, muito mais abrangente e complexa do que simplesmente as ações de Definir, Medir, Analisar, Melhorar e Controlar, conforme ilustrado na Figura 5. O Seis Sigma oferece ferramentas específicas, técnicas e marcos para cada passo do DMAIC.

De acordo com PANDE, *et al.* (2002), o método DMAIC "(...)teve sua origem na GE capital, e mais tarde foi adotada em toda GE. O modelo original – ainda usado – incluía apenas quatro etapas: Medir – Analisar – Melhorar – Controlar"

As etapas do DMAIC estão descritas a seguir:

- a) D - Define (Definir): definir com precisão o escopo do projeto;
- b) M - Measure (Medir): determinar a localização ou foco do problema;
- c) A - Analyze (Analisar): determinar as causas de cada problema prioritário;
- d) I- Improve (Melhorar): propor, avaliar e implementar soluções para cada problema prioritário;
- e) 5. C - Control (Controlar): garantir que o alcance da meta seja mantido em longo prazo.

Uma característica importante do método DMAIC é que ele é iterativo, de forma que suas atividades não são puramente lineares. Durante o desenvolvimento do projeto a equipe pode fazer descobertas que os levem a revisar seus objetivos, ou, a falha de soluções adotadas na etapa Melhorar, pode levar a equipe de volta a fase Analisar (PANDE, *et al.*, 2002).

Segundo Eckes (2001), cada etapa DMAIC significa uma ação:

Definir/*Define* (D): definição clara e objetiva do projeto compreendendo as características críticas para a qualidade (*Critical to qualities* - CTQ's) e os requisitos técnicos. A definição deve ser específica, mensurável, descrever o impacto sobre o

negócio ou a atividade da empresa, e não concluir prematuramente as causas e soluções.

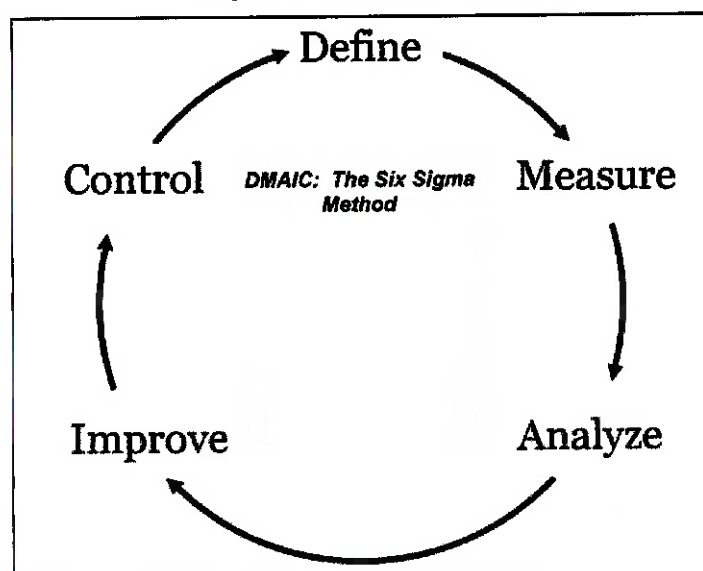
Medir/Measure (M): medição é a identificação das medidas da eficiência e da eficácia para o conceito do Sigma. A medição impõe a determinação de uma medida básica da eficiência do processo, e deve ter um plano de coleta de dados que possa assegurar que a amostragem seja representativa e aleatória.

Analisar/Analyze (A): determinação das causas dos problemas que precisam de melhoria. A análise é considerada a etapa mais importante do ciclo DMAIC, pois determina e valida a raiz do problema original, alvo da busca de melhoria.

Melhorar/Improve (I): soma das atividades relacionadas com a geração, seleção e implementação de soluções. A melhoria é conseguida com soluções que eliminem, atenuem ou minimizem as causas do problema.

Controlar/Control (C): ação de garantir que as melhorias se sustentem ao longo do tempo. O controle deve acontecer nos níveis tático e estratégico, garantido por meio de soluções e gráficos da estatística que alertem sobre mudanças ou falhas e/ou defeitos no processo.

Figura 5: Método DMAIC



Fonte: Autoria desconhecida.

2.4.1.1 D - DEFINE

Na opinião de Adams; Gupta e Wilson, Jr. (2003), o primeiro estágio de qualquer projeto é o mais importante, portanto, é essencial fazer a definição clara e objetiva do escopo do projeto, metas a serem alcançadas e recursos a serem empregados,

Segundo Rotondaro (2012), para definição do escopo do projeto, deve-se estabelecer qual é o “efeito” indesejável de um processo que deve ser reduzido ou melhorado. Esta etapa explica o escopo do projeto e identifica especificamente qual a parte integrante ou não do mesmo.

Para PANDE, et al. (2000), existem quatro questões que devem ser respondidas nesta etapa:

- Qual o problema ou oportunidade que vamos focar?
- Qual o resultado que desejamos alcançar e qual o prazo?
- Quem é o cliente impactado por este processo ou problema?
- Qual processo está sendo investigando?

As vantagens deste levantamento incluem: perspectiva do problema em seu contexto mais amplo, possibilidade de refinar o escopo do projeto ao se verificar os limites do processo estudado, identificação preliminar de causas.

2.4.1.2 M – MEASURE

Quando um projeto se inicia, é necessário saber aonde se quer chegar. Para isso, se faz necessário conhecer o ponto de partida, em outras palavras, é preciso quantificar a oportunidade de melhoria, usando os dados atuais.

Segundo Rodrigues (2006), esta fase deve medir o desempenho do processo, identificar os problemas e a intensidade dos mesmos. Para isso, o sistema de medição deve ser analisado e ajustado de acordo com as necessidades do processo. Neste momento, dados pontuais não são representativos, portanto, faz-se necessário o uso de dados históricos. Há necessidade de se coletar dados em diversas fases, o que contribui para que o projeto Seis Sigma leve meses até sua

conclusão (PANDE *et al.* 2002). As medições realizadas nesta etapa vão acompanhar todo o desenrolar do projeto.

2.4.1.3 A – ANALYSE

A essência da etapa “*Analisar*” do DMAIC é identificar a causa raiz dos problemas que foram medidos na etapa anterior, e tem como objetivo analisar o desempenho e a causa dos problemas. Nesta etapa, várias as ferramentas podem ser utilizadas como: Gráfico de Pareto, Diagrama de Ishikawa, FMEA, Diagrama de Dispersão, Diagrama de Afinidade, Matriz de Priorização, entre outras (RODRIGUES, 2006).

2.4.1.4 I – IMPROVE

O objetivo da Etapa “*Melhorar*” do DMAIC é elaborar soluções para melhorar o processo eliminando os problemas, reduzindo custos e agregando valor ao cliente. As soluções propostas nesta etapa devem ser coerentes com as causas-raízes encontradas (RODRIGUES, 2006).

Segundo PANDE, *et al.* (2000), existem quatro questões que devem ser respondidas nesta etapa:

- a) Quais ações podem auxiliar na solução da causa-raiz e a atingir nossos objetivos?
- b) Quais destas ações são aplicáveis?
- c) Qual ação possibilita o alcance do objetivo com menor custo e dificuldade?
- d) Podemos testar a ação escolhida para certificar-se de sua eficácia e implementá-la posteriormente?

Uma ferramenta vastamente utilizada nesta etapa para a geração de idéias é o brainstorming. Deve-se ficar atento, pois as idéias geradas nesta etapa devem ser refinadas para de fato agregar valor à organização (PANDE *et al.* 2001). Com várias soluções possíveis e viáveis, o próximo passo é selecionar aquelas que são mais apropriadas à organização. Selecionada a ação, a equipe deve solicitar o aval da

Alta Administração para implantação, e em seguida, desenvolver um plano de implantação, preferencialmente em menor escala, como um teste piloto. Segundo Pande *et al.* (2001): “Falhar em um plano piloto de soluções é praticamente um desastre garantido. Você se recupera de imprevistos e gerencia problemas limitados; você pode não se recuperar se a solução incendiar a sua empresa.”

O teste piloto possibilita o refinamento da solução na identificação de efeitos que a acompanhem. Além disso, as medições posteriores à implementação devem comprovar a eficácia na redução/eliminação do problema. Caso os resultados não sejam satisfatórios, a equipe deve retornar a etapa *Medir* do DMAIC para se aprofundar no entendimento do fenômeno. Porém, caso os resultados sejam satisfatórios, a ação deve ser implementada em larga escala, sendo diversas ferramentas auxiliares no desenvolvimento desta etapa, como Diagrama de Gantt, Diagrama de processo decisório, 5W2H, etc.

2.4.1.5 C – CONTROL

O objetivo da Etapa “*Controlar*” do DMAIC é garantir que os ganhos obtidos na etapa anterior estão de acordo com os objetivos definidos na primeira etapa do DMAIC e perpetuem na organização. Para que isto seja possível, é essencial que as medições continuem sendo realizadas e caso as mesmas não confirmem os resultados, a equipe deve retornar à Etapa *Melhorar* do DMAIC. Concluindo-se que, os resultados permanecem com o tempo, a equipe deve padronizar as alterações realizadas com a implantação da solução de forma a definir mecanismos de prevenção e detecção (RODRIGUES, 2006).

ADAMS, *et al.* (2003) recomendam o compartilhamento dos resultados dentro da organização para que sejam exploradas as possibilidades de replicação dentro de outros processos. Esta é a oportunidade para que os gestores do Seis Sigma compartilhem experiências e acumulem ensinamentos úteis para os próximos projetos.

2.5 FERRAMENTAS DA QUALIDADE

2.5.1 MATRIZ DE PRIORIZAÇÃO

Devem ser seguidas as seguintes etapas para a construção de uma matriz de priorização, segundo o método de critérios:

- Estabelecer os critérios de seleção: criar uma lista de critérios que serão utilizados para priorização dos dados;
- Priorizar os critérios: estabelecer os graus de importância de cada critério;
- Pontuar as opções segundo cada critério: colocar os critérios em uma coluna e os dados a serem analisados em uma linha e fazer o julgamento de cada dado, segundo os critérios;
- Calcular as pontuações totais: multiplica-se o peso de prioridade dos critérios pelo valor que cada dado recebeu segundo cada critério.

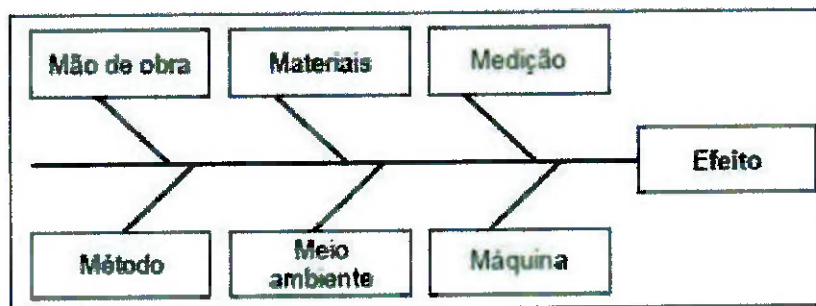
2.5.2 DIAGRAMA DE ISHIKAWA

O Diagrama de causa e efeito, espinha de peixe, ou Diagrama de Ishikawa foi aplicado pela primeira vez em 1953, no Japão por Kaoru Ishikawa, professor da Universidade de Tóquio, com o intuito de sintetizar as opiniões dos engenheiros quando estes discutiam sobre problemas de qualidade, além de explicar como vários fatores poderiam ser comuns entre si.

Este ficou conhecido como Diagrama de Ishikawa (Figura 6), representação gráfica que permite organizar informações para identificar as possíveis causas e efeitos de um problema, mostrando a relação entre o efeito e as causas que contribuam para que ele ocorra.

Possibilita ainda estruturar qualquer sistema que gere uma resposta (uni ou multivariada) de forma gráfica e sintética. As causas de um problema podem ser agrupadas a partir do conceito dos 6M, como decorrentes de falhas em: materiais, métodos, mão de obra, máquinas, meio ambiente, medidas. O uso dos 6M pode ajudar a identificar as causas de um problema e servir como uma estrutura inicial para facilitar o raciocínio na análise de causa.

Figura 6: Diagrama de Ishikawa



Fonte: Adaptado de GIOCONDO, 2011

Segundo GIOCONDO (2011), este diagrama é utilizado para visualizar em conjunto as causas principais e secundárias de um problema, ampliar as possíveis causas do problema, enriquecer sua análise e a identificação de soluções, assim como a analisar o processo em busca de melhorias.

2.5.3 FLUXOGRAMA

O Fluxograma pode ser definido como um resumo ilustrativo do fluxo das várias operações de um processo. Este documenta um processo, mostrando todas as suas etapas e o que é realizado em cada uma delas, os materiais ou serviços que entram e saem do processo, as decisões que devem ser tomadas e as pessoas envolvidas (cadeia cliente/fornecedor).

Segundo Lucinda (2010), o fluxograma é uma excelente ferramenta para analisar o processo, já que permite a rápida compreensão das atividades que são desenvolvidas por todas as partes envolvidas. Fundamental para o planejamento (elaboração do processo) como para o aperfeiçoamento (análise e alterações) do processo.

Segundo SEBRAE (2005) essa ferramenta é usada para entender e identificar as oportunidades de melhorias, desenhar um novo processo em que as melhorias já estejam incorporadas, facilitar a comunicação entre as pessoas e disseminar as informações do processo.

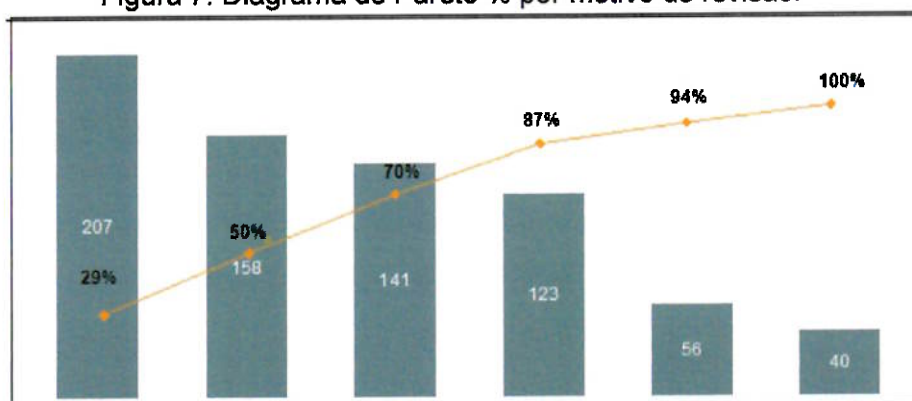
2.5.4 DIAGRAMA DE PARETO

O Diagrama de Pareto ou gráfico de Pareto foi desenvolvido no final do século XIX por Vilfredo Pareto, um economista italiano, que realizou estudos e desenvolveu métodos para descrever a distribuição desigual de riquezas.

Segundo GIOCONDO (2011), posteriormente, o Diagrama de Pareto foi observado por J.M. Juran, que o adaptou para os problemas de qualidade (reclamações de clientes, itens defeituosos, falhas nas máquinas, perda de produtividade, entregas fora do prazo e outros), divididos em classes conforme a sua relevância ou "poucos vitais" e "muitos triviais". Demonstrou-se que grande parte dos problemas são provenientes de pequenas causas, e se essas causas fossem identificadas e corrigidas seria possível eliminar defeitos ou falhas.

O gráfico de Pareto é um diagrama que apresenta os itens e a classe na ordem dos números de ocorrências, apresentando a soma total acumulada, permitindo a visualização de diversos problemas e auxiliando na determinação da sua prioridade. O objetivo deste diagrama é compreender a relação ação/benefício e priorizar a ação que trará o melhor resultado. Este é composto por um gráfico de barras que ordena as frequências das ocorrências em ordem decrescente e permite a localização de problemas vitais e a eliminação de futuras perdas.

Figura 7: Diagrama de Pareto % por motivo de revisão.



Motivo 1 Motivo 2 Motivo 3 Motivo 4 Motivo 5 Motivo 6

3.0 APLICAÇÃO DA METODOLOGIA

3.1 CARACTERIZAÇÃO DA ORGANIZAÇÃO

A empresa Alfa foi fundada em 1992, em Jundiaí (SP), com o objetivo de se tornar sólida, confiável e reconhecida no mercado brasileiro como empresa detentora das mais modernas tecnologias em movimentação, tratamento, separação, purificação e reaproveitamento de fluidos. Com o passar dos anos, a organização estabeleceu parcerias tecnológicas com empresas reconhecidas internacionalmente, como também desenvolveu tecnologia própria, através da contratação de profissionais qualificados, com expertise em tratamento de água e efluentes. Em janeiro de 2010, a organização investiu na construção de uma nova instalação, que agrega a área administrativa (1395 m²) e fabril (2400 m²), com infraestrutura de laboratório, auditório para treinamentos e seminários, entre outros. A empresa hoje conta com 75 colaboradores diretos e um efetivo flutuante que pode chegar a 120 pessoas, dependendo do número de projetos simultâneos. Em janeiro de 2012, a empresa Alfa foi adquirida por um Grupo alemão.

O Grupo foi fundado na Alemanha em 1941 e desenvolve, produz e comercializa componentes automotivos complexos tecnicamente, tais como sistemas de filtragem do ar, sistemas coletores de galeria, sistemas de filtragem de líquidos, filtros de cabine para a indústria automotiva e elementos filtrantes para serviços de manutenção e reparação de veículos. O Grupo iniciou suas atividade em 1954 através de uma empresa licenciada, adquirida em 1965.

3.1.1. VISÃO DA EMPRESA

A visão da organização é “Ser líder mundial em filtragem de água até 2018.

A figura 8 apresenta os pilares e como foi desenvolvida a estratégia para o alcance desta visão.

Através de um objetivo claramente definido que é manter e ampliar nos próximos anos sua posição como líder de mercado em tecnologia de filtragem, através de produtos de alta qualidade, serviço de primeira classe e tecnologia inovadora, a

empresa investe no que considera ser o seu principal ativo, seus colaboradores, sua cultura e seus valores.

Seus valores estão representados pelas palavras (Foco, Integridade, Liderança, Trabalho em equipe, Excelência e Respeito) e têm como significado:

- Foco – Ter foco em resultados e em conseguir as coisas certas, discutir, decidir e entregar de forma simples e rápida.
- Integridade - Exigir padrões éticos inflexíveis em tudo que se faz e é dito. Inspirar confiança e capacitar as pessoas a acreditarem nelas mesmas, sabendo que serão ouvidas e que suas contribuições serão apreciadas, reconhecidas e recompensadas.
- Liderança - Significa capacitar os colaboradores para agir como dono e assumir responsabilidade, obter resultados corretos na primeira vez e assim não desperdiçar recursos, mostrar coragem e iniciativa com atitudes para ir à frente.
- Trabalho em equipe – Trabalhar como uma equipe e estar abertos à diversidades, compartilhar conhecimento e sucesso. Promover a criatividade e acreditar que pessoas qualificadas e motivadas são a chave para o sucesso.
- Excelência – Assegurar a disciplina do processo e esperar por execução impecável. Tomar decisões usando fatos e dados e se comunicar de forma clara, concisa e com franqueza . Trazer à urgência de todos os desafios e oportunidades de negócios e buscar incansavelmente melhorar o nosso desempenho, porque bom não é bom o suficiente.
- Respeito – Se esforçar para os mais altos níveis em termos de segurança, qualidade, sustentabilidade e ter paixão por um mundo limpo. Trabalhar com um profundo respeito para as pessoas e para as comunidades. Respeitar e ouvir as pessoas e ajudar e apreciar os outros . Se sentir em casa onde quer que se façam negócios e quer ser visto como um amigo e um bom vizinho em nossas comunidades.

Assim, os valores corporativos que fornecem as diretrizes e princípios da empresa, são aplicados as áreas chaves, Comercial, Operações e Inovação, se

transformando em vantagens competitivas, sejam elas, tecnologias inovadoras, melhores serviços e qualidade, agregando valores e tornando-se para os clientes a primeira escolha para as melhores soluções de filtragem.

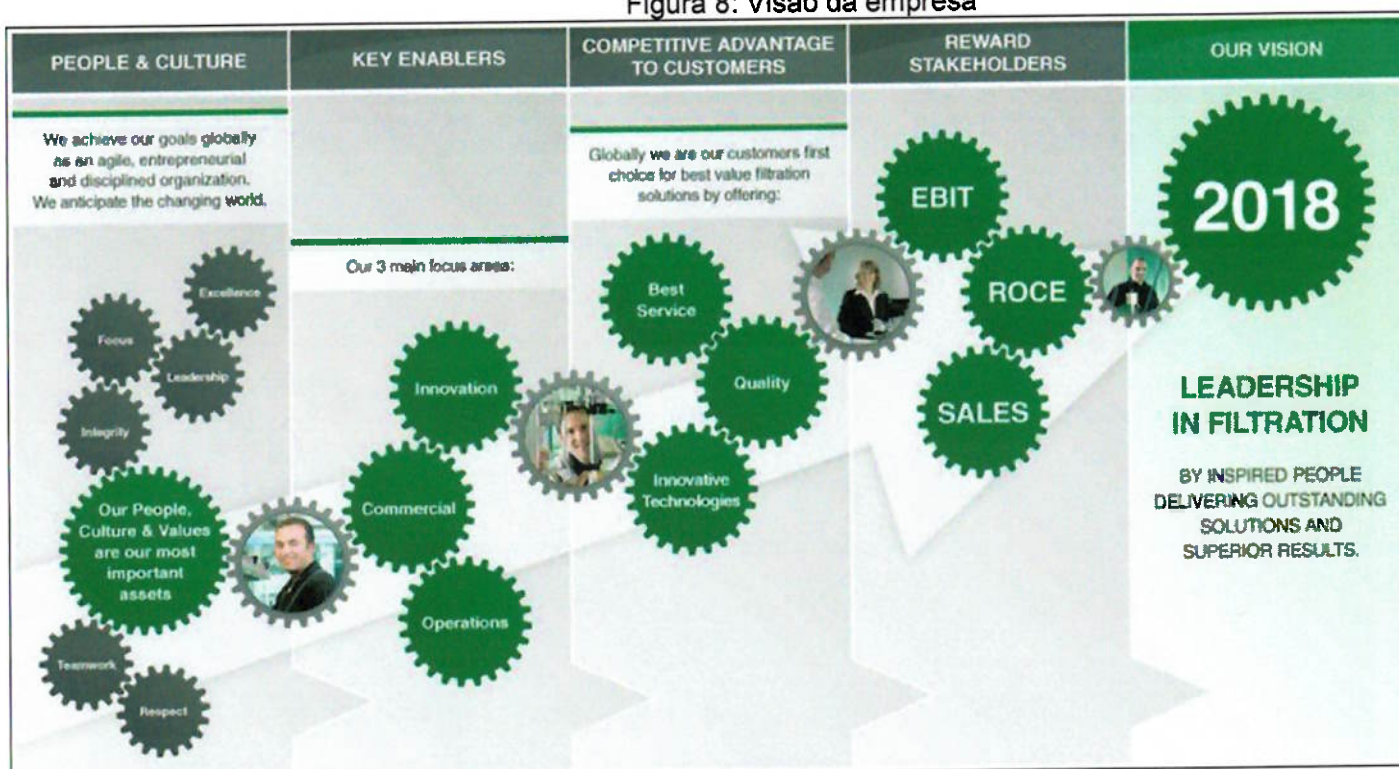
Consequentemente, como retorno aos acionistas, teremos maior volume de vendas, melhora no EBIT (Earnings Before Interest and Taxes, ou seja, lucro antes de juros e impostos) e no ROCE (Return on Capital Employed, ou seja, receita sobre o capital investido).

Para tornar-se líder global de mercado em produtos de filtragem a empresa Alfa se esforça para ser:

- Um parceiro de confiança para seus clientes;
- Um ótimo lugar para se trabalhar;
- Um empreendimento gratificante para seus acionistas e;
- uma empresa com paixão por um mundo limpo.

Alcançar a “Liderança em filtragem” por possuir pessoas inspiradas no fornecimento de soluções e resultados superiores.

Figura 8: Visão da empresa



Fonte: Alfa (2013)

3.1.2. GESTÃO DA QUALIDADE

A empresa Alfa mantém atualizado e implementado um Sistema de Gestão da Qualidade (SGG), buscando continuamente a melhoria continua deste sistema.

O Sistema de Gestão da qualidade foi estruturado e implementado com base na norma ISO 9001:2008 e então certificada na mesma norma desde agosto de 2007.

O escopo do Sistema de Gestão da Qualidade da organização é:

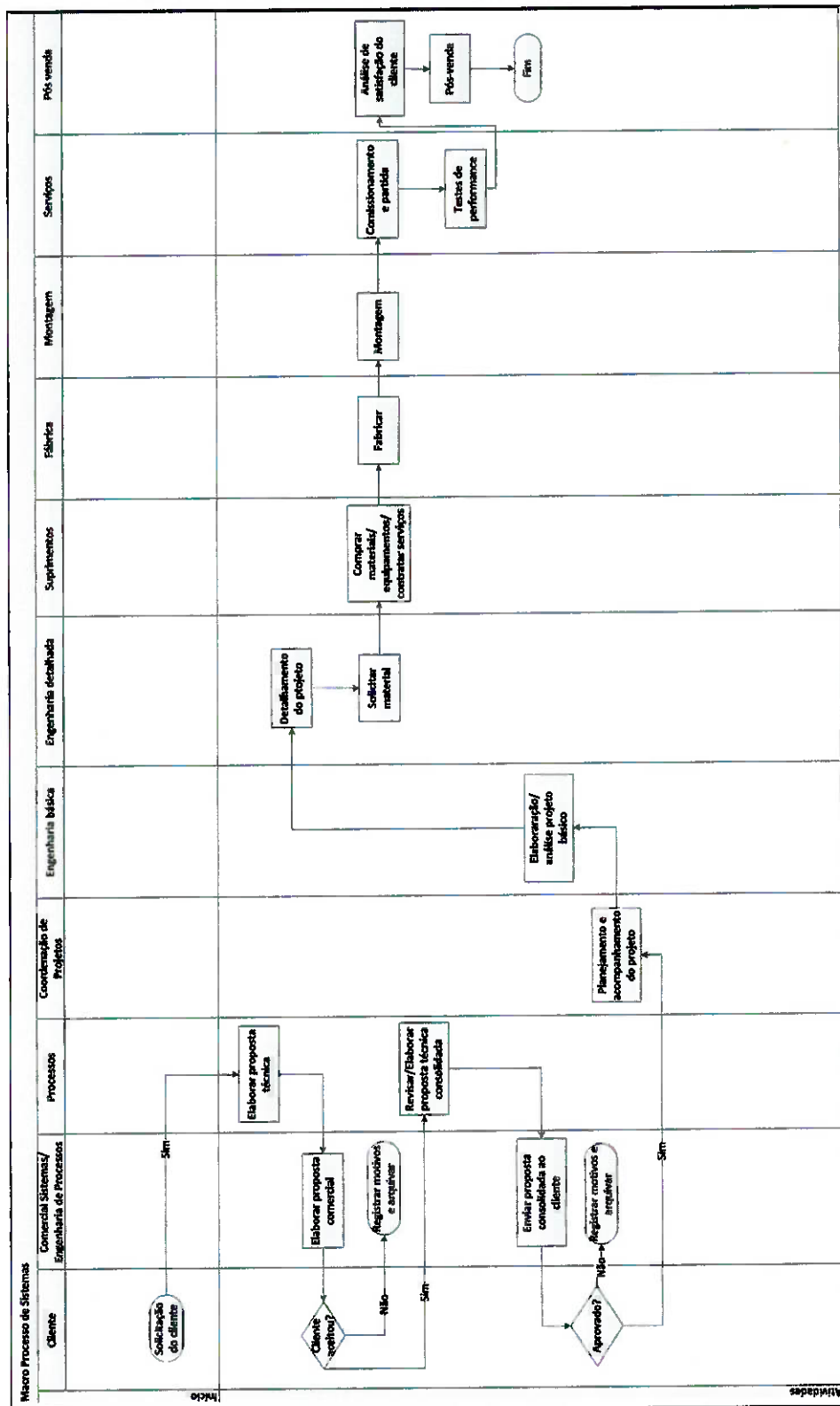
“Projeto, desenvolvimento, fabricação, montagem, instalação, comercialização, locação e serviços para equipamentos, sistemas de tratamento de água e efluentes e seus componentes”.

3.1.3. MACRO PROCESSO

O macroprocesso apresenta de maneira genérica as etapas para o desenvolvimento de um projeto na empresa *Alfa*.

O fluxograma da Figura 9 descreve a sequência das atividades, os processos responsáveis pela sua execução ou informação: cliente, comercial, engenharia de processos, engenharia básica, engenharia detalhada, coordenação de projetos, fábrica, montagem, serviços e pós-venda.

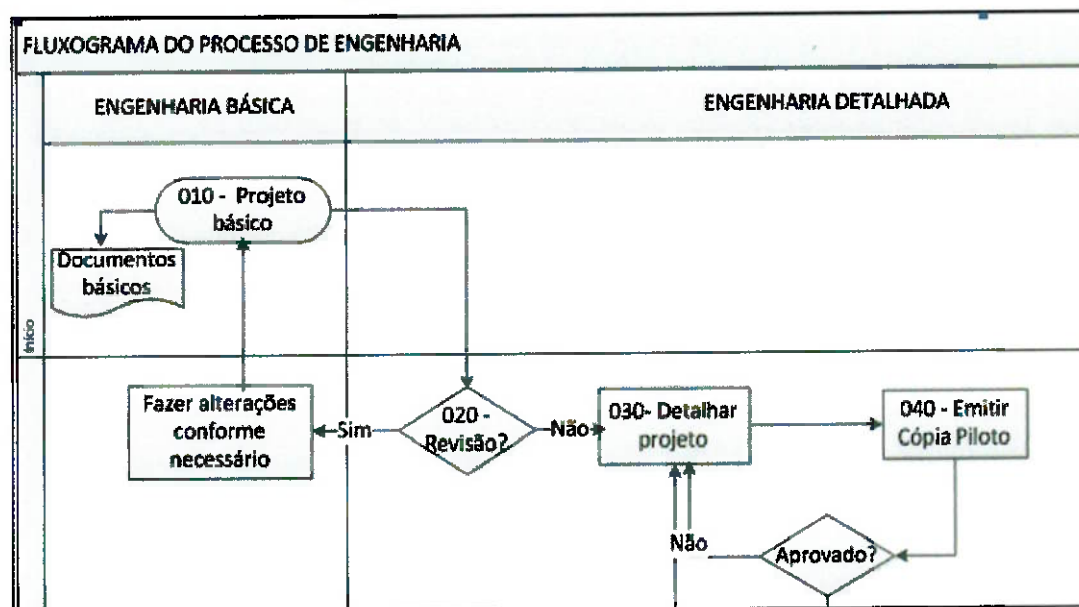
Figura 9: Fluxograma do Macroprocesso de Sistemas



Fonte: Empresa Alfa (2013)

A aplicação da metodologia Seis Sigma foi realizada no processo de engenharia detalhada, o qual pode ser visualizado na Figura 10.

Figura 10: Recorte do processo avaliado



Fonte: Empresa Alfa (2013)

O processo de passagem de obra é a etapa na qual o depto comercial e de processos fornece as informações de entrada para o desenvolvimento do projeto na área de engenharia. Após análise destas informações, a engenharia básica elabora os documentos, conforme descrito a seguir.

- Gerais:
 - Plano de pintura.
 - Plano de inspeção e testes.
 - Lista de documentos (preliminar).
- Processo:
 - Fluxograma de engenharia.
 - Fluxograma de processo com balanço de massa (quando aplicável).
 - Layout.
 - Mecânica:

- Lista de equipamentos.
- Folha de dados de equipamentos mecânicos.
- Instrumentação:
- Lista de instrumentos (preliminar).
- Tubulação:
- Lista de válvulas (preliminar).
- Civil:
- Guia civil básico.

Os documentos gerados na engenharia básica são compilados e consolidados em uma lista de controle de documentos, a qual segue para a engenharia detalhada.

Com base nos documentos consolidados no projeto básico, a engenharia detalhada projeta e elabora todos os documentos pertinentes a construção do sistema (hidráulico, elétrica e instrumentação) com suas respectivas listas de materiais.

Os documentos elaborados pelo engenheiro/projetista são impressos em papel para verificação. As cópias impressas, identificadas como “cópias piloto” são enviadas ao gerente da engenharia e/ou substituto imediato para aprovação. Caso sejam aplicáveis, eventuais comentários serão anotados na cópia impressa. O engenheiro/projetista deverá providenciar a devida correção ou ajuste. O documento corrigido ou alterado deve ser novamente impresso e enviado ao gerente de engenharia detalhada e/ou substituto imediato para avaliação e aprovação. Essa rotina é repetida quantas vezes forem necessárias, até que se obtenha a aprovação final do documento.

Quando o padrão de fornecimento é padrão Alfa, a engenharia detalhada segue com a emissão da lista de material e a solicitação de compras e registra a liberação no controle de emissão de solicitações de compra.

Após o recebimento de todos os documentos de fornecedores e a conclusão dos documentos da engenharia detalhada, o *data book* deve ser elaborado.

3.2. MÉTODO DMAIC

A implementação do projeto Seis Sigma na empresa Alfa consiste na utilização do método DMAIC para melhoria contínua dos processos de engenharia, por meio da seleção correta dos processos que possam ser melhorados, a fim de reduzir a variabilidade e aumentar a capacidade desses processos.

Essa implementação está vinculada ao uso de ferramentas da qualidade e métodos estatísticos que buscam facilitar a interpretação das relações de causa e efeito que afetam diretamente os processos críticos da organização e depende da efetivação das atividades desenvolvidas em cada uma das suas fases.

3.2.1 FASE DEFINE

Nesta fase é importante identificar que processo interno pretende-se melhorar para atender uma característica crítica para cliente (CTQ) interno ou externo.

3.2.1.1. DEFINIR O ESCOPO DO PROJETO

A matriz de priorização é uma das ferramentas gerenciais da qualidade e aplica-se na priorização ou sequenciamento de itens com base em um ou mais critérios.

Para definir o escopo do projeto foi estabelecida uma relação de potenciais projetos Seis Sigma, elaborada e aplicada a matriz de priorização para a seleção de um projeto Seis Sigma.

Nesta fase foram utilizadas as ferramentas de matriz de priorização na escolha do projeto, mapeamento de processo para conhecer as etapas do processo de engenharia e a análise de esforços e impactos com intuito de definir prioridade de intervenções, conforme ilustrado na Figura 11.

A partir desse diagnóstico, verificou-se que o projeto para reduzir o custo do departamento de engenharia e número de revisões de projetos que será implementado o projeto Seis Sigma (DMAIC).

Figura 11: Matriz de priorização

Figura 11. Matriz de priorização						
Legenda		Critérios para seleção	Projeto viável em termos de custos, prazo e disponibilidade de informações?	O projeto tem apoio e recursos adequados proporcionados pelas partes interessadas?	Existe risco de perda de competitividade com os atuais níveis de desempenho	Total
O critério é:						
3 - Fortemente atendido						
2 - Moderadamente atendido						
1 - Fracamente atendido						
0 - Não é atendido						
Potenciais projetos						
1. Reduzir o % de revisões de desenho em função de erro da engenharia			3	3	1	9
2. Reduzir o % de revisões de desenho em função comentários de clientes			3	3	1	9
3. Reduzir o % de revisões de desenho em função de as buil/caráter certificado			3	3	2	18
4. Reduzir o % de revisões de desenho em função de alteração de parâmetros			3	2	1	6
5. Reduzir custo do Departamento de Engenharia(devido a horas extras e revisão desenho)			3	3	3	27

Fonte: Autoria própria

3.2.1.2 IDENTIFICAR A VOZ DO CLIENTE

O projeto Seis Sigma impulsiona a melhoria contínua dos processos. Desse modo, deve ser auxiliado pelas áreas de qualidade, marketing, finanças e demais partes interessadas, havendo um forte alinhamento à estratégia da organização. Pode ser utilizado por todos: clientes, empregados, acionistas e fornecedores.

Uma ferramenta muito significativa e que traz benefícios para a organização é escutar a “voz do cliente” e traduzir essa voz em dados concretos. Essa atitude ajuda a conhecer os atributos que influenciam a percepção do cliente para a qualidade tanto do produto quanto do serviço. Isso é possível a partir do monitoramento contínuo.

Essa ferramenta, além de ser utilizada com clientes externos à organização, também pode ser aplicada para a análise da satisfação dos clientes internos. Estes

resultados podem indicar a necessidade de melhorias nos processos internos que refletem na satisfação do cliente externo.

Para obter informações do cliente, existem vários meios, como por exemplo, entrevista, pesquisa, entre outros.

- Clientes internos
- Processo de compras, fabricação interna e montagem.

Melhorar a capacidade desses processos, projetar e monitorar com frequência as atividades de maneira a minimizar as falhas e/ou desperdícios de recursos visando à satisfação do cliente.

- Clientes externos
- Processo de fabricação externa e cliente final.

Identificar e eliminar causas de falhas/defeitos nos processos focando sobre as saídas (resultados) que são de importância crítica para os clientes.

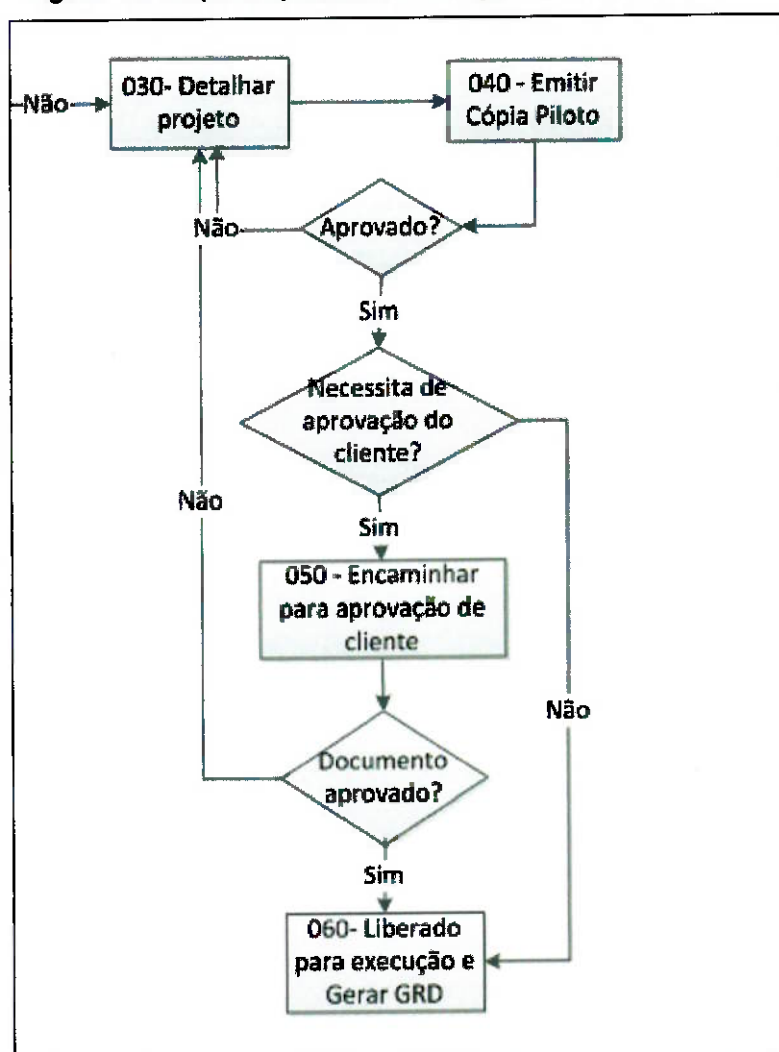
O projeto Seis Sigma impulsiona a melhora do desempenho estratégico da organização e a valorização da satisfação dos clientes. Portanto, é fundamental que a filosofia Seis Sigma seja disseminada e aplicada por todos os envolvidos no dia a dia em suas atividades.

Não foi possível a aplicação desta etapa no desenvolvimento do projeto Seis Sigma na empresa Alfa em função de diretrizes estabelecidas pelo Grupo.

3.2.1.3. DESENHAR O MAPA DO PROCESSO

O mapa do processo representado na Figura 12, apresenta as etapas do processo da engenharia detalhada.

Figura 12: Mapa do processo de engenharia detalhada



Fonte: Autoria própria

3.2.2. FASE MEASURE

Para a realização da medição do projeto aplicado ao processo de engenharia, foram levantados os indicadores utilizados para monitorar o processo em questão. Os itens medidos foram:

- Custo do setor de engenharia e horas extras;
- Número de revisões da área de engenharia e estratificação dos motivos de revisão;

3.2.2.1. CUSTO DA ÁREA DE ENGENHARIA

O departamento de engenharia da empresa Alfa é composto de 10 profissionais entre colaboradores diretos e terceiros.

Os custos totais do departamento foram calculados de **Abril de 2013 à primeira quinzena de Setembro de 2013**.

A Figura 13 demonstra o custo total do departamento de engenharia com a indicação dos custos de horas extras no mesmo período.

Figura 13: Custos do departamento de engenharia incluindo horas extras

	Custo fixo	% Horas extras	Horas extras
Abril	R\$ 72.000	2,7%	R\$ 1.944
Maio	R\$ 72.000	3,5%	R\$ 2.520
Junho	R\$ 72.000	2,2%	R\$ 1.584
Julho	R\$ 72.000	2,8%	R\$ 2.016
Agosto	R\$ 72.000	8,2%	R\$ 5.904
Setembro	R\$ 72.000	6,3%	R\$ 4.536
	Média	4,3%	R\$ 3.084

Fonte: Autoria própria

Conforme indicado na Figura 13, os dados mostram que o custo do departamento de engenharia tem um acréscimo médio mensal de **4,3%** ou **R\$ 3.084,00** em função de jornada extraordinária. O aumento de horas extras está diretamente relacionado com o aumento da carga de trabalho da engenharia e com a necessidade de revisão de documentos (desenhos de engenharia).

O cálculo da média (**M**) de horas extras está demonstrado a seguir:

$$\text{Média} = 1.944 + 2.520 + 1.584 + 2.016 + 5.904 + 4.536$$

$$\text{Média} = 3.084$$

Note que a média do valor pago com horas extras (Figura 14), não é igual a nenhum dos valores pagos nos meses avaliados. É um número que mostra onde mais se concentram os dados de uma distribuição.

Figura 14: Média de horas extras

	Custo fixo	% Horas extras	Horas extras	Media
Abril	R\$ 72.000	2,7%	R\$ 1.944	R\$ 3.084
Mai	R\$ 72.000	3,5%	R\$ 2.520	R\$ 3.084
Junho	R\$ 72.000	2,2%	R\$ 1.584	R\$ 3.084
Julho	R\$ 72.000	2,8%	R\$ 2.016	R\$ 3.084
Agosto	R\$ 72.000	8,2%	R\$ 5.904	R\$ 3.084
Setembro	R\$ 72.000	6,3%	R\$ 4.536	R\$ 3.084
	Média	4,3%	R\$ 3.084	

Fonte: Autoria própria

Muitas vezes, a média não é suficiente para avaliar um conjunto de dados. Quando se avalia a média de horas extras, este dado sozinho, não significa nada. Pode ser que no conjunto de dados avaliado existam meses em que foram realizadas muitas horas extras e em outros nos quais a quantidade não foi significativa. É importante, então, conhecer outra medida, a qual mostra a diferença (dispersão) existente entre a média e os valores do conjunto. Esta medida está demonstrada na Figura 15.

Figura 15: Dispersão

	Custo fixo	% Horas extras	Horas extras	Media	Desvio
Abril	R\$ 72.000	2,7%	R\$ 1.944	R\$ 3.084	R\$ 1.140
Mai	R\$ 72.000	3,5%	R\$ 2.520	R\$ 3.084	R\$ 564
Junho	R\$ 72.000	2,2%	R\$ 1.584	R\$ 3.084	R\$ 1.500
Julho	R\$ 72.000	2,8%	R\$ 2.016	R\$ 3.084	R\$ 1.068
Agosto	R\$ 72.000	8,2%	R\$ 5.904	R\$ 3.084	-R\$ 2.820
Setembro	R\$ 72.000	6,3%	R\$ 4.536	R\$ 3.084	-R\$ 1.452
	Média	4,3%	R\$ 3.084		

Fonte: Autoria própria

Outro dado importante é obtido pela soma dos desvios ao quadrado. Cada desvio é elevado ao quadrado e, em seguida, somados, conforme figura 16.

Figura 16: Quadrados dos desvios

	Custo fixo	% Horas extras	Horas extras	Media	Desvio	Quadrado dos desvios
Abril	R\$ 72.000	2,7%	R\$ 1.944	R\$ 3.084	R\$ 1.140	R\$ 1.299.600
Maio	R\$ 72.000	3,5%	R\$ 2.520	R\$ 3.084	R\$ 564	R\$ 318.096
Junho	R\$ 72.000	2,2%	R\$ 1.584	R\$ 3.084	R\$ 1.500	R\$ 2.250.000
Julho	R\$ 72.000	2,8%	R\$ 2.016	R\$ 3.084	R\$ 1.068	R\$ 1.140.624
Agosto	R\$ 72.000	8,2%	R\$ 5.904	R\$ 3.084	-R\$ 2.820	R\$ 7.952.400
Setembro	R\$ 72.000	6,3%	R\$ 4.536	R\$ 3.084	-R\$ 1.452	R\$ 2.108.304
	Média	4,3%	R\$ 3.084	Soma dos quadrados dos desvios		R\$ 15.069.024,00

Fonte: Autoria própria

A soma dos quadrados dos desvios dividida pelo número de ocorrências é chamada de variância.

Logo:

$$V = \frac{15.069.024}{6}$$

$$V = 2.511.504$$

Outro valor que pode ser obtido a partir da média e da variância é o desvio padrão. Como os desvios foram elevados ao quadrado, deve-se tirar a raiz quadrada da variância e achar o desvio padrão:

$$Dp = \sqrt{2.511.504} = 1.584,56$$

$$Dp = 1.584$$

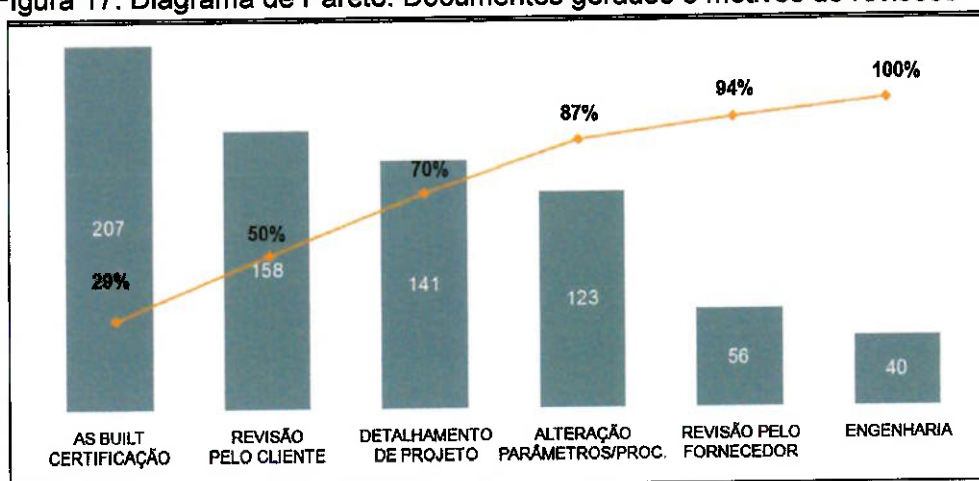
Note que, apesar de ter sido pago somente R\$1.584 no mês de Junho referente a horas extras, os valores pagos em agosto e setembro superaram em mais de 100% o menor valor pago o período avaliado, mostrando um comportamento irregular.

3.2.2.2. NÚMERO DE REVISÕES E ESTRATIFICAÇÃO POR MOTIVOS DE REVISÃO

Outro indicador utilizado para medir o desempenho do departamento setor é o número de documentos gerados pela engenharia no mesmo período (de Abril à primeira quinzena de Setembro de 2013). O número total de documentos emitidos no

período está indicado na Figura 17 e representa a estratificação dos respectivos motivos de revisão.

Figura 17: Diagrama de Pareto. Documentos gerados e motivos de revisões



Fonte: Autoria própria

No Diagrama de Pareto indicado acima, verificou-se que no período informado foram revisados 725 documentos, os quais estão classificados com os motivos de revisão, conforme listado a seguir:

- As built e certificação;
- Revisão pelo cliente;
- Detalhamento de projeto;
- Alteração de parâmetros e processos;
- Revisão pelo fornecedor;
- Erro de Engenharia.

O número médio de documentos revisados pelo departamento de engenharia no período é de 131 documentos/mês e desvio padrão igual a 66, conforme demonstrado a seguir, na figura 18.

Figura 18: Desvios e quadrados dos desvios

	Documentos emitidos	Desvio	Quadrado dos desvios
Abril	76	55	3025
Mai	99	32	1024
Junho	62	69	4761
Julho	79	52	2704
Agosto	231	-100	10000
Setembro	178	-47	2209
Média	131	Soma Quadrado dos desvios	23723

Fonte: Autoria própria

Variância

$$V = \frac{23.723}{5,5}$$

$$V = 4.313$$

Desvio Padrão

$$Dp = \sqrt{4.313}$$

$$Dp = 66$$

O número total de documentos emitidos e revisados serão os dois indicadores utilizados para avaliar a situação final do projeto Seis Sigma de forma a identificar as mudanças e melhorias frente às ações levantadas. Posteriormente, esses dados serão divididos em períodos menores de 15 dias para avaliar o período de aplicação das ações do projeto.

3.2.3. FASE ANALYSE

Na fase de análise, a ferramenta diagrama de Ishikawa, também conhecida como diagrama de Causa e Efeito foi utilizada. Esta ferramenta tem como objetivo identificar as principais causas dos efeitos identificados como responsáveis pelo alto índice de revisões de desenho de engenharia.

Depois de realizadas as medições e concluída as análises, verificou-se que as revisões classificadas como: as *built* (certificação), revisão pelo cliente (exigências/mudanças/normas) e detalhamento de projeto representavam 70% das revisões geradas dentro da engenharia, as quais consumiam tempo e custo que poderiam ser otimizados, sendo necessário identificar a relação entre o resultado destes processos (“efeito”) e seus fatores (“causas”) de forma a sugerir melhorias.

Esta análise foi conduzida por um grupo multidisciplinar, incluindo os responsáveis dos processos de engenharia básica, engenharia detalhada, qualidade e coordenação de projetos, os quais possuem conhecimento do processo estudado e do problema identificado.

A construção do diagrama de Ishikawa, também conhecido como Diagrama de Espinha de Peixe, foi desenvolvida respeitando-se as seguintes etapas para elaboração:

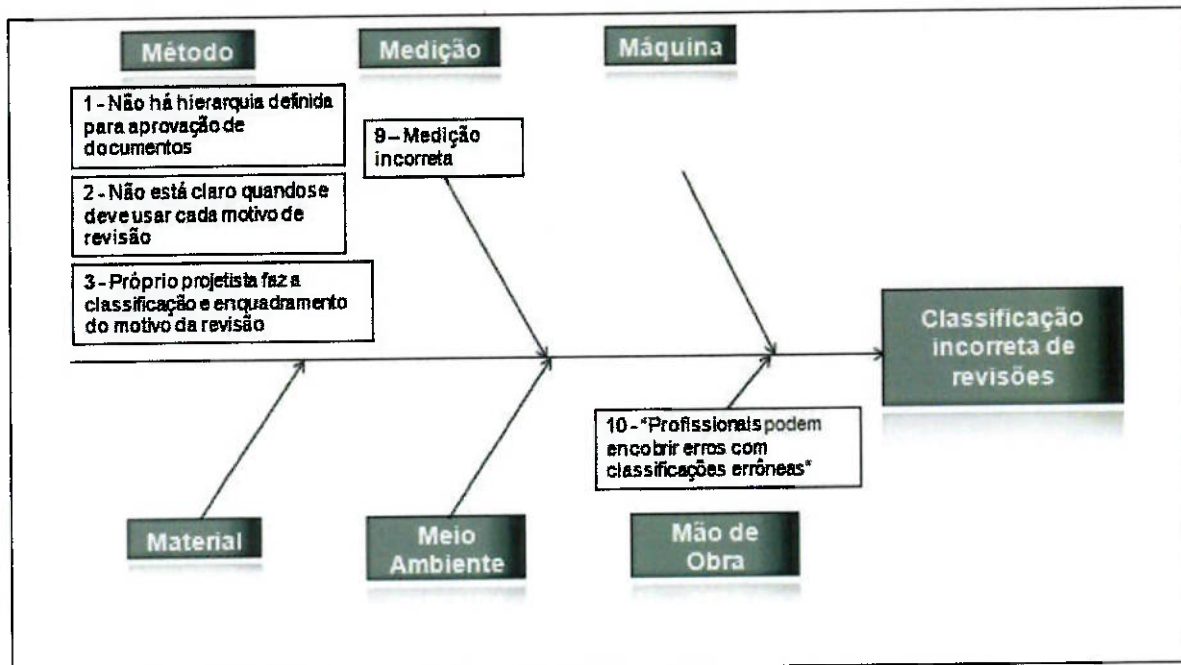
- 1) Determinar os efeitos a considerar:
 - a. Hora extra;
 - b. Revisão de engenharia (em função de erros);
 - c. Classificação incorreta de tipos de revisão.

- 2) Definir os principais fatores que estarão ligados à seta principal (seguindo os critérios dos 6 M's - mão-de-obra, materiais, máquinas, métodos, meio ambiente e medição).

De acordo com a equipe envolvida no processo de análise de causa dos efeitos indesejados, as principais causas de revisões de desenho de engenharia foram ilustradas em um Diagrama de Ishikawa, demonstrado nas Figura 19, 20 e 21.

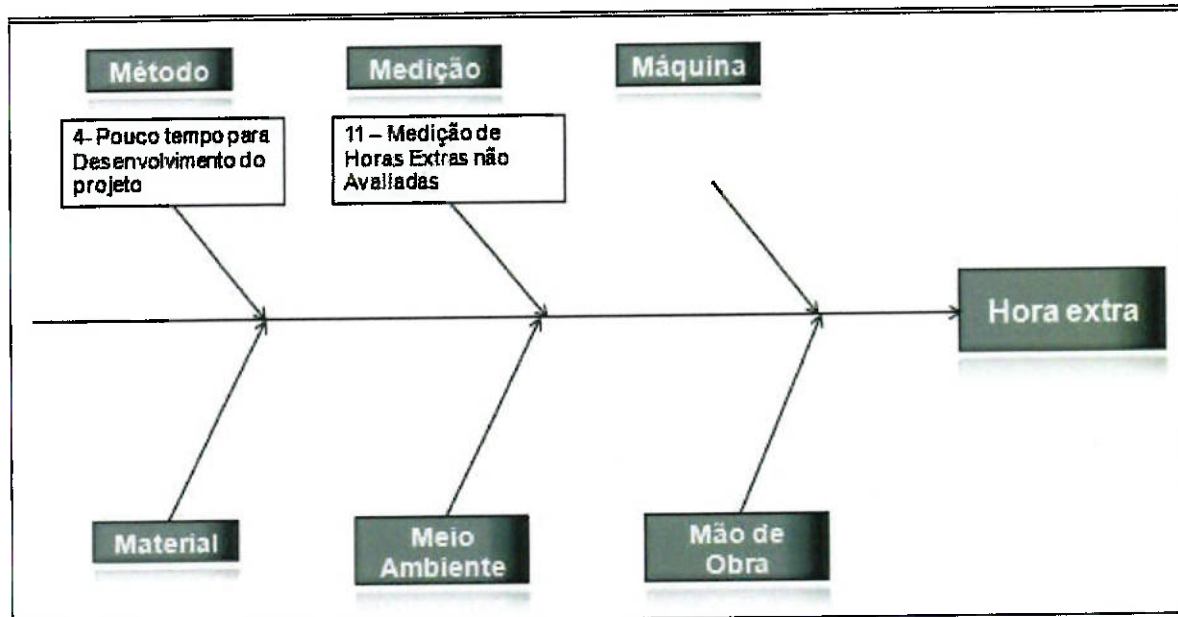
3.2.3.1. CLASSIFICAÇÃO INCORRETA DE REVISÕES

Figura 19: Diagrama de Ishikawa – classificação incorreta de revisões



Fonte: Autoria própria

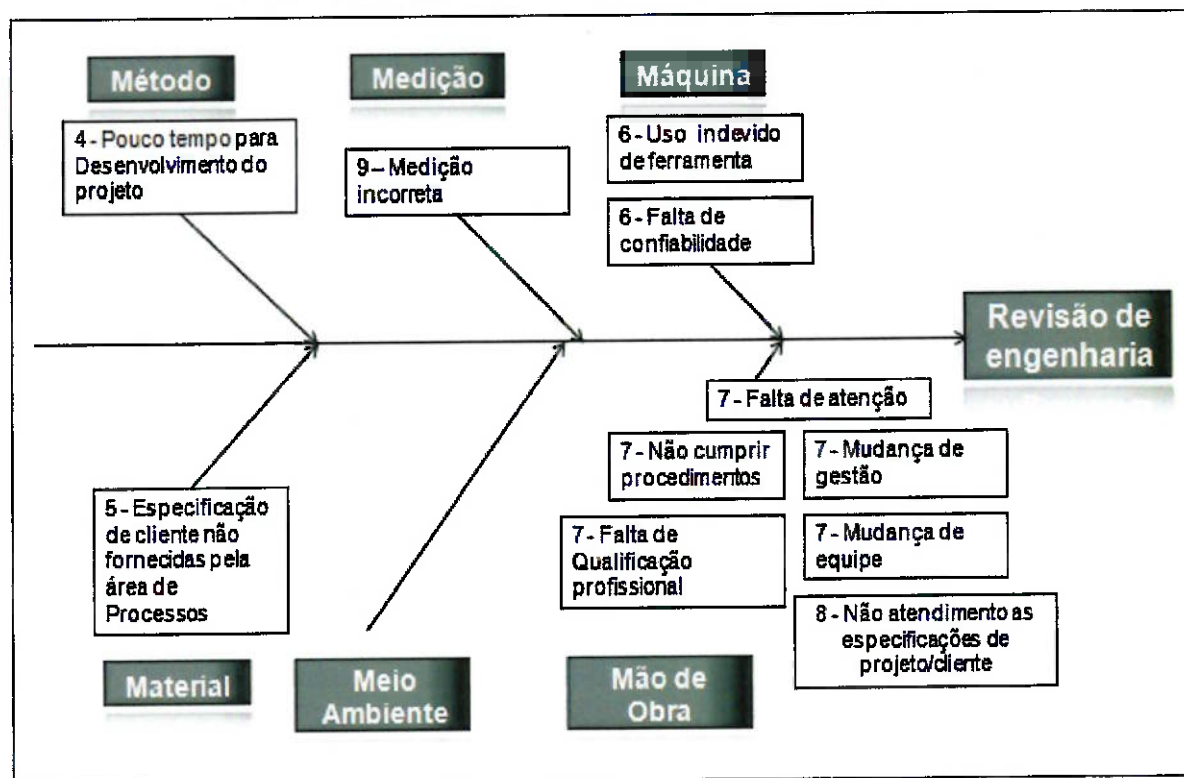
Figura 20: Diagrama de Ishikawa – horas extras



Fonte: Autoria própria

3.2.3.2. REVISÃO DE ENGENHARIA

Figura 21: Diagrama de Ishikawa – revisão de engenharia



Fonte: Autoria própria

Após as medições e análises, verificou-se que as *built* (certificação), revisão pelo cliente (exigências/mudanças/normas) e detalhamento de projeto estavam consumindo muito tempo e custo, sendo necessário medir as falhas dos serviços e sugerir melhorias nesses processos.

Conforme levantamento com a equipe, as causas dos problemas são:

- Erro de engenharia:
 - Não cumprimento de procedimentos já estabelecidos;
 - Projetos executados em período insuficiente para o seu desenvolvimento;
 - Mudança substancial da equipe;
 - Mudança de gestão;

- Não atendimento às especificações de projeto/cliente;
- Uso indevido da ferramenta (software).
- Classificação incorreta de motivos de revisão (enquadramento equivocado):
 - Falta de imparcialidade da classificação da revisão (o projetista é responsável por fazer a classificação e enquadramento do motivo da revisão);
 - Falta de definição de hierarquia para aprovação de documentos;
 - Falta de conhecimento por parte dos colaboradores no conceito de enquadramento das classificações de revisões.

3.2.4. FASE IMPROVEMENT

Na fase de melhoria foram selecionadas e implantadas ações com base na análise da etapa anterior levando-se em consideração o quanto as mesmas agregarão de valor no processo. Após a definição das causas raiz, foi elaborado um plano de ações a serem implementadas de modo a se alcançar a melhoria do processo. As ações referentes a cada uma das causas raiz estão apresentadas na Tabela 1, juntamente com o prazo em que serão desenvolvidas.

Tabela 1: Plano de ação

Problema	Ação	Responsável	Prazo
1) Falta de definição de hierarquia para aprovação de documentos;	Definição de procedimento de verificação cruzada de documentos	Darlon/Marcos	set/13
2) Falta de conhecimento por parte dos colaboradores no conceito de enquadramento das classificações de revisões.	Criar manual de classificação de revisão e treinar a equipe no manual de classificação.	Darlon	out/13
3) Falta de imparcialidade da classificação da revisão	Os colaboradores responsáveis por verificar e aprovar o documento devem validar a classificação	Verificador/Aprovador	out/13
4) Projetos executados em período insuficiente para o seu desenvolvimento	a) Definição de prazo mínimo para análise de documentação e estabelecimento de prazo para desenvolvimento do projeto.	Marcos	set/13
	b) Elaborar planilha de horas de engenharia por disciplina.	Darlon	set/13
5) Uso indevido da ferramenta (software) / falta de confiabilidade	Não aplicável		
6) Especificações de clientes não fornecidas pela área de processos.	Analisar a consistência dos documentos de passagem do obra.	Coordenação de projetos	set/13
7) Não cumprimento de procedimentos já estabelecidos;	Auditorias mensais de qualidade após medição mensal dos indicadores.	Qualidade	out/13
	Separação das áreas de qualidade e RH	RH/Qualidade	out/13
8) Não atendimento às especificações de projeto/cliente	Estratificar análise de erro de engenharia.	Qualidade/Engenharia	out/13
9) Falta de monitoramento de horas de engenharia	Monitoramento mensal de jornada extraordinária engenharia	RH/Engenharia	out/13

Fonte: Autoria própria

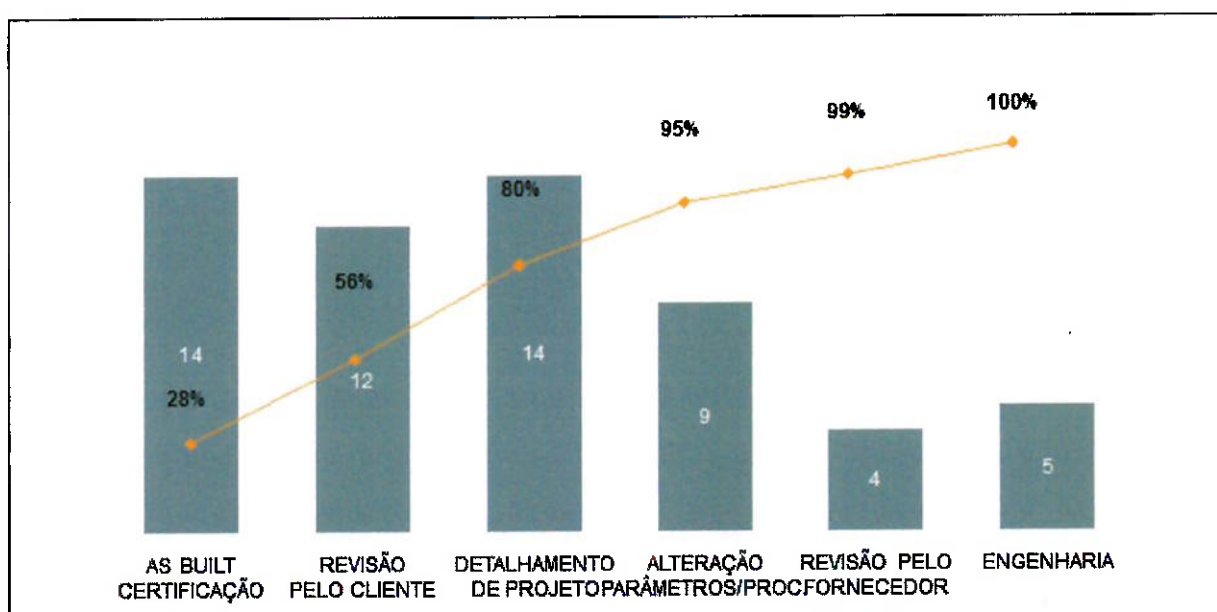
3.2.5. FASE CONTROL

O monitoramento do indicador de horas extras, revisão de engenharia e controle de custos de projeto, descritas no item anterior, continuou sendo feito. Os resultados obtidos após implementação das ações corretivas estão apresentados nas figuras abaixo.

A figura 22 mostra as revisões de engenharia após as ações. A Figura 23 apresenta a comparação das revisões de engenharia antes após ações implementadas.

Antes das ações foi avaliado o período de Abril e Agosto e após as ações foi avaliado o período de Setembro. Obteve-se uma redução de 12% na quantidade de revisões de engenharia após as ações. A Figura 18 apresenta o custo de engenharia antes e após as ações corretivas. Comparando a média das horas extras no período de Abril a Agosto de 2013 com a média do período de Setembro a empresa teve uma redução de 2,3% nos custos.

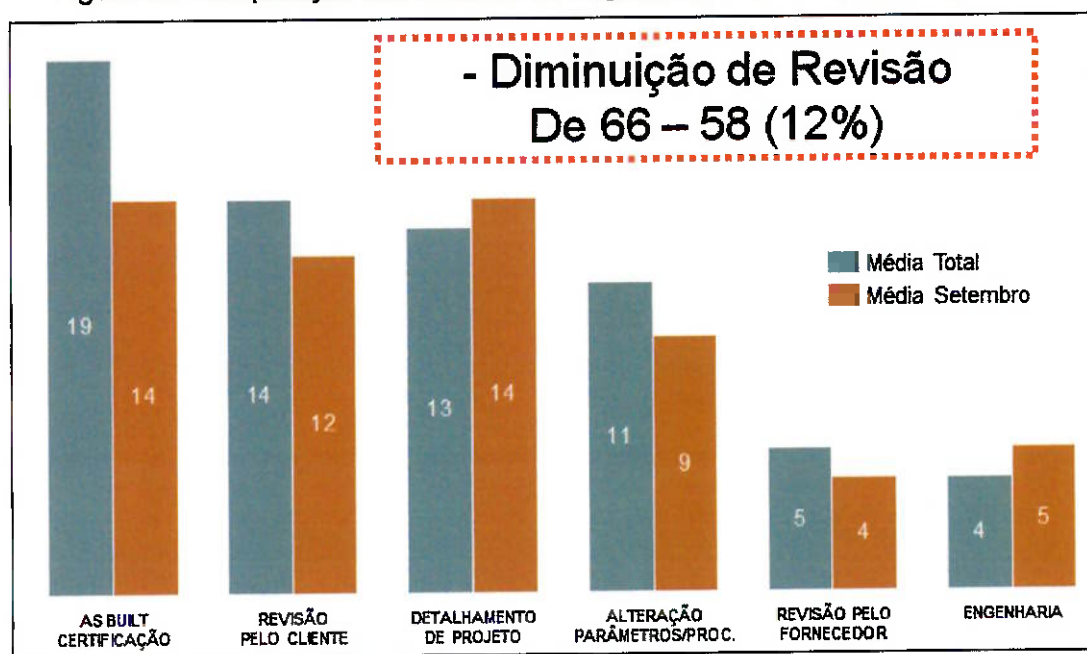
Figura 22: Revisões de engenharia após implementação das ações



Fonte: Autoria própria

A Figura 23 representa a comparação das revisões de engenharia do antes e após as ações e a Figura 24 demonstra a diminuição dos custos de engenharia.

Figura 23: Comparação das revisões de engenharia antes e após as ações



Fonte: Autoria própria

Figura 24: Custos de engenharia



Fonte: Autoria própria

4.0. CONCLUSÃO/RESULTADOS

Este trabalho apresenta resultados que evidenciam a importância da estruturação do projeto Seis Sigma na empresa Alfa visando contribuir para o potencial estratégico da organização.

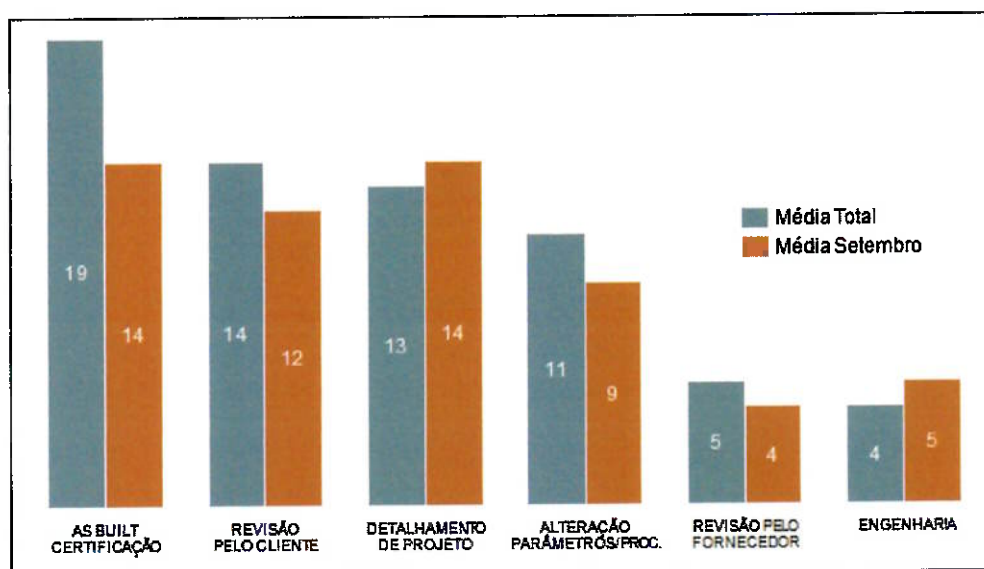
Para realizar a análise dos resultados do projeto Seis Sigma aplicado, realizamos a divisão do período por quinzenas, conforme indicado no item 3.2.2. Measure.

Os resultados do projeto foram avaliados a partir dos indicadores mencionados anteriormente.

4.1. NÚMERO DE REVISÕES E MOTIVOS DE REVISÃO

O gráfico abaixo mostra o número de revisões após a aplicação das ações. Verifica-se uma diminuição considerável de 66 para 58 revisões no período, o que indica uma taxa de redução de 12%.

Figura 25: Número de revisões e motivos após as ações



Fonte: Autoria própria

4.2. CUSTO DA ÁREA DE ENGENHARIA

A tabela abaixo indica a redução do número de horas extras no período de avaliação. Inicialmente a média mensal de horas extras era de 4,3%. Após aplicação das ações, houve uma redução de 2,3% na quantidade de horas extras, totalizando uma média de 2,0% a partir de então. Essa redução aplicada ao custo fixo do departamento de engenharia resulta numa economia anual de R\$ 19.872,00.

Tabela 2: Custos do departamento de engenharia com horas extras

	Custo Fixo	% Horas Extras	Horas Extras
Setembro	R\$ 72.000,00	2,0%	R\$ 1.440,00
Média		-2,3%	R\$ 19872,00/ano

Mesmo com resultados iniciais, podemos concluir que a aplicação da metodologia Seis Sigma trouxe ganhos no projeto, tanto na redução do custo de horas extras, quanto na quantidade de revisões elaboradas pelo departamento de engenharia. Além dos ganhos tangíveis foram levantados outros ganhos, como, responsabilidade dos colaboradores, maior envolvimento e uma cultura voltada para a redução de variabilidade. Os itens listados acima, são incentivadores e motivadores para a continuidade do projeto e implementação do mesmo em outros processos.

4.3. SUGESTÕES PARA TRABALHOS FUTUROS

Devido ao tempo e aos recursos disponíveis para a implantação do projeto, nem todas as ações e atividades foram possíveis de implementação, gerando assim uma lista de possíveis projetos que poderão ser aplicados no futuro. Entre esses projetos podemos destacar:

4.3.1 ADITIVO CONTRATUAL DE PROJETOS

Com um maior controle do número e motivos de revisões dos projetos elaborados pelo setor de engenharia, será possível dimensionar e confrontar as alterações frente ao escopo vendido aos clientes. Gerando assim um potencial para aditivos de projetos.

4.3.2. ANÁLISE DE BUDGET X CUSTO DE ENGENHARIA

Com o controle do custo e das horas extras realizadas pelo setor de engenharia será possível avaliar a assertividade do levantamento de tempo para elaboração de novos projetos e o custo real de cada um deles.

4.3.3. PADRONIZAÇÃO DE PROJETOS

Empresa busca criar modelos de projetos que tenham algumas informações comuns e padronização de algumas etapas. Com isso a área de engenharia não seria tão utilizada, devido a padrões criados.

4.3.4. AVALIAÇÃO DAS REVISÕES DE PROJETOS POR DISCIPLINA

Após a estabilização do número de revisões dos projetos será possível passar a avaliar o motivo das revisões e discutir junto aos envolvidos as causas de cada uma delas.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ADAMS, Cary W. *et al.* **Six Sigma Deployment**. Butterworth Heinemann, 2003.

AGUIAR, Silvio. **Integração das Ferramentas da Qualidade ao PDCA e ao Programa Seis Sigma**. INDG Tecnologia e Serviços Ltda, 2002.

BASU, Ron; WRIGHT, Nevan. **Quality Beyond Six Sigma**. Elsevier Butterworth Heinemann, 2003

BLAKESLEE JR., J.A. **Achieving quantum leaps in quality and competitiveness: implementing the Six Sigma solution in your company**. Proc. 53th Annual Quality Congress of the American Society for Quality, Anaheim, Califórnia, mai./99.

ECKES, G. **A revolução Seis Sigma: o método que levou a GE e outras empresas a transformar processos em lucros**. Trad. Reynaldo Cavaleiro Marcondes. 3.ed. Rio de Janeiro: Campus, 2001.

GIOCONDO, Francisco I. César. **Ferramentas Básicas da Qualidade. Instrumentos para gerenciamento de processo e melhoria contínua**. São Paulo: Biblioteca 24horas, 2011.

LUCINDA, Marcos Antônio. **Qualidade: fundamentos e práticas para curso de graduação**. 3 ed. Rio de Janeiro: Brasport, 2010.

PANDE, P.; NEUMAN, R. P. e CAVANAGH R., R. **Estratégia Seis Sigma: como GE, a Motorola e outras grandes empresas estão aguçando seu desempenho**. 3. ed. Rio de Janeiro: Qualitymark, 2001.

RODRIGUES, Marcus Vinicius Carvalho. **Entendendo, Aprendendo, Desenvolvendo Qualidade Padrão Seis Sigma**. Rio de Janeiro: Qualitymark, 2006.

ROTONDARO, R. G. **Seis Sigma: estratégia gerencial para melhoria de processos, produtos e serviços**. São Paulo: Atlas, 2012.

SHEWART, Walter Andrew. **Statistical method from the viewpoint of quality control**. Washington: The Graduate School, The Dept. of Agriculture, 1939.

SMITH, B. & ADAMS, E. **LeanSigma: advanced quality**. Proc. 54th Annual Quality Congress of the American Society for Quality, Indianapolis, Indiana, mai./00.

TRAD, Samir. **Seis Sigma: fatores críticos de sucesso de sua implantação e impacto sobre desempenho organizacional**. 2006. 177p. Dissertação(Mestrado) – Universidade de São Paulo, São Paulo, 13.11.2006.

WERKEMA, Cristina. **Lean Seis Sigma. Introdução as ferramentas do Lean Manufacturing**. Editora Campus/Elsevier, 2002.

WILSON P. Mario. **Seis Sigma: compreendendo os conceitos, as implicações e os desafios**. Rio de Janeiro: Qualitymark, 2000.