ALEXANDRE FIORAVANTI

**APLICAÇÃO DA METODOLOGIA
“DESIGN FOR SIX SIGMA” (DFSS)
EM PROJETOS AUTOMOTIVOS**

Trabalho de Curso apresentado à
Escola Politécnica da Universidade
de São Paulo, para obtenção do
Título de Mestre em Engenharia
Automotiva.

São Paulo

2005

ALEXANDRE FIORAVANTI

**APLICAÇÃO DA METODOLOGIA
“DESIGN FOR SIX SIGMA” (DFSS)
EM PROJETOS AUTOMOTIVOS**

Trabalho de Curso apresentado à
Escola Politécnica da Universidade
de São Paulo, para obtenção do
Título de Mestre em Engenharia
Automotiva.

Área de concentração:
Engenharia Automotiva

Orientador:
Prof. Livre-Docente
Paulo Carlos Kaminski

São Paulo
2005

Fioravanti, Alexandre

**Aplicação da metodologia "Design for Six Sigma" (DFSS) em projetos automotivos / A. Fioravanti. -- São Paulo, 2005.
118 p.**

Trabalho de curso (Mestrado Profissionalizante em Engenharia Automotiva). Escola Politécnica da Universidade de São Paulo.

**1.DFSS 2.Seis Sigma 3.Desenvolvimento de produtos I.Uni-
versidade de São Paulo. Escola Politécnica. II.t.**

À minha esposa, amiga e companheira Claudete, que têm sido a grande razão do meu crescimento como pessoa e como profissional.

AGRADECIMENTOS

Agradeço acima de tudo a Deus pela garra e força de vontade principalmente nos momentos mais difíceis.

Ao meu orientador Prof. Dr. Paulo Carlos Kaminski pelas importantes recomendações, oportunidades, orientação e apoio, que muito engrandeceram na elaboração deste trabalho.

À Maria Claudete A. O. Fioravanti, minha esposa e colega de graduação e mestrado, pelo companheirismo, total incentivo e inestimáveis comentários e sugestões de grande valia para a execução do trabalho.

Aos meus pais Hilário e Darcy, aos meus segundos pais Manuel e Lurdes, a minha irmã Fernanda e restante família por tudo que me proporcionaram e por saber entender e apoiar ao longo desta jornada.

Aos profissionais da GMB, que colaboraram com experiência, material e paciência, bem como pela ajuda e amizade ao longo do desenvolvimento deste mestrado.

Finalmente a todos, de maneira geral, que, direta ou indiretamente, colaboraram para que esta oportunidade se realizasse.

RESUMO

Este presente trabalho visa avaliar a aplicação da metodologia *Design for Six Sigma* (DFSS) ao processo de desenvolvimento de veículos (PDV) visando atingir níveis de qualidade *Seis Sigma* quando do início do processo de fabricação. Na verdade, quando se fala em fabricar produtos que já nasçam com níveis de qualidade Seis Sigma, não significa que seja mandatório que se obtenha a honrosa relação de 3,4 defeitos por milhão de oportunidades, mas sim que proporcionem resultados positivos em relação à melhoria da qualidade, otimização de custos, redução do tempo de desenvolvimento, vislumbrando o mais importante de todos os aspectos: o total entusiasmo do cliente. Para tanto, quando se fala da aplicação do DFSS no âmbito do desenvolvimento de veículos, o panorama deste contexto torna-se relativamente mais amplo e complexo, face ao nível de desenvolvimento tecnológico deste setor. O assunto é introduzido descrevendo-se o processo de desenvolvimento de veículos em sua abordagem atualmente difundida, alicerçada por um processo bem definido e estruturado, para se poder introduzir o DFSS neste processo. Antes, porém, introduz-se toda a metodologia referente ao *Seis Sigma*, por ser o fundamento base para a criação do DFSS. Por fim, a colocação de um estudo de caso procura relatar a aplicação da metodologia DFSS aplicada especificamente para a GM, procurando relatar a estratégia da aplicação, bem como seus principais ganhos alcançados.

ABSTRACT

This present work aims to evaluate the application of the *Design for Six Sigma* (DFSS) methodology to the vehicle development process (VDP) seeking to reach *Six Sigma* quality levels when the beginning of the production process. Actually, when it is spoken in manufacturing products that are already born with Six Sigma quality levels, it doesn't mean that it is mandatory that must be obtained the honorable relationship of 3,4 defects per millions of opportunities, but that provide positive results in relation to the quality improvement, costs optimization, reduction of the development timing, glimpsing the most important of all of the aspects: the customer's total enthusiasm. For that, when it is spoken about the application of DFSS in the extent of the vehicles development, the scenery of this context becomes relatively wider and complex, face at the level of technological development of this section. The subject is introduced being described the vehicles development process in its approach currently spread, found by a very defined and structured process, to allow introducing DFSS in this process. Before, however, the whole methodology regarding *Six Sigma* is introduced, for being the foundation base for the creation of DFSS. Finally, the placement of a case study tries to demonstrate the application of the DFSS methodology applied specifically for GM, trying to report the strategy of the application, as well as their main reached benefits.

SUMÁRIO

RESUMO

ABSTRACT

LISTA DE FIGURAS

LISTA DE TABELAS

LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

1. INTRODUÇÃO	01
1.1. Relevância do tema	01
1.2. Objetivo do trabalho	03
1.3. Estrutura do trabalho	04
2. O PROCESSO DE DESENVOLVIMENTO DE VEÍCULOS	05
2.1. Conceito de desenvolvimento do produto	05
2.2. Exemplos de modelos propostos	06
2.3. Histórico do processo de desenvolvimento de veículos	11
2.4. O conceito da QS 9000 e do APQP	13
2.5. O processo de desenvolvimento de veículos na GM	14
2.5.1. Definição do tipo de arquitetura	15
2.5.2. A estrutura do VDP	17
2.5.3. Classificação de um programa segundo o VDP	19
3. A METODOLOGIA <i>DESIGN FOR SIX SIGMA</i> (DFSS)	21
3.1. Apresentação da metodologia <i>Seis Sigma</i>	21
3.1.1. Definição do <i>Seis Sigma</i>	21
3.1.2. Origem e evolução do <i>Seis Sigma</i>	24
3.1.3. A metodologia <i>Seis Sigma</i>	26
3.1.3.1. A fase DEFINIR	26
3.1.3.2. A fase MEDIR	29
3.1.3.3. A fase ANALISAR	30
3.1.3.4. A fase MELHORAR	31
3.1.3.5. A fase CONTROLAR	32

3.1.4. A estrutura <i>Seis Sigma</i>	34
3.1.4.1. A equipe <i>Seis Sigma</i>	35
3.1.4.1.1. Os “Líderes”	36
3.1.4.1.2. Os “Patrocinadores” ou “Campeões”	37
3.1.4.1.3. Os “Master Black Belts”	38
3.1.4.1.4. Os “Black Belts”	39
3.1.4.1.5. Os “Green Belts”	39
3.1.4.2. Treinamento	40
3.1.4.3. Implementação do <i>Seis Sigma</i>	42
3.2. Apresentação da metodologia <i>DESIGN FOR SIX SIGMA</i> (DFSS)	44
3.2.1. Definição do <i>Design for Six Sigma</i>	44
3.2.2. Origem do DFSS	45
3.2.3. O DFSS x Seis Sigma	46
3.2.4. A metodologia DFSS	49
3.2.5. Análise dos elementos do DFSS	53
3.2.5.1. O DFSS x APQP	54
3.2.5.2. O DFSS x ISO 9001:2000	56
3.2.6. A estrutura do DFSS	58
3.2.6.1. A estrutura organizacional matricial	58
3.2.6.2. A equipe DFSS	58
3.2.6.3. Treinamento	59
4. O <i>DESIGN FOR SIX SIGMA</i> (DFSS) NA GM	61
4.1. Introdução da metodologia na GM	61
4.2. Definição do DFSS para a GM	62
4.3. A metodologia do DFSS na GM	66
4.3.1. Determinação das características críticas para o cliente (CTQs)	67
4.3.1.1. Identificação do problema/oportunidade	67
4.3.1.2. Identificação das observações e pontos críticos dos clientes (<i>Customer Qs</i>)	68
4.3.1.3. Tradução das <i>Customer Qs</i> em <i>System</i>	69

4.3.2. Previsão da qualidade (<i>Quality Prediction</i>).....	70
4.3.2.1. Estabelecimento dos níveis de qualidade e performance para cada CTQ selecionado	70
4.3.2.1.1. Definição de <i>Zigma</i> (<i>Z</i>)	71
4.3.2.2. Geração das funções de transferência do sistema	71
4.3.2.2.1. A função de transferência	73
4.3.2.2.2. O diagrama estrutural	73
4.3.2.2.3. O diagrama funcional	74
4.3.2.3. Análise da capacidade dos CTQs do sistema	75
4.3.2.4. Execução dos modelos para determinação dos objetivos e variações	76
4.3.2.5. Identificação e avaliação da capacidade dos CTQs dos subsistemas	76
4.3.3. Otimização do projeto	77
4.3.4. Testes e verificações	77
4.4. A estruturação da equipe de trabalho DFSS	78
4.5. O treinamento em DFSS	80
4.6. O método de controle dos trabalhos do projeto	81
 5. APRESENTAÇÃO DO ESTUDO DE CASO	 91
5.1 Considerações gerais	91
5.2. Projeto <i>Design for Six Sigma</i> (DFSS): Bocal do sistema de abastecimento de combustível	91
5.2.1. Apresentação do sistema	91
5.2.2. Razão da escolha	93
5.2.3. Os atuais níveis de desempenho	94
5.2.4. Tempo de execução do projeto	95
5.2.5. Aplicação da metodologia DFSS	96
5.2.5.1 Determinação dos CTQs do sistema	96
5.2.5.2 Previsão da qualidade	97
5.2.5.3 Otimização do projeto	103
5.2.5.4 Testes e verificações	106

5.2.6. Resultados obtidos	107
6. ANÁLISE DO ESTUDO DE CASO	108
7. CONCLUSÃO	112
REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	114

LISTA DE FIGURAS

Figura 2.1 – Fatores de influência no projeto, adaptada de KAMINSKI	05
Figura 2.2 – Setores envolvidos e responsáveis pelas atividades de desenvolvimento, adaptada de KAMINSKI	07
Figura 2.3 – Modelo de atividade de projeto, adaptada de PUGH	08
Figura 2.4 – Processo de implantação do APQP	14
Figura 2.5 – Elementos arquiteturais do veículo	16
Figura 2.6 – Estrutura básica do processo VDP	18
Figura 3.1 – Representação gráfica de um processo <i>Seis Sigma</i>	22
Figura 3.2 – Representação gráfica de um processo a longo prazo	23
Figura 3.3 – Conversão da capacidade do processo em sigmas	24
Figura 3.4 – Exemplo de uma <i>Carta de Projeto</i> adaptada de PANDE et al.	28
Figura 3.5 – O ciclo de hipótese/análise da causa-raiz, adaptada de PANDE et al.	31
Figura 3.6 – Variações em papéis genéricos e faixas ou outros títulos, adaptada de PANDE et al.	36
Figura 3.7 – Fatores críticos de sucesso, adaptada de BLAKESLEE	43
Figura 3.8 – Decisão da metodologia a utilizar, adaptada de WERKEMA	48
Figura 3.9 – O Método DMADV, adaptada de WERKEMA	51
Figura 4.1 – Curva “Risco Produtor x Consumidor”, adaptada de KOUMARS .	63
Figura 4.2 – Comparação: <i>Seis Sigma</i> x DFSS, adaptada de KIOUMARS	64
Figura 4.3 – Fluxo de processo do DFSSS	67
Figura 4.4 – Relações entre os CTQ’s e os subsistemas, adaptada de CELOTTO	72
Figura 4.5 – Diagrama estrutural do sistema de porta lateral	74
Figura 4.6 – Diagrama funcional do sistema de porta lateral	75
Figura 4.7 – Formulário “ <i>Problem/Opportunity</i> ”, adaptada de GENERAL MOTORS CORPORATION (2003b)	82
Figura 4.8 – Formulário “ <i>Project Plan</i> ”, adaptada de GENERAL MOTORS CORPORATION (2003b)	83

Figura 4.9 – Formulário “ <i>Team and Leadership Roster</i> ”, adaptada de GENERAL MOTORS CORPORATION (2003b)	84
Figura 4.10 – Formulários de indicadores de qualidade, adaptada de GENERAL MOTORS CORPORATION (2003b)	85
Figura 4.11 – Formulário “ <i>Customer Qs and System CTQs</i> ”, adaptada de GENERAL MOTORS CORPORATION (2003b)	86
Figura 4.12 – Formulário “ <i>Performance Worksheet and Quality Targets</i> ”, adaptada de GENERAL MOTORS CORPORATION (2003b)	86
Figura 4.13 – Formulário “Top Level Scorecard”, adaptada de GENERAL MOTORS CORPORATION (2003b)	88
Figura 4.14 – Formulário “ <i>Optimize/Formalize Design</i> ”, adaptada de GENERAL MOTORS CORPORATION (2003b)	89
Figura 4.15 – Formulário “ <i>Validation/Verification</i> ”, adaptada de GENERAL MOTORS CORPORATION (2003b)	89
Figura 5.1 – Sistema de abastecimento de combustível	92
Figura 5.2 – Bocal do sistema de abastecimento de combustível	92
Figura 5.3 – <i>Problem/Opportunity</i> do sistema de abastecimento	94
Figura 5.4 – Indicativos de qualidade do sistema de abastecimento	95
Figura 5.5 – <i>Customer Qs and System CTQs</i> do sistema de abastecimento	96
Figura 5.6 – Níveis de qualidade e performance do sistema de abastecimento ...	97
Figura 5.7 – Diagrama Estrutural do sistema de abastecimento	98
Figura 5.8 – Diagrama funcional dos CTQs #1 e #2	98
Figura 5.9 – Diagrama funcional do CTQ #3	99
Figura 5.10 – Diagrama “ <i>Causa e Efeito</i> ” para o sistema de abastecimento	100
Figura 5.11 – Análise de combinações para os CTQs#1 e #2	101
Figura 5.12 – Resultados de teste para o CTQs#3 realizado no fornecedor	103
Figura 5.13 – Dispositivo de controle do bocal de abastecimento	105
Figura 5.14 – <i>Optimize/Formalize Design</i> para o sistema de abastecimento	105
Figura 5.15 – <i>Validation/Verification</i> para o sistema de abastecimento	106
Figura 6.1 – Comparativo: metodologia GM x tradicional	110

LISTA DE TABELAS

Tabela 3.1 – Modelo de conteúdo de treinamento <i>Seis Sigma</i> , adaptada de PANDE et al.	40
Tabela 3.2 – Empresas que adotaram o DFSS	46
Tabela 3.3 – Comparativo APQP x DFSS, adaptada de OUCHI	55
Tabela 4.1 – <i>VSAS Model Assessment</i> , adaptada da CELOTTO	76

LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

APQP	<i>Advanced product quality planning</i>
CAE	<i>Computer aided engineering</i>
CEO	<i>Chief Executive Officer</i>
CEP	Controle estatístico do processo
CPQ	Característica crítica para a qualidade; CTQ – <i>Critical to quality characteristic</i>
CPV	<i>Cost per vehicle</i>
DFA	<i>Design for assembly</i>
DFM	<i>Design for manufacturing</i>
DFSS	<i>Design for six sigma</i>
DMADV	Definir, medir, analisar, desenvolver e verificar; DMADV - <i>Define, measure, analyse, development, verify</i>
DMAMC	Definir, medir, analisar, melhorar, controlar; DMAIC – <i>Define, measure, analyse, improve, control</i>
DOE	<i>Design of Experiments</i>
DPBO	Defeitos por bilhão de oportunidades; DPBO – <i>Defects per billion opportunities</i>
DPMO	Defeitos por milhão de oportunidades; DPMO – <i>Defects per million opportunities</i>
DPU	Defeitos por unidade; DPU – <i>Defects per unit</i>
FMEA	<i>Failure mode and effect analysis</i>
GD&T	<i>Geometric dimension & tolerance</i>
GE	<i>General Electric</i>
GM	<i>General Motors</i> , utilizado no sentido GM global
GM LAAM	<i>General Motors Latin America and Middle East</i>
GMB	General Motors do Brasil
GME	<i>General Motors Europe</i>
GMNA	<i>General Motors North America</i>
GQT	Gestão da qualidade total
ICOV	Identificar, caracterizar, otimizar, validar

IDDOV	Identificar, definir, desenvolver, otimizar, verificar
IPTV	<i>Incidence per thousand vehicles</i>
KPC	<i>Key product characteristic</i>
MAIC	<i>Measure, analyse, improve, control</i>
MEA	Mestrado em engenharia automotiva
MRP	<i>Manufacturing resources planning</i>
PAD	<i>Product assembly document</i>
PDCA	<i>Plan, do, check, act</i>
PDV	Processo de desenvolvimento de veículos; VDP – <i>Vehicle development process</i>
QAS	<i>Quality audit survey</i>
QFD	<i>Quality function deployment</i>
SOR	<i>Statement of requirement</i>
TRIZ	Teoria da solução inventiva de problemas (abreviação russa)
VOC	<i>Voice of customer</i>
VSAS	<i>Vehicle synthesis and analysis system</i>

1. INTRODUÇÃO

1.1 Relevância do tema

A metodologia *Seis Sigma* tem levado as empresas que a aplicam a níveis de qualidade além dos anteriormente praticados. Antes do *Seis Sigma*, grande parte das empresas trabalhava com níveis de qualidade em torno de 2,5 a 3 sigmas. Com o surgimento do *Seis Sigma*, muitas empresas passaram a atingir médias entre 4,5 e 5 sigmas, denotando uma evolução considerável, porém aquém do nível de 6 sigmas (BRAZ, 2002a).

No atual cenário mundial, a velocidade com que tem ocorrido mudanças e inovações tem sido cada vez mais elevada, pois este fator tornou-se um diferencial importante para a sobrevivência das empresas frente aos inúmeros concorrentes existentes. Esta característica é atuante em todos os setores da indústria, mas apresenta-se mais acentuada ainda no setor automotivo, onde cada vez mais os automóveis se assemelham em termos de características e comportamento, proporcionando um leque de opções ao consumidor cada vez mais amplo.

Sendo assim, o ciclo de vida dos produtos está se tornando cada vez mais curto, pois a necessidade de se lançar no mercado novos produtos com uma frequência maior e, em um espaço de tempo menor, tem demonstrado ser uma ação fundamental para se conquistar o cliente frente a este leque de muitas opções disponíveis. Portanto, a excelência no desenvolvimento de produtos tornou-se um ponto estratégico para as empresas.

A aplicação do *Seis Sigma* para o desenvolvimento de novos produtos seria uma resposta a todas estas necessidades. Entretanto, a sua abordagem para projetos não é diretamente dedicada a esta finalidade, pois sua metodologia possui traços marcantes destinados a melhoria dos processos, tornando-se, portanto, aplicável de forma secundária ao desenvolvimento de produtos.

Para suprir esta necessidade foi criada a metodologia *Design for Six Sigma*, a qual é originada e estruturada a partir do *Seis Sigma*, porém traz uma abordagem e

um conjunto de ferramentas dedicadas ao desenvolvimento de produtos, tornando-a ímpar em sua aplicação e particularidades.

Sobre a bibliografia pesquisada para a realização deste trabalho, foram encontradas:

- ❑ Alguns livros publicados no Brasil sobre o *Seis Sigma*, tanto de caráter acadêmico quanto profissional;
- ❑ Muitos artigos internacionais e brasileiros sobre o *Seis Sigma*, destacando diferentes abordagens, métodos de aplicação e ferramentas;
- ❑ Alguns artigos internacionais sobre o DFSS, também destacando diferentes abordagens, métodos de aplicação e ferramentas;
- ❑ Nenhum livro internacional ou brasileiro publicado específico sobre o DFSS;
- ❑ Muito poucos artigos brasileiros sobre o DFSS;
- ❑ Nenhum trabalho de pós-graduação sobre DFSS;
- ❑ Um trabalho de graduação sobre o DFSS;
- ❑ Muitos livros e artigos, brasileiros e internacionais sobre o desenvolvimento de produtos.

A importância do tema deste trabalho pode ser justificada pelos seguintes aspectos:

- ❑ Inicialmente por estar diretamente relacionado ao desenvolvimento de produtos, tópico este de grande importância dentro do curso de Mestrado em Engenharia Automotiva (MEA);
- ❑ Pela assimilação e análise das melhores práticas e experiências atualmente difundidas;
- ❑ Pela necessidade de se avaliar seus pontos fortes e fracos quando aplicados em casos reais.

1.2 Objetivo do trabalho

O objetivo do trabalho é avaliar a aplicação do DFSS sob o ponto de vista técnico e econômico no processo de desenvolvimento de veículos. Em detalhes, o que se espera é:

- ❑ Apresentar inicialmente o conceito de desenvolvimento do produto, descrever alguns modelos propostos e caracterizar o modelo utilizado na GM;
- ❑ Definir o que é o DFSS a partir da apresentação preliminar do *Seis Sigma*, quais são seus objetivos, métodos, elementos, aplicações e estruturas sob o desenvolvimento de produtos;
- ❑ Apresentar o DFSS aplicado pela GM;
- ❑ Avaliar sua aplicação através do estudo de caso;
- ❑ Realizar a análise crítica do trabalho.

A análise crítica do trabalho, por sua vez, deve concentrar-se nos seguintes aspectos:

- ❑ Descrever as características do DFSS na GM, ressaltando seus pontos fortes e fracos;
- ❑ Permitir a consolidação dos aspectos técnicos e econômicos;
- ❑ Formular recomendações e sugestões de melhorias que possam ser aplicadas em projetos futuros.

Um dos pontos fortes do DFSS é a sua metodologia estruturada que, aplicada aos atuais processos de desenvolvimento do produto, caracterizam um cenário que requer acima de tudo, disciplina por parte de seus utilizadores. O engenheiro de desenvolvimento do produto deve passar a atuar como um especialista integrador, sempre atento às oportunidades à sua volta ocasionadas pela aplicação do DFSS. Porém, não é objetivo deste trabalho avaliar qualitativa e quantitativamente este grau de disciplina, ou seja, parte-se do pressuposto que as pessoas envolvidas já possuem esta característica. De fato, tal característica pode até ser inserida indiretamente no

contexto do trabalho como originadora de algum ponto positivo ou negativo, mas se limitará e este escopo somente.

1.3 Estrutura do trabalho

O presente trabalho está dividido em 6 capítulos principais sendo:

- ❑ *Capítulo 2*: dedicado ao trabalho de pesquisa e revisão bibliográfica, sobre o tópico inicial do trabalho, o processo de desenvolvimento de veículos, o qual é o ambiente de aplicação do DFSS;
- ❑ *Capítulo 3*: também dedicado ao trabalho de pesquisa e revisão bibliográfica, reservado para a apresentação das metodologias *Seis Sigma* e DFSS na sua íntegra, bem como as características similares, distintivas ou particulares de cada metodologia;
- ❑ *Capítulo 4*: dedicado especificamente à exposição da metodologia DFSS aplicada pela GM, procurando demonstrar sua estrutura, escopo e método de aplicação de forma detalhada;
- ❑ *Capítulo 5*: dedicado especificamente à exposição do estudo de caso submetido à aplicação da metodologia DFSS pela GM;
- ❑ *Capítulo 6*: dedicado exclusivamente à análise do estudo de caso, procurando enfocar os ganhos obtidos em termos técnicos e financeiros, bem como detalhes específicos, restrições, limitações, pontos fortes e fracos;
- ❑ *Capítulo 7*: finalmente um capítulo dedicado às conclusões relevantes e centrais que delineiam o objetivo do trabalho.

2. O PROCESSO DE DESENVOLVIMENTO DE VEÍCULOS

2.1 Conceito de desenvolvimento do produto

De acordo com KAMINSKI (2000), o processo de desenvolvimento de produtos pode ser definido como um conjunto de atividades envolvendo quase todos os departamentos de uma empresa, que tem como objetivo a transformação de necessidades de mercado em produtos ou serviços economicamente viáveis.

Uma das principais atividades para as empresas que desenvolvem produtos é a de projetar propriamente dito, e todo e qualquer desenvolvimento irá envolver basicamente os fatores tecnológicos, econômicos, financeiros, humanos e ambientais. O desenvolvimento também é influenciado por fatores culturais, sociais e políticos da comunidade a que o produto se destina (figura 2.1).

Figura 2.1 – Fatores de influência no projeto, adaptada de KAMINSKI

Quanto à classificação em relação à evolução, um projeto pode apresentar um desenvolvimento *evolutivo* ou *inovador*. O *evolutivo* é caracterizado por modificações relativamente lentas, acompanhando as exigências do mercado, onde o desenvolvimento é obtido essencialmente de conhecimentos empíricos obtidos de constante prática e experiência aplicadas. Já o desenvolvimento *inovador* faz uso das últimas descobertas técnico-científicas, apresentando soluções inteligentes e inovadoras em relação aos produtos existentes no mercado.

2.2 Exemplos de modelos propostos

Procura-se abordar neste capítulo a citação de alguns exemplos publicados de processo de desenvolvimento do produto com o objetivo de se formar um embasamento introdutório que procurará suportar o processo de desenvolvimento de veículos propriamente dito. O primeiro deles é de autoria de KAMINSKI, o qual foi apresentado durante o curso de Mestrado Profissional em Engenharia Automotiva. O segundo deles é de autoria de PUGH, muito difundido no meio acadêmico pelo seu modelo de atividades do projeto. E por fim, um processo de desenvolvimento do produto baseado em estudos de caso da indústria brasileira de autopeças, relatado por CHIUSOLI e TOLEDO, os quais basearam-se nas definições de CLARK & FUGIMOTO.

KAMINSKI (2000) propõe em seu livro a figura 2.2, na qual é baseada em uma metodologia de trabalho para estruturação de um projeto e seu planejamento operacional, que relaciona setores envolvidos e responsáveis com as atividades de desenvolvimento e sua respectiva classificação.

A figura procura enfatizar as atividades de desenvolvimento do produto de uma forma geral, conforme colocado acima, relacionando setores envolvidos e responsabilidades, distribuídas pelas fases chamadas de *Viabilidade*, *Desenvolvimento*, *Implantação* e *Lançamento*.

	Comercial	Marketing	Engenharia	Produção	Logística	Suprimentos	Controladoria	Diretoria	Atividades	Decisões
Viabilidade									Captação de idéias	
									Análise de idéias	●
									Análise de viabilidade técnica	
									Dados de mercado	
									Características técnicas do produto	
									Adesão ao planejamento estratégico	●
									Análise econômica/financeira	●
Desenvolvimento									Planejamento do desenvolvimento do produto	
									Projeto do produto	●
									Protótipos/amostras/testes	
									Desenvolvimento de fornecedores	
									Desenvolvimento do processo	
									Definição da embalagem	
									Solicitação de marcas e patentes	
Implantação									Aquisição dos meios de produção	●
									Try-out/lote piloto	
									Validação do processo	
									Validação do produto	●
Lançamento									Estratégia de lançamento	●
									Elaboração da documentação externa	
									Definição de preço de venda	
									Teste de mercado	
									Definição de logística, distribuição	
									Validação final do desenvolvimento	●

Setor envolvido com a atividade
Setor responsável pela atividade
Pontos de controle no desenvolvimento de produto

Figura 2.2 – Setores envolvidos e responsáveis pelas atividades de desenvolvimento, adaptada de KAMINSKI

PUGH (1996) propõe o chamado Modelo de Atividade de Projeto, o qual é formado pelas seguintes fases (figura 2.3):

- *Market* (Mercado)
- *Specification* (Especificações)
- *Conceptual Design* (Projeto conceitual)
- *Detail design* (Projeto detalhado)

- ❑ *Manufacture* (Produção)
- ❑ *Selling* (Vendas)

Figura 2.3 – Modelo de atividade de projeto, adaptada de PUGH

Ele considera que este processo possui marcos sequenciais, porém iterativos, e que proporciona uma retro-alimentação das informações de projeto durante todo o processo de desenvolvimento. A questão de ouvir e interpretar o que o mercado deseja para então traduzir em especificações de projeto e posteriormente desenvolver

o projeto do produto, o projeto do processo de fabricação e depois a estratégia de vendas, é primordial para o sucesso do projeto.

PUGH procura enfatizar muito em seu conceito o uso da ferramenta QFD (*Quality Function Deployment*), a qual ele atribui o nome de *Enhanced QFD* (QFD Aperfeiçoado) devido à sua importante utilização a partir da década de 1980 nos Estados Unidos, onde este conceito foi intimamente interligado ao Conceito de Seleção de Projetos de PUGH devido às suas similaridades.

PUGH ainda faz a distinção de dois tipos de modelos de conceito: o *conceito dinâmico* e o *conceito estático*. O conceito dinâmico é caracterizado pela necessidade de se assumir um conceito dentre diversos propostos através da seleção do que melhor se adequa à proposta do projeto. Já o conceito estático é justamente o contrário, ou seja, não há a escolha do conceito a ser utilizado no projeto, pois este já está definido.

Como o próprio PUGH afirmou, os projetos de automóveis são exemplos clássicos de conceitos estáticos, pois pelos próximos vinte anos, um automóvel ainda será constituído de quatro rodas, uma em cada extremidade, assento de duas a sete pessoas, um motor, uma transmissão e freios nas rodas, em outras palavras, não há escolha do conceito, este já está assumido, e suas especificações são sempre determinadas de acordo com esta escolha.

O processo proposto por CLARK & FUJIMOTO apud CHIUSOLI e TOLEDO (2000) procura demonstrar que o desenvolvimento de produtos é um processo pelo qual uma organização transforma as informações de oportunidades de mercado e as possibilidades técnicas em bens para comercialização. Mas esta perspectiva de informação se estende além do projeto de engenharia, englobando a produção, marketing e o próprio comportamento do consumidor.

Com especial aplicação para a indústria automotiva, as cinco fases que compõem este processo de desenvolvimento do produto são:

- Pré-desenvolvimento: nesta fase são realizados os estudos preliminares do projeto;
- Geração do conceito e planejamento do produto: a partir de informações de mercado, do planejamento estratégico da organização e de resultados de engenharia avançada, define-se o conceito do produto, que contém a descrição do desempenho desejado, recursos tecnológicos, configuração e tecnologia dos componentes e os consumidores alvo. O planejamento do produto é a tradução do conceito do produto em abordagens mais detalhadas de projeto e inclui as especificações de custos, de desempenho, da escolha de componentes, de estilo e de layout;
- Engenharia do produto e testes: o conceito e o planejamento do produto são detalhados na engenharia do produto em desenhos e normas. Ela utiliza-se de diversos tipos de simulações, por meio de computadores e de protótipos;
- Engenharia do processo: desdobra-se as informações sobre o produto em informações para o processo de fabricação. São feitos o projeto do ferramental, a programação de equipamentos, “softwares” de controle de processo, habilitação de pessoal para a montagem, procedimentos e manuais de fabricação;
- Piloto e início de produção: na piloto são feitos os testes dos recursos da linha de montagem, relativos a equipamentos, fornecimento de partes e habilitação de pessoal. Essa etapa é feita por lotes dos produtos. Com os ajustes e melhoramentos finais tanto no produto quanto no processo, inicia-se a produção, destinada à comercialização dos produtos, que geralmente acontece algumas semanas antes do produto ser disponibilizado ao consumidor.

Enfim, estas etapas do modelo de CLARK & FUJIMOTO procuram demonstrar de forma resumida o processo de desenvolvimento praticado na maioria das indústrias de autopeças, o qual é parte integrante de um processo majoritário, definido pelo cliente montadora.

Os três modelos apresentados anteriormente são similares no aspecto de estarem se estruturando em fases, no caso de KAMINSKI: quatro fases, no caso de PUGH: seis fases, e no caso de CLARK & FUJIMOTO: cinco fases. Esta questão é natural, assim como algum outro processo que fosse citado, também o estaria dividido em fases, pois a grande complexidade do processo de desenvolvimento do produto requer esta característica para que seja compreendido.

Com relação às suas diferenças e particularidades, principalmente voltadas para a aplicação ao setor automobilístico, pode-se afirmar que o modelo de CLARK & FUJIMOTO é o que aparenta estar mais focado para este setor, pois procurou ser concebido para tal. Já o modelo de PUGH vem ganhando grande credibilidade, pois está intimamente ligado com o DFSS pelo fato de proporcionar uma especial ênfase à fase inicial do projeto, ou seja, a de captação e transformação das necessidades e aspirações dos clientes em requisitos do projeto, bem como a escolha da melhor opção a ser desenvolvida. Por fim, o modelo exposto por KAMINSKI é, de certa forma, um modelo genérico, não apresentando características que o relacionem especificamente com o meio automobilístico, porém, sua exposição proporciona um entendimento didaticamente correto e abrangente do processo de desenvolvimento do produto.

2.3 Histórico do processo de desenvolvimento de veículos (PDV)

O processo de desenvolvimento de veículos (PDV) surgiu em decorrência da necessidade das indústrias automobilísticas estarem melhor se estruturando, disciplinando e organizando seus métodos de trabalho face ao considerável aumento da competição de mercado evidenciado principalmente pela forte empreitada das indústrias do bloco oriental, como as japonesas e coreanas, em aumentar a participação no mercado com produtos inovadores, com um nível de qualidade excepcional e o principal, com custos mais baixos, o que se traduzia em preços finais ao consumidor mais atrativos, o que tendenciavam sua preferência.

Contudo, a colocação do parágrafo acima pode ser atribuída a um PDV que passou a figurar no cenário automobilístico como uma ferramenta estratégica de grande valor para os fabricantes de automóveis, porém, não se pode deixar de citar

que o PDV, de fato, passou a existir preliminarmente quando as primeiras fábricas de automóveis de produção seriada começaram a operar propriamente dita. Naquela época, a preocupação em se ter um PDV estava relacionada basicamente ao fato de se documentar os métodos e as técnicas empregadas na construção dos automóveis.

O campo de atuação desta concorrência atual deixou de ser limitado à melhoria da qualidade do produto e dos processos de fabricação vigentes. Este passou a ser mais consistente, mais abrangente, ou seja, passou a exigir e ditar regras em direção às etapas mais preliminares do produto, penetrando nas, até então, restritas e estanques atividades de desenvolvimento do produto. Estava sendo este o grande diferencial que as indústrias asiáticas vinham proporcionando, pois além das vantagens em custo e qualidade, passou também a ser levada em consideração a variável *tempo* como mais uma importante vantagem competitiva perante as demais.

Face a esta situação de ameaça de perda de mercado, as grandes indústrias automobilísticas americanas e européias foram obrigadas a criar processos de desenvolvimento mais flexíveis e eficazes, para garantir que seus produtos continuassem a entusiasmar o consumidor, através do lançamento de produtos mais competitivos em preço, qualidade e tempo de desenvolvimento.

Para tanto, todas as áreas da empresa, principalmente a engenharia, passaram a utilizar recursos tecnológicos de ponta em diversos segmentos para assegurar que não haveria desperdícios principalmente de tempo e dinheiro, além de uma nova postura disciplinar que assegurasse o alcance dos objetivos de projeto previamente determinados. A questão “dinheiro” citada acima se refere ao fato de a empresa utilizar recursos, como por exemplo, simulações virtuais durante a fase de desenvolvimento do produto, o que é sensivelmente mais econômico do que a construção de um protótipo físico. Esta economia também pode vir através de processos otimizados de fabricação e também através da redução do custo de garantia do produto durante o seu ciclo de vida.

Em linha com esta nova postura, surgiu então a QS 9000 e um de seus capítulos mais importantes relacionado ao processo de desenvolvimento de veículos, o APQP, a serem discutidos no próximo tópico.

2.4 O conceito da QS 9000 e do APQP

Devido às limitações da norma ISO 9000, as três maiores indústrias automobilísticas dos Estados Unidos se uniram objetivando a unificação de seus sistemas de qualidade, buscando maiores exigências em relação às normas da série ISO 9000. Lançada em 1994 com sua primeira revisão em 1995, incorporando mudanças recomendadas pelas afiliadas européias, a norma QS 9000 foi dividida em três seções. A primeira enfoca basicamente os vinte elementos da ISO 9001 com alguns adendos de requisitos, a segunda seção engloba requisitos de sistematização do desenvolvimento de produtos através do APQP (*Advanced Product Quality Planning*), foco da discussão para este capítulo, e do PPAP (*Production Part Approval Process*) e, na terceira seção, requisitos específicos de cada montadora (GONZALEZ e MIGUEL, 2000).

Apesar de ter surgido em 1994, a sua expansão no meio industrial brasileiro só veio a ser sentida realmente a partir de 1998 pela compreensão e conscientização da indústria sobre essa norma e o interesse acentuado pela certificação QS 9000 e ISO 9001, considerados requisitos essenciais para que os fabricantes de autopeças fossem aprovados como fornecedores da indústria automotiva no mercado brasileiro.

O APQP é uma metodologia estruturada para o estabelecimento dos passos e prazos necessários para assegurar que o produto venha satisfazer o cliente. Ele tem como meta uma efetiva comunicação com todos os setores envolvidos no desenvolvimento do produto integrando todos os componentes dos grupos que vierem a ser formados. O APQP é a metodologia mestra de todo o sistema QS 9000, pois é ele quem gerencia todo o desenvolvimento do fornecimento, desde o fechamento do contrato até a aprovação das peças de produção, conforme ilustrado na figura 2.4 (GONZALEZ e MIGUEL, 2000).

Figura 2.4 – Processo de implantação do APQP

As seções que compõem a estrutura do APQP são:

- ❑ Planejamento e definição do programa;
- ❑ Verificação do projeto e desenvolvimento do produto;
- ❑ Verificação do projeto e desenvolvimento do processo;
- ❑ Validação do produto e do processo;
- ❑ Análise da retro-alimentação e ação corretiva.

2.5 O processo de desenvolvimento de veículos na GM

O processo de desenvolvimento de veículos na GM, mais comumente conhecido como *Vehicle Development Process* (VDP), advindo originalmente dos Estados Unidos, surgiu em meados da década de 80 com o objetivo de estruturar o processo de desenvolvimento de novos veículos para se adequar às novas regras ditadas pelo mercado que, a partir de meados da década de 70, vinha se tornando cada vez mais competitivo.

Este processo é, a priori, caracterizado por substanciais mudanças organizacionais internas e externas no método de trabalho, marcando uma nova fase no relacionamento e integração entre a montadora, responsável pelo desenvolvimento, montagem, lançamento e comercialização do veículo, e os fornecedores, estes responsáveis pelo fornecimento de sistemas, subsistemas, componentes, serviços, equipamentos e ferramentas.

O VDP foi criado, então, como um instrumento de integração capaz de controlar as atividades de pesquisa, planejamento, criação, desenvolvimento, manufatura, lançamento, comercialização, distribuição e assistência técnica dos produtos GM, especificando funções e datas dentro do processo de planejamento e desenvolvimento de um projeto.

2.5.1 Definição do tipo de arquitetura

A escolha do tipo de arquitetura que um novo veículo irá utilizar é o parâmetro que irá delinear os caminhos de um programa, dimensionando também a amplitude deste, ou seja, se o programa será baseado em um veículo completamente novo, ou em uma derivação de um veículo já existente. Esta colocação pode ser comparada, até certo ponto, com a abordagem de classificação de um projeto, segundo KAMINSKI, em *evolutivo* ou *inovador*, ou com o conceito de *estático* ou *dinâmico* de PUGH, ambos citados no item 2.2 deste trabalho. Antes de continuar, cabe aqui a definição do que vem a ser um Programa (GENERAL MOTORS CORPORATION, 2003f).

Programa identifica e reúne todos os planos necessários para se executar um projeto desde a sua idealização até sua implementação. Assim, todo programa recebe um código específico internamente à GM, que o acompanhará durante todas as fases citadas acima.

A composição da arquitetura de um veículo é uma ferramenta que tem por objetivo facilitar a visualização dos elementos genéricos que deverão ser desenvolvidos pela engenharia (figura 2.5).

Figura 2.5 – Elementos arquiteturais do veículo

Durante a etapa da definição da arquitetura é que devem ser avaliadas as necessidades de utilização e emprego de novas tecnologias para serem aplicadas ao novo produto e aos novos processos de manufatura, bem como alterações e adaptações aos demais sistemas do produto e processos já existentes, considerando-se o efeito da criação do estilo nos elementos arquiteturais. Para verificar se estas ações estão em linha com o desejo e necessidade do consumidor, são realizadas clínicas periódicas durante as fases iniciais de desenvolvimento do programa. As

clínicas são eventos realizados pelo departamento de estilo com potenciais clientes onde são apresentadas e colocadas em votação diversas propostas de tema para o novo produto (GENERAL MOTORS CORPORATION, 2003f).

É também nesta etapa que se deve realizar a definição do conteúdo do plano de qualidade do Programa, gerado a partir do Plano de Qualidade da Engenharia. Este requisito de qualidade tem participação fundamental na definição da arquitetura quanto ao fato de se utilizar novas tecnologias, criar novos componentes, novos elementos estruturais, novos processos de manufatura ou ajustes no tema definido pelo estilo.

2.5.2 A estrutura do VDP

O processo do VDP está estruturado de forma a se dividir em quatro fases distintas (BARROCO, 2002):

- ❑ Planejamento;
- ❑ Desenvolvimento;
- ❑ Execução;
- ❑ Produção.

Porém, cada uma das fases acima, principalmente as três primeiras, que precedem a entrada do veículo em produção e foco desta dissertação, se subdividem nas subfases: *Arquitetura e planejamento*, *Conceito e estrutura*, *Integração e Validação do produto e processo*, conforme pode-se observar na figura 2.6. Cada subfase, por sua vez, é constituída por uma série de atividades e pontos de verificação do projeto, chamados de *Gates*. Um *Gate* pode ser definido como uma reunião para verificação de que todos os parâmetros requeridos até o determinado momento do programa foram cumpridos e atendidos corretamente por parte de todos os departamentos envolvidos: Engenharia de Produtos, Engenharia de Manufatura, Engenharia de Estilo, Marketing, Qualidade, Exportação, Finanças, Serviços, Compras e Planejamento. Não é escopo deste trabalho o aprofundamento nesta questão da constituição das subfases, cabendo somente uma resumida explanação para melhor entendimento e elucidação do VDP.

Figura 2.6 – Estrutura básica do processo VDP

Na subfase de *Arquitetura e planejamento*, o objetivo é avaliar os recursos disponíveis na organização diante das informações de mercado que irão orientar a caracterização do produto a ser desenvolvido, definir sua viabilização, alinhando uma composição básica desse produto com os processos de produção existentes, bem como as novas tecnologias que necessariamente tenham que ser introduzidas nestes processos.

Na subfase *Conceito*, deve-se iniciar o desenvolvimento propriamente dito juntamente com a integração do tema definido pelo departamento de Design da empresa em função das expectativas do cliente. Adiciona-se a este escopo ainda as informações de fabricação e subsistemas de fornecimento considerados viáveis do ponto de vista financeiro.

Na subfase *Estrutura*, deve-se iniciar a tomada de decisões sobre o projeto estrutural do veículo, pois o desenvolvimento já se encontra em uma fase suficientemente avançada para tal. Esta subfase é normalmente caracterizada por condicionar os investimentos financeiros de maior envergadura bem como as peças de prazo de desenvolvimento mais longo.

Já na subfase *Integração*, considera-se que todas as decisões e fontes com relação à origem de fornecimento de peças foram definidas, bem como o

detalhamento de todo o processo produtivo. Sendo assim, deve ocorrer o desenvolvimento dos demais subsistemas e componentes do veículo.

Na última subfase, a de *Validação do produto e processo*, o objetivo é realizar a validação final do produto e do processo de montagem como um todo, considerando-se, inclusive, a integração do sistema de materiais com o sistema de manufatura, consolidando e aprovando todo o processo para que se possa iniciar a produção do veículo.

2.5.3 Classificação de um programa segundo o VDP

As características de um novo veículo ou a quantidade de modificações em um veículo existente determinam suas classes específicas, conforme pode-se ver em uma breve explanação a seguir.

- ❑ *New*: Um programa classificado como *New* representa que ele terá de 80 a 100% do seu conteúdo considerado como novo. Ele pode representar a introdução de uma nova plataforma de veículos no mercado ou mesmo um novo veículo integrante de uma família. Seu conteúdo em relação a uma nova arquitetura é extenso, incluindo um novo visual exterior e interior mandatório para este tipo de programa;
- ❑ *Major*: Um programa é classificado como *Major* quando apresenta mudanças significativas em seu conteúdo, apresentando um percentual da ordem de 40 a 79% de conteúdo novo. As alterações incluem normalmente novos painéis metálicos externos e o interior consideravelmente modificado;
- ❑ *Mid Cycle Enhancement*: para esta classificação, considera-se um percentual de aplicação de peças novas variando entre 10 e 39%. São formuladas alterações de médio impacto nos painéis externos do veículo, bem como também opcionalmente aos pára-choques, faróis, lanternas e painel de instrumentos;

- *Ornamentation*: Como o próprio nome o diz, esta classificação é atribuída a alterações de ordem estética ao veículo, com a aplicação de um percentual baixo de peças novas, ou seja, da ordem de 1 a 9%. As alterações concentram-se basicamente em novas molduras, emblemas, cores, revestimentos internos, rodas e espelhos retrovisores.

Pode-se observar que, para cada uma das classes citadas acima, são consideradas diferentes configurações do VDP em relação ao número de atividades necessárias e ao tempo de ocorrência de cada fase. Assim, é natural que um programa classificado como *Ornamentation* possuirá um menor número de atividades e, conseqüentemente um tempo de execução das tarefas mais reduzido do que um programa classificado como *New*. O mesmo conceito se aplica aos *Gates*, onde um programa de menor classe exigirá um número menor de *Gates*.

3. A METODOLOGIA *DESIGN FOR SIX SIGMA* (DFSS)

3.1 Apresentação da metodologia *SEIS SIGMA*

3.1.1. Definição do *Seis Sigma*

São inúmeras as definições encontradas na vasta gama de literaturas disponíveis sobre o que é *Seis Sigma*. Algumas mais simples e objetivas, outras já procuram ser mais abrangentes e profundas, tentando demonstrar que não se trata apenas de mais uma “*coqueluche passageira*” e sim de uma filosofia de trabalho. De acordo com HENDERSON e EVANS (2000), dependendo de como o conceito é exposto, *Seis Sigma* pode apresentar diferentes significados e interpretações. “De um ponto de vista técnico, pode fazer sentido falar-se em termos de variação de processo; do ponto de vista gerencial ou do cliente, o *Seis Sigma* pode ser descrito como padrões de qualidade descritos em termos de defeitos por milhão”.

Segundo PANDE et al. (2001), *Seis Sigma* é definido como um sistema abrangente e flexível para alcançar, sustentar e maximizar o sucesso empresarial, onde o *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. Esta definição fornece a base de todos os esforços para se descerrar o potencial do *Seis Sigma* para uma organização. Os tipos de sucesso empresarial são proporcionais aos inúmeros benefícios comprovados que se pode alcançar com o *Seis Sigma*, tais como:

- ❑ Redução de custos;
- ❑ Melhoria de produtividade;
- ❑ Crescimento da fatia de mercado;
- ❑ Retenção de clientes;
- ❑ Redução de tempo de ciclo;
- ❑ Redução de defeitos;
- ❑ Mudança cultural;
- ❑ Desenvolvimento de produto/serviço.

Conforme HARRY (1998), ele define em seu artigo que o *Seis Sigma* é um processo de negócio que permite às organizações incrementar seus lucros por meio da otimização das operações, melhoria da qualidade e eliminação de defeitos, falhas e erros. A meta do *Seis Sigma* não é alcançar níveis *Seis Sigma* de qualidade. *Seis Sigma* está relacionado à melhoria da lucratividade. Organizações que implementam o *Seis Sigma* fazem isso com o objetivo de melhorar seus lucros.

Estatisticamente definindo-se, a terminologia *Seis Sigma* (6σ) significa a ocorrência de 6 desvios-padrão entre a média e os limites de especificação inferior (LIE) e superior. (LSE) BEHARA et al., (1995) Ou seja, quando 6 desvios-padrão podem ser encontrados entre a média de uma distribuição e o limite estabelecido pelo requisito do cliente tem-se um processo *Seis Sigma*. Isto equivale a um processo que irá apresentar somente 1,2 erros ou defeitos por 1 bilhão de oportunidades (DPBO), sendo que pode-se definir *oportunidade* como sendo um evento que pode vir ou não a apresentar um erro ou defeito (figura 3.1).

Figura 3.1 – Representação gráfica de um processo *Seis Sigma*

Entretanto, estatisticamente quase todas as bibliografias consultadas definem a metodologia *Seis Sigma* como sendo atribuída a processos capazes de produzir apenas 3,4 defeitos ou erros para cada milhão de oportunidades (DPMO). Qual a diferença, então, em relação aos 1,2 defeitos ou erros por bilhão de oportunidades citados no parágrafo anterior?

A resposta pode ser dada da seguinte forma: de acordo com ROTONDARO et al. (2002), é difícil se manter a longo prazo um processo sempre centralizado, inúmeros fatores de origem empírica acabam por provocar o deslocamento da média nominal do processo em torno de 1,5 desvios-padrão, conforme pode ser visto na figura 3.2.

Figura 3.2 – Representação gráfica de um processo a longo prazo

Portanto, um processo pode ser considerado como sendo *Seis Sigma* quando este atingir 4,5 desvios-padrão no longo prazo, o que significará que o processo, a curto prazo, estará apresentando 6 desvios-padrão. É este valor de 4,5 desvios-padrão a longo prazo que representam os tão conhecidos 3,4 defeitos por milhão de oportunidades utilizados nas definições para o *Seis Sigma*. Estabelece-se então a seguinte equação:

$$z_{CP} = z_{LP} + 1,5$$

onde:

z_{CP} : índice de capacidade a curto prazo

z_{LP} : índice de capacidade a longo prazo

É fácil se encontrar na literatura relacionada a este assunto tabelas que convertem o número de DPMOs diretamente no valor do desvio-padrão do processo,

como pode-se ver na figura 3.3 a seguir, a qual apresenta valores para o sigma do processo, tanto a curto prazo quanto para longo prazo.

DPMO	Z_{CP}	Z_{LP}
(Defeitos por milhão de oportunidades)	(Nível Sigma a curto prazo)	(Nível Sigma a longo prazo)
308.770	2,0	0,5
158.687	2,5	1,0
66.807	3,0	1,5
22.750	3,5	2,0
6.210	4,0	2,5
1.350	4,5	3,0
233	5,0	3,5
32	5,5	4,0
3,4	6,0	4,5

Figura 3.3 – Conversão da capacidade do processo em sigmas

3.1.2 Origem e evolução do *Seis Sigma*

A origem do *Seis Sigma* como uma abordagem para a melhoria da qualidade surgiu nos anos 80 através da Motorola, onde seus objetivos eram claramente focados na redução da variabilidade de todos os seus processos. Sinais de um significativo sucesso na Motorola rapidamente se tornaram aparentes. De fato, de 1987 a 1997, a Motorola alcançou aumentos em vendas significativos da ordem de 20% ao ano, gerando uma economia acumulada da ordem de 14 bilhões de dólares. Com isso, a Motorola foi a primeira empresa premiada com o prêmio *Malcolm Baldrige National Quality Award* em 1988 (KLEFSJO, WIKLUND e EDGEMAN, 2001).

Segundo HENDERSON e EVANS (2000), o envolvimento da Motorola com *Seis Sigma* iniciou-se aproximadamente em 1965, sendo que apenas em 1982 a empresa oficializou e alavancou a metodologia através da implementação de programas de melhoria da qualidade focadas em manufatura.

Nota-se, portanto, que a explanação de HENDERSON e EVANS difere um pouco da explanação de KLEFSJO, WIKLUND e EDGEMAN em termos de foco da aplicação do *Seis Sigma* pela Motorola, ou seja, se fora aplicada em todos os processos existentes ou se fora aplicada somente para os processos de manufatura.

Porém, de acordo com MOTOROLA (2005), em uma breve consulta a seu site, afirma-se que a metodologia se aplica a todos os processos existentes na corporação, sem exceções.

Outras companhias de atuação mundial como General Electric, Allied Signal, Sony, Texas Instruments, Polaroid também optaram pela implementação da metodologia *Seis Sigma* e, em pouco tempo, passaram a obter maiores ganhos como aumento da participação de mercado, redução de custos e um aumento correspondente em suas margens de lucros (HARRY, 1998).

Com relação à General Electric (G.E.), a qual também tem um histórico de aplicação singular desta metodologia, os resultados aceleraram da seguinte forma em relação ao retorno sobre os investimentos: 750 milhões de dólares em 1998, 1,5 bilhão em 1999, e mais alguns bilhões para os próximos anos. (PANDE et al., 2001).

“O Seis Sigma mudou para sempre a G.E. Todos, desde os fanáticos pelo Seis Sigma surgindo de seus tours como Faixas-pretas, aos engenheiros, os auditores e cientistas, à alta gerência, que levará esta empresa ao novo milênio, acreditam realmente no Seis Sigma, que é a maneira pela qual esta empresa funciona agora” – John F. Welch, Presidente da G.E. (PANDE et al., 2001).

Dissertando-se em termos de Brasil, a iniciativa *Seis Sigma* já completou a fase onde as organizações estão procurando saber o que é a metodologia e como ela funciona. Na verdade, pode-se considerar que a aplicação do *Seis Sigma* já ocorre na maioria das empresas brasileiras de grande porte, principalmente em companhias subsidiárias de companhias de origem internacional, como Kodak, General Electric, ABB, Siemens e Ford. Há também as grandes companhias de origem brasileira que também têm se destacado na aplicação da metodologia, como por exemplo, a Ambev, Belgo Mineira, Votorantim, Brasmotor e Gerdau. Quanto às empresas de

médio porte, a iniciação ao *Seis Sigma* deve estar ocorrendo dentro dos próximos anos enquanto que, para as de pequeno porte, muitas se encontram em fase de implementação do Sistema da Qualidade (CAMPOS, 2000).

3.1.3 A metodologia *Seis Sigma*

Desde que o movimento da qualidade começou, há algumas décadas atrás, muitos modelos de melhoria foram criados, adaptados e aplicados a processos ao longo dos anos. A maioria deles é baseado nos passos introduzidos por W. Edwards Deming, o ciclo PDCA (Planejar, Executar, Verificar, Agir) que descreve a lógica básica de melhoria de processos baseada em dados (PANDE et al., 2001).

A Motorola desenvolveu inicialmente o modelo MAIC (Medir, Analisar, Melhorar, Controlar) como sendo uma evolução do ciclo PDCA. Este modelo foi mais tarde adotado pela G.E. que incluiu mais uma fase inicial denominada pela letra D com a finalidade de reconhecer a importância de se ter um projeto bem focado, chamando-o de DMAIC (Definir, Medir, Analisar, Melhorar, Controlar) (HENDERSON e EVANS, 2000). Esse método DMAIC passou a ser a base da filosofia *Seis Sigma* para as empresas, sendo fundamental para o seu sucesso (ROTONDARO et al., 2002 ; HARRY, 1998).

3.1.3.1 A fase DEFINIR

Nesta fase, o objetivo é se identificar qual processo é suscetível a receber os esforços do *Seis Sigma* baseados nas necessidades dos clientes e nos objetivos do negócio. É nesta fase que se deve identificar os atributos chamados de CTQs (*Critical to Quality Characteristics*) que o cliente considera como mais importante em termos de qualidade (HENDERSON e EVANS, 1998).

Na exposição de ROTONDARO et al. (2002), a primeira fase é atribuída à chamada “Seleção de Projetos”, na qual consiste em definir claramente qual o efeito indesejável de um processo que deve ser eliminado ou melhorado, desde que haja uma relação clara com um requisito especificado do cliente e que um projeto seja economicamente vantajoso. A classificação quanto aos passos da fase DEFINIR são:

1. Definir quais são os requisitos do cliente (voz do cliente) e traduzir essas necessidades em características críticas para a qualidade (CPQ). Essa etapa é fundamental para a metodologia, pois parte da visão do cliente, levando-a para dentro da organização;
2. Montar e estruturar uma equipe preparada para aplicar as ferramentas *Seis Sigma*;
3. Desenhar os processos críticos procurando identificar os que têm relação com os CPQs do cliente e os que estão gerando resultados ruins, como reclamações de clientes, problemas funcionais, problemas trabalhistas, altos custo de mão-de-obra, baixa qualidade de suprimentos, erros de forma, ajuste e funcionamento, etc. Estes problemas estão relacionados com a estrutura do processo, e existe uma inter-relação entre as várias atividades de produção, suporte, entrega, etc, que chega até os itens do negócio, como a satisfação do cliente, lucro, valor das ações da companhia;
4. Realizar uma análise custo benefício;
5. Escrever a proposta do projeto e submeter à aprovação da gerência da empresa.

A nomenclatura de CTQ (*Critical to Quality Characteristic*) exposta por HENDERSON e EVANS e a nomenclatura CPQ (Características Críticas para a Qualidade) exposta por ROTONDARO et al. se equivalem em seu significado. O CTQ é uma nomenclatura de língua inglesa que é encontrada na maioria das bibliografias consultadas, Já algumas bibliografias de âmbito nacional preferem por chamar de CPQ.

Com relação à equipe de trabalho *Seis Sigma* citada anteriormente, esta será alvo de explanação neste trabalho no próximo tópico, uma vez que ela apresenta características inovadoras e uma forte estruturação, razão pela qual é considerado como um dos pontos estratégicos mais importantes para o sucesso do *Seis Sigma*.

Conforme PANDE et al. (2001), DEFINIR é a fase que prepara terreno para um projeto *Seis Sigma* bem-sucedido através do esclarecimento do problema, do objetivo e do processo. Ele define a confecção da chamada *Carta de Projeto*, através

da qual serão documentados as metas e parâmetros do projeto logo de início, assegurando que o seu trabalho atenda às expectativas dos líderes da organização, bem como dos patrocinadores do projeto. Os tópicos que formam uma carta de projeto (figura 3.4) são muito similares com os passos da “Seleção de projetos” de ROTONDARO.

CARTA DE PROJETO

Equipe Seis Sigma de Entrega a Clientes

Declaração do Problema : 40% dos pedidos entregues a clientes não estão atendendo as exigências dos clientes, incluindo 30% rejeitados por unidades fora das especificações e 8% de entregas atrasadas. Estes defeitos estão prejudicando a imagem da empresa, criando insatisfação dos clientes e custando aproximadamente US\$350.000 por mês para retrabalhar pedidos rejeitados. A continuidade de altos níveis de erros de entrega ameaça a atual posição de líder no setor.

Declaração de Meta : Reduzir erros de entrega em 70% (para menos de 12%) e cortar custos de retrabalho em 50% até o fim do quarto trimestre deste ano.

Limitações : Membros da Equipe dedicarão entre 25% a 50% de seu tempo ao projeto. Suporte de apoio para seu trabalho existente será discutido com o Patrocinador.

Suposições : Nenhuma solução razoável será considerada “fora de propósito”; entretanto o foco da equipe será de melhorar processos existentes, não em projetar ou reprojeter processos.

Diretrizes da Equipe : A equipe se reunirá de 1 a 2 vezes por semana com uma reunião dedicada todas as terças entre 8:00 e 11:00hs Sala de reuniões no. 01. Decisões serão tomadas por consenso, guiadas por análise de critérios onde necessário. Se não houver consenso, a decisão final será do Líder da Equipe.

Membros da Equipe : Ravi Mendes (Adm. Pedidos), Carl Johnson (Líder de Equipe), Daphne Martin (Produção), Mike Morovitz (Produção), May Yamamoto (Vendas), Elena Zarzuela (Obtenção de Recursos), Arnold Ziffle (Expedição), Patrick Silva (Qualidade), Martin Vilck (Coach Seis Sigma), Gary Soares (Finanças), Robert Dallos (Tecnologia de Informação).

Plano Preliminar de Projeto : Para se alcançar a meta e resultados até a data requerida, a equipe terá que trabalhar com muita rapidez. Seguem os marcos para conclusão de cada fase do processo DMAMC: Definir (15 de Março), Medir (15 de Maio), Analisar (15 de Julho), Melhorar (15 de Setembro), Controlar (15 de Dezembro)

15 de Fevereiro
Versão 1 / Pág. 1 de 1

Figura 3.4 – Exemplo de uma *Carta de Projeto* adaptada de PANDE et al.

PANDE et al. (2001) ainda destaca a importância em se identificar e ouvir a “Voz do Cliente” na fase DEFINIR dentro do DMAIC, pois se uma organização detém uma estratégia eficaz de captura da voz do cliente (VOC) e os dados estiverem acessíveis, deve ser mais fácil para uma equipe DMAIC validar as necessidades e as especificações do cliente.

3.1.3.2 A fase MEDIR

Nesta fase tem-se o objetivo de se saber como o processo é medido e qual é sua respectiva performance. O time de projeto *Seis Sigma* procura identificar os processos internos principais que influenciam as características críticas para a qualidade (CTQs) e medem os defeitos atualmente gerados relativos a estes processos (HENDERSON e EVANS, 2000).

HARRY (1998), basicamente define a fase MEDIR muito próximo à definição de HENDERSON e EVANS. “Nesta fase, o time seleciona um ou mais CTQs (*Critical to Quality Characteristic*), mapeia os respectivos processos, realiza-se as medições necessárias, armazena-se os resultados e estima-se a capacidade do processo de curto e longo prazo”.

Para isso, ROTONDARO et al. (2002) atribui dois passos:

1. Desenhar o processo e os sub-processos envolvidos com o projeto, definindo as entradas e as saídas. Estabelecer as relações advindas da equação $Y = f(X)$, onde X são as entradas do processo e Y são as saídas;
2. Analisar o sistema de medição de modo a ajustá-lo às necessidades do processo. Coletar dados do processo por meio de um sistema que produza amostras representativas e aleatórias.

Já PANDE et al. (2001) com relação às escolhas de medição, afirma que as decisões de que medidas fazer costumam ser difíceis, tanto devido às muitas opções disponíveis como no desafio apresentado pela coleta de dados. Nos esforços de melhoria do processo, a necessidade de coletar dados em diversas fases é uma das razões principais pelas quais os projetos freqüentemente levam meses para serem concluídos.

“Saber qual é a respectiva performance do processo” ou “estimar a capacidade do processo”, citado nos parágrafos anteriores através das diversas bibliografias consultadas, nada mais é do que simplesmente se determinar a capacidade do processo, expressa pelo seu valor σ (*Sigma*).

Para finalizar, ainda segundo PANDE et al. (2001), é necessário que se tenha uma medição sólida, repetitiva, que confirme e esclareça o problema ou a oportunidade, pois será a medida que se repetirá durante e depois que as soluções forem implementadas, para monitorar os efeitos de sua melhoria. Isto garante uma transição suave e adequada da fase MEDIR para a fase ANALISAR.

3.1.3.3 A fase ANALISAR

Nesta fase tem-se o objetivo de se identificar a lacuna existente entre as performances do processo atual e do processo desejado, priorizando problemas e identificando as causas desses problemas (PORTER, 2000).

De acordo com ROTONDARO et al. (2002), a terceira fase é atribuída à chamada “*Análise das Causas*”, na qual a análise dos dados coletados na fase anterior MEDIR é realizada utilizando-se de ferramentas estatísticas e ferramentas da qualidade. As causas que influenciam no resultado do processo devem ser determinadas.

HARRY (1998) define a fase ANALISAR muito próxima à de PORTER. “Esta fase permite que a equipe realize comparativos de medidas de performance principais do produto. Seguindo isso, uma análise desta lacuna é freqüentemente incumbida de identificar os fatores comuns de uma performance de sucesso”.

PANDE et al. (2001) considera esta fase como sendo a mais imprevisível do DMAIC, pois ele afirma que não existe certeza absoluta de uma causa raiz. As ferramentas que se devem usar e a maneira de como aplicá-las vão depender muito do problema a ser estudado, bem como do processo envolvido. Ele ainda apresenta a fase ANALISAR como um ciclo aplicado na melhoria de processo. O ciclo é impulsionado através da geração e da avaliação de “hipóteses” (ou “estimativas”) quanto à causa do problema. Pode-se entrar num ciclo ou no ponto (a), examinando-se o processo e os dados para se identificar causas possíveis; ou no ponto (b), onde se começa com a suspeita de uma causa e procura confirmá-la ou rejeitá-la através de uma análise, conforme mostrado na figura 3.5. Quando se encontra uma hipótese que não seja correta, pode-se ter que voltar ao início do ciclo para se obter uma

explicação completamente diferente. Mas, mesmo as causas incorretas, na verdade, são oportunidades para refinar e estreitar a explicação do problema.

Figura 3.5 – O ciclo de hipótese/análise da causa-raiz, adaptada de PANDE et al.

3.1.3.4 A fase MELHORAR

Conforme HENDERSON e EVANS (2000), a fase MELHORAR é baseada em como se remover as causas dos erros e /ou defeitos do processo. A equipe de projeto *Seis Sigma* consolida as variáveis essenciais e quantifica seus efeitos sobre as características críticas para a qualidade (CTQs). É também identificado os limites máximos aceitáveis para essas as variáveis essenciais, bem como a validação de um sistema de medição de desvios para as variáveis. A equipe modifica então o processo para que este possa apresentar uma performance quanto à variabilidade dentro dos limites aceitáveis.

Com uma definição mais branda e simplificada, PORTER (2000) define esta fase como sendo uma etapa que envolve a geração de soluções de melhoria e resolução de problemas para que sejam alcançados os requisitos financeiros e outros objetivos de performance.

ROTONDARO et al. (2002) afirma que “esta é a fase em que a equipe deve fazer as melhorias no processo existente. Os dados estatísticos devem ser traduzidos em dados do processo e a equipe deve “*pôr a mão na massa*”, modificando tecnicamente os elementos do processo, atuando sobre as causas raízes”. A fase

MELHORAR é uma fase crítica, pois é nesta fase que as melhorias se materializam no processo e é a fase onde a equipe de projeto interage diretamente com as pessoas que executam as atividades.

PANDE et al. (2001) expõe que todo o trabalho de definição, medição e análise de problemas de processos dá resultado na fase MELHORAR. Mas PANDE é cauteloso em afirmar que a falta de criatividade, a falha em examinar soluções cuidadosamente do início ao fim, a implementação superficial e aleatória e a resistência organizacional são fatores que podem sufocar os benefícios de um projeto *Seis Sigma*. Durante a fase MELHORAR, é importante procurar meios de maximizar os benefícios decorrentes de seus esforços. Se houver meios através dos quais uma solução limitada possa remediar outras questões, deve-se aproveitar esta vantagem, desde que os riscos sejam aceitáveis. Com demasiada frequência, equipes estreitam as soluções quando poderiam ter alcançado mais com apenas um pouco mais de criatividade e uma perspectiva mais ampla.

3.1.3.5 A fase CONTROLAR

A última das fases do processo DMAIC é a fase CONTROLAR. Por ser a última, não significa ser a menos importante, muito pelo contrário, segundo PANDE et al. (2001) afirma, o “C” na verdade é o começo da melhoria e da integração sustentadas do Sistema *Seis Sigma*. Ele defende a exploração tanto dos desafios de curto quanto os de longo prazos para sustentar a melhoria *Seis Sigma* e unificar todos os conceitos e métodos das fases anteriores em uma metodologia de gestão transfuncional continuada. As ações fundamentais a serem empreendidas nos processos de gestão para o desempenho *Seis Sigma* são três:

1. *Implementar medidas em andamento e ações para manter a melhoria* : construindo um suporte sólido para a solução, documentando as mudanças e os novos métodos, estabelecendo medidas e gráficos significativos e criando planos de resposta de processo;
2. *Definir responsabilidade para a propriedade e gerenciamento do processo*: designando os “proprietários do processo”, definindo suas responsabilidades

e estabelecendo novas estruturas hierárquicas, seja tanto a nível funcional como também departamental;

3. *Executar monitoramento de “loop fechado” e impulso em direção ao desempenho Seis Sigma*: estabelecendo a gestão de processo, o que vem a tornar verdadeiramente uma organização *Seis Sigma*.

HARRY (1998) cita na fase CONTROLAR que após um período de acomodação, a capacidade dos processos deve ser novamente medida para assegurar que os ganhos alcançados estão sendo mantidos. Dependendo de como alguns resultados se apresentarem, talvez haja a necessidade de se re-aplicar uma ou mais fases anteriores do processo DMAIC. “Quando as quatro fases – MEDIR, ANALISAR, MELHORAR e CONTROLAR são completadas para todos os processos principais dentro de um negócio, uma melhoria de ruptura ocorre em termos de satisfação do cliente e economia”.

HENDERSON e EVANS (2000) definem a fase CONTROLAR através de uma simples pergunta: “Como nós podemos manter as melhorias?”. Para tanto ele alega que ferramentas de auxílio devem ser colocadas em prática para se assegurar que as variáveis principais dos processos modificados permaneçam dentro das faixas aceitáveis definidas por todo tempo.

Em linha com as colocações acima citadas, principalmente com a de HARRY, PORTER (2000) afirma que a fase CONTROLAR envolve a implementação de processos melhorados de uma maneira que se “assegure os ganhos”. Após um período de averiguação do processo, onde sua capacidade deve ser calculada novamente para se verificar se os ganhos esperados estão sendo sustentados, PORTER recomenda a repetição do ciclo no caso de alguma baixa no nível de performance ser identificado, diferentemente de HARRY que recomenda uma ou mais fases apenas.

Por fim, ROTONDARO et al. (2002) afirma que “esta é a fase em que se deve manter o processo sob controle”, validando um sistema de medição e controle para medir continuamente o processo, garantindo que a capacidade do processo seja mantida. Conforme a equação $Y = f(X)$ citada anteriormente, ROTONDARO afirma

que o monitoramento dos Xs críticos é fundamental não só para manter a capacidade do processo estabelecida, mas também para indicar melhorias futuras.

3.1.4 A estrutura *Seis Sigma*

Uma característica muito poderosa do *Seis Sigma* é a criação de uma infraestrutura para assegurar que as atividades de melhoria de performance tenham recursos necessários. A falha que proporciona essa infra-estrutura é a razão número 1 do porquê 80% das implementações da *Gestão da Qualidade Total* (GQT) terem falhado no passado. O *Seis Sigma* proporciona melhorias e mudanças no trabalho, representando um percentual pequeno, mas crítico da organização. Esses agentes de mudança são os catalisadores que as institucionalizam (PYZDEK, 2002).

A conversão para uma cultura *Seis Sigma* é um enorme compromisso. Muitas pessoas têm que estar diretamente envolvidas, e muitos sistemas de suporte tem que estar disponíveis para fazer com que tudo isso trabalhe da forma mais suave possível. Conseguir os níveis de qualidade *Seis Sigma* requer uma total aceitação de todos os departamentos e uma participação ativa de todo membro do time da companhia. Os empregados com funções e responsabilidades específicas também são importantes no desdobramento do *Seis Sigma* (HENDERSON e EVANS, 2000).

Uma das tarefas fundamentais dos participantes do time de trabalho de um projeto *Seis Sigma* é a de definir os papéis apropriados para sua organização e esclarecer suas responsabilidades. As decisões devem ser impulsionadas por uma série de fatores, incluindo seus objetivos, plano de implementação, orçamentos e recursos existentes (PANDE et al., 2001).

Por finalizar, a frase escrita por SNEE (2001) procura sintetizar a importância de uma equipe de projeto *Seis Sigma* bem estruturada: “Um projeto escolhido pode ser o projeto certo para uma organização trabalhar, porém, ele ainda pode vir a ser uma falha porque pessoas erradas foram escolhidas para trabalharem neste projeto”.

3.1.4.1 A equipe *Seis Sigma*

De acordo com ROTONDARO et al. (2002), a constituição da equipe *Seis Sigma* é fundamental no sucesso do programa, pois ele é desenvolvido essencialmente por pessoas. Ele apresenta a concepção utilizada pelas empresas que desenvolveram a metodologia e afirmam que este modelo é parte integrante do sucesso que elas conseguiram. “Cada empresa deve montar sua equipe e seus jogadores da forma que melhor se adaptar às suas condições, mas o importante é lembrar que as pessoas devem ter tempo para estudar e trabalhar nos grupos *Seis Sigma*”.

HARRY (1998) também afirma em seu artigo que, desde que as organizações são formadas por pessoas e seus respectivos conhecimentos, e não somente por filosofias ou programas, o sucesso da “estratégia de ruptura” do *Seis Sigma* depende totalmente das pessoas que farão parte da equipe.

De acordo com SNEE (2001), grandes equipes não são recomendadas, pois segundo ele, à medida que o tamanho da equipe aumenta, as dificuldades para achar um consenso geral também aumentam. Os membros do time devem ter conhecimento e experiência sobre o processo que está sendo estudado. SNEE ainda cita que o time deve chamar outros especialistas quando necessário.

Ainda segundo HARRY (1998), os termos que serão citados a seguir e, que formam a estrutura básica de uma Equipe *Seis Sigma*, foram criados pela Motorola e procuram salientar as características e as qualidades de cada especialista dentro do sistema. As nomenclaturas são:

- ❑ “Líderes”;
- ❑ “Patrocinadores ou Campeões”;
- ❑ “Master Black Belts”;
- ❑ “Black Belts”;
- ❑ “Green Belts”.

PANDE et al. (2001) afirma que os papéis citados anteriormente não são todos obrigatórios. Na verdade, segundo ele, isto é uma sugestão que estes sejam o maior número que se possa ter, já que é passível de se ter uma superposição entre estas responsabilidades (figura 3.6).

<i>Papel Genérico</i>	<i>Faixas ou outros Títulos</i>
Conselho de Liderança	Conselho da Qualidade, Comitê de Gestão Seis Sigma
Patrocinador	Campeão, Proprietário de Processo
Líder de Implementação	Diretor Seis Sigma, Líder da Qualidade, Mestre Faixa-preta
Coach	Mestre Faixa-preta ou Faixa-preta
Líder de Equipe	Faixa-preta ou Faixa-verde
Membro de Equipe	Membro de Equipe ou Faixa-verde
Proprietário de Processo	Patrocinador ou Campeão

Figura 3.6 – Variações em papéis genéricos e faixas ou outros títulos, adaptada de PANDE et al.

3.1.4.1.1 Os “Líderes”

De acordo com PYZDEK (2000), o esforço *Seis Sigma* não pode ser liderado por qualquer um que não seja o CEO (*Chief Executive Officer*) da companhia, que é o responsável pela performance da empresa como um todo, pois conforme ele cita, “O *Seis Sigma* é uma filosofia que deve ser implementada de cima pra baixo”. O *Seis Sigma* muda os maiores fluxos de valor dos negócios que cruzam as barreiras organizacionais. É o meio pelo qual as metas estratégicas da empresa são alcançadas.

PANDE et al. (2001) também atribui o papel dos líderes dentro de um Projeto *Seis Sigma* como sendo de membros da alta gerência, os quais devem possuir funções específicas, como:

- ❑ Estabelecer os papéis e a infra-estrutura da iniciativa *Seis Sigma*;
- ❑ Selecionar projetos específicos e alocação de recursos;
- ❑ Rever periodicamente o progresso de vários projetos e oferecer idéias e auxílio;

- ❑ Auxiliar e quantificar o impacto dos esforços *Seis Sigma* sobre a linha de resultados da empresa;
- ❑ Avaliar o progresso e identificar pontos fortes e fracos do esforço;
- ❑ Compartilhar melhores práticas com toda a organização, com fornecedores e principais clientes;
- ❑ Agir como removedores de barreiras, quando as equipes identificarem bloqueios aparentes;
- ❑ Aplicar as lições aprendidas e seus estilos pessoais de gerência.

Já ROTONDARO et al. (2002), também atribui funções específicas ao que ele chama de “Executivo líder”. Essas funções foram colocadas de uma maneira mais simples e objetiva em relação às funções de PANDE citadas no parágrafo anterior, destacando-se a ênfase à verificação dos benefícios financeiros alcançados com os projetos *Seis Sigma*.

3.1.4.1.2 Os “Patrocinadores” ou “Campeões”

Os patrocinadores são profissionais de alto nível que compreendem o *Seis Sigma* e estão comprometidos com seu sucesso. Em grandes organizações, o *Seis Sigma* será liderado por um patrocinador de alto nível, em tempo integral, tal como o vice-presidente executivo, por exemplo. Em todas as organizações, os patrocinadores também incluem líderes informais que utilizam o *Seis Sigma* no seu dia-a-dia e transmitem a mensagem do *Seis Sigma* em todas as oportunidades. Os patrocinadores também são os proprietários dos processos e sistemas que ajudam a iniciar e coordenar as atividades de melhoria de *Seis Sigma* em suas respectivas áreas de responsabilidade (PYZDEK, 2000).

ROTONDARO et al. (2002), da mesma forma como fez na explanação do Executivo Líder, definiu o papel do Campeão através da citação simplificada e um tanto objetiva de suas funções, citando também que, a função do Campeão normalmente ocorre em organizações grandes com várias divisões.

De acordo com PANDE et al. (2001), os patrocinadores devem possuir uma responsabilidade crítica que pode exigir um equilíbrio delicado, pois as equipes

precisam de liberdade para tomar suas próprias decisões, mas também necessitam de orientação dos líderes da empresa para direcionarem seus esforços. PANDE ainda faz uma colocação importante, afirmando que, de todas as responsabilidades que são atribuídas aos patrocinadores ou campeões, indo em linha com as já citadas por ROTONDARO no parágrafo anterior, talvez a mais importante para o sucesso de um projeto de melhoria seja a de auxiliar equipes a refinarem o escopo de seus projetos, pois muitos projetos desaceleram ou param simplesmente porque o grupo hesita em estreitar ou deslocar seu foco por medo de desapontar os líderes.

3.1.4.1.3 Os “Master Black Belts”

PYZDEK (2000) declara que o “Master Black Belt” é o nível mais alto de proficiência técnica e organizacional dentro da filosofia *Seis Sigma*. Por consequência, eles devem conhecer tudo o que os “Black Belts” sabem, bem como entender a teoria matemática na qual os métodos estatísticos são baseados. Os “Master Black Belts” devem estar aptos a acompanhar os “Black Belts” na aplicação correta dos métodos em situações incomuns.

Já PANDE et al. (2001), afirma que os termos “Master Black Belt” e “Black Belt” possuem basicamente as mesmas funções, responsabilidades e princípios. A diferença estaria no nível de treinamento e, principalmente experiência absorvidos, ou como ele próprio afirma: “*Master Black Belts* são mais consistentemente especialistas em ferramentas estatísticas, embora possam assumir o papel de um consultor interno de *gestão de mudança* também”. O que se espera deles são duas considerações:

- ❑ *Desenvolvimento de habilidades gerenciais*: umas das finalidades no desenvolvimento de “Master” ou “Black Belts” é a de aprimorar as habilidades de gerentes e futuros líderes;
- ❑ *Construção de Especialização técnica*: é estabelecer o “Master” ou “Black Belt” como cargo permanente e caminho de carreira, selecionando e treinando pessoas com habilidades e aptidões para o *Seis Sigma*.

Em linha com a primeira consideração citada acima, BRAZ (2002b) afirmou que o sucessor do lendário CEO da GE, Jack Welch, um dos maiores defensores da filosofia *Seis Sigma*, foi um dos melhores e mais conceituados “Master Black Belts” da companhia.

3.1.4.1.4 Os “Black Belts”

Os “Black Belts” são profissionais tecnicamente orientados levando-se em consideração suas habilidades incomuns. Eles devem estar ativamente envolvidos no processo de mudança e desenvolvimento organizacional. Os “Black Belts” trabalham para extrair conhecimento litigioso do armazenamento de informações da organização (PYZDEK, 2000).

ROTONDARO et al. (2002) define os “Black Belts”, juntamente com os “Green Belts” como profissionais que devem trabalhar sob o comando dos “Master Black Belts”, destacando a atribuição de funções como possuir excelentes conhecimentos técnicos de sua área de trabalho e ao mesmo tempo dominar técnicas estatísticas e de solução de problemas.

3.1.4.1.5 Os “Green Belts”

Segundo PYZDEK (2000), os “Green Belts” são líderes de projetos *Seis Sigma* capazes de formar e facilitar equipes de *Seis Sigma* e administrar os projetos, desde o seu conceito até sua conclusão.

Com uma definição mais estruturada, HENDERSON e EVANS (2000) definem os “Green Belts” como sendo “professores de tempo integral com grandes habilidades”. Eles ainda devem ser líderes responsáveis pela estratégia, treinamento e disseminação da filosofia *Seis Sigma*.

ROTONDARO et al. (2002) atribui aos “Green Belts” cargos normalmente de média chefia dentro de uma organização. Ele ainda afirma que o treinamento de um “Green Belt” é mais simplificado que o de um “Black Belt”, tendo como uma de

suas principais funções o auxílio aos “Black Belts” na coleta de dados e no desenvolvimento de experimentos.

3.1.4.2 Treinamento

Dedicando um capítulo inteiro ao Treinamento, PANDE et al. (2001) destaca que o treinamento, tanto inicial como em bases permanentes, é um ingrediente essencial para se alcançar sucesso usando a Estratégia *Seis Sigma*. As características para um bom treinamento *Seis Sigma* não são necessariamente diferentes daquelas para qualquer outro tipo de treinamento. PANDE também preferiu citar uma abordagem individualizada sobre o treinamento *Seis Sigma*, fornecendo um amplo plano para o desenvolvimento de habilidades e comprometimento, baseado na abordagem que vem sendo aplicada em uma série de empresas. A seguir, tem-se a tabela 3.1 representando uma visão geral do plano genérico.

Tabela 3.1 – Modelo de conteúdo de treinamento *Seis Sigma*, adaptada de PANDE et al.

<i>Componente de Treinamento</i>	<i>Conteúdo principal</i>	<i>Público</i>	<i>Duração</i>
Orientação aos conceitos Seis Sigma	Princípios básicos Seis Sigma; revisão da necessidade da empresa para o Seis Sigma	Todos	1 - 2 dias
Esforços principais e Patrocinadores Seis Sigma	Exigências do papel e das habilidades para o Conselho de Liderança e Patrocinários, seleção de projeto; revisão de projetos de equipe	Líderes de empresas; Líderes de implementação	1 - 2 dias
Processos Seis Sigma e Ferramentas para Líderes	Instrução condensada e adaptada da medição e dos processos / ferramentas de análise do Seis Sigma	Líderes de empresas; Líderes de implementação	3 - 5 dias
Mudança Principal	Conceitos e práticas para estabelecer direção, promoção e orientação para a mudança organizacional	Líderes de empresas; Líderes de implementação; treinador / mestres faixas-pretas; líderes de equipe; faixas-pretas	2 - 5 dias
Treinamento de habilidades básicas para a melhoria do Seis Sigma	Melhoria do processo, projeto/reprojeto, medição essencial e ferramentas de melhorias	Líderes de equipe; faixas pretas; gerentes/faixas-verdes; membros da equipe; patrocinadores de projeto	6 - 10 dias
Colaboração e habilidades de liderança da equipe	Habilidades e métodos para desenvolver consenso, discussões principais, condução de reuniões, administrando desavenças	Líderes de empresa; treinadores/mestres faixas-pretas; líderes de equipe; gerentes/faixas-verdes; membros da equipe	2 - 5 dias
Intermediar a Medição Seis Sigma e as ferramentas analíticas	Habilidades técnicas para desafios de projetos mais complexos: amostragem e coleta de dados; controle estatístico do processo - testes de significância; correlação e regressão; planejamento de experimentos básico	Treinadores/mestres faixas-pretas; líderes de equipe/faixas-pretas	2 - 6 dias
Ferramentas avançadas Seis Sigma	Módulos em habilidades de especialização e ferramentas; utilização do QFD; estatística avançada; DOE avançado; etc.	Treinadores/mestres faixas-pretas; consultores internos	Varia por tópico
Princípios e habilidades do Gerenciamento de Processos	Definir um processo essencial ou de apoio; identificar resultados, exigências e medidas críticas; planos para monitoramento e resposta	Proprietários do processo; líderes de empresa; gerentes funcionais	2 - 5 dias

Já HENDERSON e EVANS (2000) afirmam que, além do “*hardware*” e do “*software*”, o “*human-ware*” (fazendo uma analogia à parte humana) é necessária para realizar o trabalho produtivo, chegando-se ao consenso que treinamento é uma pedra-angular para a equação da produtividade. Outro ponto destacado na colocação de HENDERSON e EVANS é a de que o treinamento *Seis Sigma* deve ser realizado por uma fonte externa à companhia. Por ser uma espécie de treinamento que deve promover mudanças culturais, os treinamentos internos raramente conseguem atingir tal objetivo. Com isso, as empresas de consultoria especializadas em *Seis Sigma* acabam lucrando com essa oportunidade. Foi em uma dessas oportunidades que o famoso Michael J. Harry foi contratado como consultor para desenvolver o treinamento de *Seis Sigma* para a GE, o qual foi estabelecido por Harry para ser aplicado a todos os funcionários da companhia, englobando todas as fases do DMAIC e as respectivas ferramentas de aplicação em cada fase.

Falando-se em termos de números, PYZDEK (2000) afirma que programas experientes de aplicação do *Seis Sigma* possuem em média 1% de “Black Belts” em sua equipe e cerca de um “Master Black Belt” para cada dez “Black Belts” ou um “Master Black Belt” para cada 1000 funcionários. Os resultados reportados alcançam valores de 150 mil a 240 mil dólares aproximadamente, variando de organização para organização. Além disso, completando de cinco a sete projetos por ano por “Black Belt”, a empresa irá aumentar em 1 milhão de dólares por ano por “Black Belt” em seu chão-de-fábrica, cifra esta também citada por HARRY (1998) em seu artigo.

Com relação ao treinamento que deve ser empreendido a cada membro da equipe, GROSS (2001) define três níveis de treinamento, os quais estão associados aos três níveis de “belts” existentes: “Master Black”, “Black” e o “Green”. Cada nível é diferenciado pelo nível de aprofundamento em técnicas estatísticas, resolução de problemas e técnicas de gerenciamento de mudanças.

Um ponto interessante somente encontrado na bibliografia de PYZDEK é a de que, quando possível, o treinamento estatístico deve ser conduzido somente por “Master Black Belts”, caso contrário, poderá ocorrer o conhecido fenômeno “propagação de erro”, ou seja, “Black Belts” passam erros para os “Green Belts”, que por sua vez irão transmitir erros maiores para o restante da equipe.

Enfatizando ainda especificamente o treinamento dos “Master Black Belts” e dos “Black Belts”, estes últimos são certificados após terem conduzido duas equipes de projetos com sucesso. Já para a certificação de um “Master Black Belt” são requeridos usualmente 20 projetos de sucesso (LUCAS, 2002).

3.1.4.3 Implementação do *Seis Sigma*

PYZDEK (2000) afirma em seu texto que, após duas décadas de experiência com melhoria da qualidade, existe um organismo sólido de pesquisa científica relacionado a milhares de empresas que estão implementando programas como *Seis Sigma*. Pesquisadores chegaram a conclusão que a aplicação bem sucedida do *Seis Sigma* envolve enfocar um pequeno número de itens de maior influência. Os passos requeridos para uma implementação com sucesso devem ser disciplinadamente seguidos e bem documentados, pois contribuirão para estabilizar a organização e cultivar um ambiente para inovação e criatividade, comprovando sua eficácia. Isso também envolve a redução de níveis de hierarquia organizacional e a remoção de barreiras progressivas.

Em linha com PYZDEK, NAUMANN (2000) afirma que, para a implementação de um projeto *Seis Sigma*, deve haver um fluxo lógico entre os vários passos existentes no processo. Ele afirma que há também a possibilidade de haver sobreposição de tarefas na passagem de um passo para o outro, ocorrência que considera normal se a direção dos esforços *Seis Sigma* continuar focada e consistente com a melhoria do processo. NAUMANN definiu sua estratégia de implementação em 22 passos a serem processados sequencialmente.

BLAKESLEE (1999) propõe, em linha com NAUMANN, sete princípios básicos para assegurar a melhoria da performance nos negócios através de uma implementação eficaz do *Seis Sigma*, os quais ele chama de “Fatores Críticos de Sucesso”, conforme pode ser observado na figura 3.7 a seguir.

Figura 3.7 – Fatores críticos de sucesso, adaptada de BLAKESLEE

MARASH (2000) destaca em seu artigo que, quando se fala em implementação do *Seis Sigma*, um dos maiores impulsos em empresas que aplicaram o *Seis Sigma* tem sido o desenvolvimento de especialistas altamente treinados. Porém ele questiona como estará o *Seis Sigma* em 20 ou 50 anos, considerando que a resposta dependerá muito da equipe executiva das organizações compreender que somente criar equipes não é suficiente, a menos que haja uma verdadeira mudança na maneira da empresa se adaptar aos novos objetivos e metodologias para atingir seus objetivos. Espera-se que as empresas visualizem a natureza holística do *Seis Sigma* e não se concentrem apenas em treinar várias pessoas.

Divergindo um pouco da colocação de MARASH citada acima, LUCAS (2002) procura enfocar em seu texto a importância do treinamento, afirmando que “é importante notar que participantes de projetos *Seis Sigma* tendem a ser agentes de mudança, os quais prosperam nos novos negócios caracterizados por constantes mudanças. Por esta razão, uma companhia deve procurar treinar um grande número de funcionários”. LUCAS ainda cita o exemplo da GE, onde os funcionários que não possuírem treinamento de “Black Belt” ou “Green Belt” não são considerados como potenciais candidatos a serem promovidos para cargos de gerência.

Para finalizar, cabe a citação do planejamento de implementação do *Seis Sigma* de forma simples, curta e objetiva de GROSS (2001), que escreve: “Uma vez

que a equipe tenha definido claramente as metas e objetivos do programa, o plano de implementação pode começar”.

3.2 Apresentação da metodologia *DESIGN FOR SIX SIGMA* (DFSS)

3.2.1 Definição do *Design for Six Sigma*

Em uma definição genérica, encontrada na maioria das bibliografias pesquisadas, o *Design for Six Sigma*, com sua correspondente sigla DFSS pode ser traduzido para a linguagem portuguesa como “Projetando para o *Seis Sigma*”, metodologia criada e aplicada para processos produtivos e de serviços que precisam ser constituídos de forma que, ao estarem em funcionamento, estejam aptos a atingir níveis *Seis Sigma* de desempenho.

De acordo com BRAZ (2002a), o *Design for Six Sigma* também pode ser aplicado para aqueles processos nos quais seu nível de desempenho esteja tão baixo em termos de índices sigma e tão alto em termos de valores de defeitos, e o próprio processo esteja se comportando de forma tão ruim para a companhia que, quaisquer esforços empreendidos para se aplicar um projeto *Seis Sigma* através da metodologia DMAIC, vista no capítulo 3.1 deste trabalho, não resultarão ao final do projeto, em um processo satisfatório, refletindo níveis *Seis Sigma*.

Conforme TREICHLER et al. (2002), o *Design for Six Sigma* é uma mudança de cultura ocorrida na organização de projeto e desenvolvimento do produto, passando de determinística para probabilística. As pessoas são treinadas para incorporar análises estatísticas dos modos de falha, tanto em produtos quanto em processos, com o objetivo de incorporar alterações que eliminem características de projeto com uma probabilidade estatística de falha dentro de uma faixa pré-definida de condições e sistemas operacionais.

TREICHLER et al. (2002) também afirma que o DFSS está ganhando vulto como uma disciplina praticada pelos times de projeto na maioria das corporações existentes. Como exemplo, ele cita em seu artigo a definição adotada pela GE Corporate Reserch and Development para o DFSS: “O DFSS está modificando a

companhia. Com ele, nós podemos contar com toda a capacidade da GE e elevar todos os nossos projetos de produtos e processos para um nível de performance e qualidade de classe mundial. A essência do DFSS está no fato de prever adiante a qualidade do projeto, bem como guiar as medições de qualidade e melhoria desta previsão durante as fases iniciais do projeto”.

3.2.2 Origem do DFSS

Assim como o *Seis Sigma*, WERKEMA (2002) afirma em seu livro que o Design for Six Sigma também tem suas origens creditadas à empresa General Electric. De uma forma bastante simplificada, ela afirma que o DFSS surgiu como uma extensão do *Seis Sigma* para o projeto de novos produtos e processos, uma vez que é fundamental que as empresas estejam capacitadas para a aplicação de metodologias e ferramentas de maior sofisticação e eficácia durante o planejamento da qualidade, visando alcançar, para os novos produtos, metas de aumento da confiabilidade, introdução de novas tecnologias ou redução de custos.

De acordo com BERRYMAN & ASSOCIATES (2003), em uma simples consulta em seu site na Internet, é possível se verificar que, a ele é atribuído por muitos o título de “pioneiro” na criação, utilização e disseminação da metodologia Design for Six Sigma de uma forma estruturada e aplicável às companhias. BERRYMAN fundou a “Berryman & Associates”, especializada em DFSS, de onde cita várias importantes empresas que fizeram uso de seus serviços de consultoria, com destaque para a própria General Electric, no período compreendido entre os anos de 1996 e 2000. Segue a tabela 3.2 mostrando as principais empresas citadas por Berryman que adotaram o DFSS.

Tabela 3.2 – Empresas que adotaram o DFSS

EMPRESA	PERÍODO
Allied Signal/Honeywell	1996 – 1999
General Electric	1996 – 2000
Toshiba Corporation	1999 – 2001
Johnson & Johnson	2000 – presente
General Motors	2000 – 2001
Johnson Controls	2000 – presente
Seagate	2000 – presente

Nota-se que BERRYMAN também é o responsável pela introdução da metodologia e sua conseqüente adaptação às necessidades da General Motors. Este processo em particular será visto a partir do capítulo 4 deste trabalho.

Finalizando, fazendo uma breve análise crítica em relação às duas citações, respectivamente de WERKEMA e BERRYMAN, concorda-se que o DFSS fora primeiramente introduzido na GE em meados de 1996.

3.2.3 O DFSS x Seis Sigma

O *Design for Six Sigma*, em uma primeira análise, parece ser uma extensão da metodologia Seis Sigma. No desenvolver deste trabalho, deve-se salientar que, tanto na análise deste presente trabalho como nas bibliografias coletadas, que essa não é a realidade. O DFSS e o *Seis Sigma* são metodologias independentes, entretanto, o DFSS compartilha de muitas características que fazem do *Seis Sigma* uma metodologia mundialmente conhecida.

Focando-se as diferenças entre essas duas metodologias, pode-se afirmar que a metodologia DMAMC é uma metodologia tipicamente adotada em processos produtivos e de serviços que estejam necessitando de substanciais melhorias em seu nível *sigma* de desempenho. Busca-se entender quais as partes do processo que estejam carentes de desempenho e necessitam de melhorias, para que, após a

aplicação do *Seis Sigma* nestas partes específicas, o desempenho de uma maneira geral melhora satisfatoriamente.

Entretanto, o princípio do DFSS é outro. Ele é aplicado quando se deseja constituir um processo novo. Deste modo, ele é estudado e projetado, daí a expressão *Design for Six Sigma*, com uma tradução livre do inglês para “*Projetando para o Seis Sigma*”, e assim projetado para que ele já inicie suas atividades apresentando um nível *Seis Sigma* de desempenho.

De acordo com BRAZ (2002b), o foco do *Seis Sigma* é eliminar desperdícios atacando a fábrica oculta, caracterizando este foco em processos e não em produtos. Esta é composta por todas as atividades que existem dentro da empresa, as quais são fontes geradoras de custo, mas que não agregam valor ao produto. Isso inclui inspeções, retrabalho e refugo. Nenhuma mudança é feita, a princípio, no produto.

BRAZ (2002b) ainda afirma que o *Seis Sigma* apresenta-se praticamente incapaz de ultrapassar a barreira dos cinco sigmas. Isso se deve em grande parte ao fato de o custo de passar de cinco sigmas para seis sigmas ser elevado para a empresa. Baseado nisso, o DFSS é apontado como a forma de se atingir níveis de seis sigmas, pois nesse caso, a qualidade do produto é projetada, e não apenas melhorada.

Cabe se fazer neste ponto uma análise crítica em relação às colocações de BRAZ, pois concorda-se que o foco do *Seis Sigma* é no processo, porém as ações resultantes deste foco nada impedem que se possa gerar alterações no produto. O inverso também é verdadeiro para o DFSS, ou seja, o foco no produto pode gerar alterações no processo.

WERKEMA (2002) apresenta um importante fluxograma a seguir (figura 3.8), a qual demonstra a integração entre as metodologias *Seis Sigma* (melhoria do desempenho do produto e processo) e DFSS (projetos de novos produtos e processos) tendo como ponto de partida o procedimento para a seleção de projetos.

Figura 3.8 – Decisão da metodologia a utilizar, adaptada de WERKEMA

Entretanto, nem sempre a melhor solução é recomeçar. Melhorar o quadro atual pode ser muitas vezes necessário e a melhor opção em termos financeiros. O desenvolvimento de um novo produto depende de uma série de fatores, como o estágio do produto atual no ciclo de vida, sua posição competitiva no mercado, sua projeção para os anos seguintes, etc. Dessa forma, o DFSS e o *Seis Sigma* apresentam-se como complementares e, de certa forma, independentes.

Por outro lado, TREICHLER et al. (2002) é categórico em sua afirmação na qual diverge da exposição acima de WERKEMA (2002), pois afirma veemente: “O DFSS é uma maneira muito mais efetiva e menos onerosa em termos financeiros de se atingir níveis de qualidade seis sigmas do que tentar corrigir problemas após o produto já estar no mercado”.

Face ao exposto acima, cria-se uma pergunta contraditória em relação ao DFSS e o *Seis Sigma*: Que decisões estratégicas fazem as empresas como, por exemplo, uma montadora concorrente da GM do Brasil, conforme divulgado no Congresso SAE Brasil de 2003, utilizar o *Seis Sigma*, e a GM do Brasil utilizar

somente o DFSS? Estaria, então a G.E., em um patamar acima no que diz respeito à experiência e domínio do conhecimento, pela razão de fazer uso das duas metodologias conjuntamente?

3.2.4 A metodologia DFSS

Considerando-se o *Design for Six Sigma* em sua definição mais abrangente e simplificada, ou seja, que o DFSS é uma aplicação do *Seis Sigma* para projetos e desenvolvimento de novos produtos e serviços, assim como o *Seis Sigma*, os dois pontos fundamentais são: a metodologia fortemente estruturada e o alto comprometimento da direção da empresa.

Assim, a exemplo da metodologia DMAMC para entendimento do *Seis Sigma*, existem basicamente duas metodologias similares e conhecidas didaticamente para entendimento e explicação do *Design for Six Sigma*: o método DMADV e o método IDDOV. No capítulo 4 será dissertada a metodologia DFSS aplicada especificamente para a General Motors, que possui características particulares e ajustadas à necessidade latente desta empresa do ramo automobilístico. Será possível notar que, apesar de a metodologia adotada pela GM não possuir um anacronismo definido como nos dois casos citados acima e, que serão apresentadas a seguir, ela também é dividida em etapas.

A primeira delas, a metodologia DMADV, é segundo WERKEMA (2002), o método utilizado para aplicação do DFSS em projetos na G.E. Este método, conforme mostra a figura 3.9, é constituído por cinco etapas que são descritas a seguir, enfocando seus objetivos e os principais resultados esperados.

- **DEFINIR:** nesta etapa, o objetivo é definir claramente o novo produto ou processo a ser projetado. Como principais resultados esperados, tem-se: a justificativa para o desenvolvimento do projeto, o potencial de mercado para o novo produto, a análise preliminar da viabilidade técnica e econômica, previsão da data de conclusão do projeto e a estimativa dos recursos necessários;

- ❑ *MEDIR*: seu objetivo é identificar as necessidades dos clientes/consumidores e traduzí-las em características críticas para a qualidade, mensuráveis e priorizadas do produto. Os resultados esperados são o de obter uma análise detalhada do mercado e a formulação de características críticas do produto para o atendimento às necessidades dos clientes/consumidores;
- ❑ *ANALISAR*: selecionar o melhor conceito dentre as alternativas desenvolvidas para o projeto é o objetivo desta fase. Como resultados esperados, tem-se: obter a definição das principais funções a serem projetadas para o atendimento das necessidades dos clientes/consumidores, obter a avaliação técnica dos diferentes conceitos disponíveis e a conseqüente seleção do melhor e, por último, obter a análise financeira detalhada do projeto;
- ❑ *DESENVOLVER*: como o próprio nome diz, o objetivo desta etapa é desenvolver o projeto detalhado, realizar os testes necessários e preparar para a produção em pequena e em larga escala. Como principais resultados esperados, tem-se: o desenvolvimento físico do produto e a realização de testes, a análise do mercado e a receptividade esperada dos clientes/consumidores sobre os protótipos avaliados, o planejamento da produção, o planejamento do lançamento no mercado, a análise financeira atualizada do projeto;
- ❑ *VERIFICAR*: nesta última etapa, o objetivo é testar e validar a viabilidade do projeto, e lançar o novo produto no mercado. Tem-se como resultados esperados a obtenção de êxito no lançamento do produto no mercado, bem como a obtenção das avaliações da performance do projeto.

Figura 3.9 – O Método DMADV, adaptada de WERKEMA

O enfoque encontrado na bibliografia de WERKEMA (2002) é justamente em relação à integração das ferramentas do *Seis Sigma* às etapas do DMADV, fato este citado pela própria autora devido à sua experiência na utilização das ferramentas *Seis Sigma* e na orientação aos *Black Belts* na execução de projetos com foco no desenvolvimento de novos produtos. Tem-se a seguir um resumo correlacionando as principais ferramentas, seus objetivos e suas respectivas e possíveis etapas de aplicação, segundo esta própria autora:

□ Etapa *DEFINIR*:

- Análise de Regressão / Fatorial: definir e avaliar os mercados alvo;
- Diagrama de Relações / Matriz: avaliar a viabilidade técnica;
- Diagrama de Gantt: elaborar um cronograma detalhado do projeto;

- Diagrama do Processo Decisório: preparar a próxima etapa *MEDIR*.
- Etapa *MEDIR*:
 - Plano de Coleta de Dados: estudar as necessidades dos clientes;
 - Benchmarking: analisar os principais concorrentes;
 - Diagrama de Causa e Efeito / QFD: estabelecer as características críticas para a qualidade do produto a ser projetado;
- Etapa *ANALISAR*:
 - Análise de Pugh / TRIZ / DFM/DFA: identificar as funções, gerar os conceitos e selecionar o melhor deles para o produto;
 - Fluxo de caixa projetado: analisar a viabilidade econômica;
 - Diagrama de Gantt: planejar as próximas etapas *DESENVOLVER* e *VERIFICAR*;
 - Design Charter: resumir as conclusões das etapas anteriores *MEDIR* e *ANALISAR*;
- Etapa *DESENVOLVER*:
 - FMEA / Planejamento de Experimentos: desenvolver o projeto detalhado do produto, construindo protótipos;
 - Testes de Vida Acelerados: realizar testes funcionais;
 - Carta de Controle / Índice de Capacidade de Processo: planejar a produção.
- Etapa *VERIFICAR*:
 - Métricas do *Seis Sigma*: iniciar a produção
 - Plano de Marketing: lançar o produto no mercado;
 - Avaliação dos Sistemas de Medição: sumarizar o que foi aprendido e fazer recomendações para trabalhos futuros.

É importante salientar que muitas das ferramentas citadas acima podem ser repetidas na maioria das fases, visando destacar também que as atividades em cada etapa do DMADV, sempre que possível, devem ser realizadas simultaneamente e não

seqüencialmente. Essa característica contribui para redução do prazo de conclusão do projeto, além de favorecer a integração entre os membros da equipe.

O segundo método, chamado IDDOV, possui basicamente a mesma estrutura e objetivos que o DMADV. O significado de seu anacronismo é: *Identificar, Definir, Desenvolver, Otimizar e Verificar*. Na verdade, eles podem ser considerados como metodologias equivalentes. A diferença está centrada apenas na importância atribuída à quarta etapa do IDDOV, respectivamente *Otimizar*.

Uma vez similares, não é objetivo deste trabalho a dissertação do método IDDOV, como fora feito com o método DMADV. Contudo, a pesquisa bibliográfica realizada para a confecção deste trabalho demonstra que o método DMADV para representação da metodologia Design for Six Sigma é mais conhecida e amplamente divulgada que o método IDDOV, que por sua vez, também apresenta algumas variações, como é o caso do método ICOV, do anacronismo *Identificar, Caracterizar, Otimizar e Validar*, encontrada no artigo de MADER (2002).

3.2.5 Análise dos elementos do DFSS

O objetivo deste item consiste em realizar-se uma análise comparativa dos elementos do *Design for Six Sigma* introduzidos nos itens anteriores deste capítulo, com o APQP, também dissertado anteriormente no item 2.4 pertencente ao capítulo 2 referente ao processo de desenvolvimento de veículos (PDV).

Adicionalmente, tem-se a inclusão de mais um item, em linha com o comparativo com o APQP, só que desta vez relativo à comparação também entre os elementos do DFSS e a ISO 9000:2000, a qual vem a demonstrar uma grande afinidade com os objetivos do *Design for Six Sigma*, ou seja, o de criar produtos e processos que sejam capazes de atender os requisitos para os quais foram especificados.

3.2.5.1 O DFSS x APQP

O processo de desenvolvimento de produtos através da estruturação do APQP é apresentado sob a forma de entradas e saídas, ou seja, a saída de uma fase corresponde à entrada da fase seguinte. Esta é a primeira das abordagens comparativas entre o DFSS e o APQP, pois o DFSS é semelhante em sua estrutura. Porém, é visível que a metodologia do DFSS procura criar mecanismos que assegurem uma substancial coerência e consistência das informações quando da passagem de uma fase para a outra.

Em relação ao uso de ferramentas específicas, pode-se identificar explicitamente no APQP a diretriz para utilização das seguintes ferramentas:

- ❑ FMEA (Análise dos modos de falha e efeito);
- ❑ DFM/DFA (*Design for Manufacturing / Design for Assembly*);
- ❑ QFD (Desdobramento da Função Qualidade).

Estas três ferramentas específicas formam a estrutura de aplicação do APQP e também são bastante difundidas na aplicação do DFSS e, portanto, sob este prisma de integração das ferramentas, pode-se concluir que ambas têm basicamente a mesma estrutura. Entretanto, o DFSS apresenta diversas ferramentas adicionais que fazem do DFSS um método robusto e estruturado, como é o caso da ferramenta TRIZ (Teoria da solução inventiva de problemas) e do Diagrama de Seleção de Projetos de Pugh, este último citado no capítulo 2 deste trabalho.

O TRIZ, a princípio é uma ferramenta utilizada para a resolução de problemas, entretanto, seus princípios podem levar sistematicamente à formulação de soluções inovativas, levando o DFSS a um ponto comparativamente melhor que o APQP, pois sem o TRIZ durante a fase de desenvolvimento, há o surgimento de contradições que não são resolvidas, e como resultados tem-se situações do tipo “ganha-perde”, ou seja, algum ponto do projeto é demeritado em detrimento de outro que é melhorado. Portanto, somente a geração de idéias inovativas proporcionará situações de “ganha-ganha” (OUCHI, 2002).

Outra característica importante citada por OUCHI (2002) é com relação à quinta fase do APQP, ou seja, análise da retroalimentação e ação corretiva. Em relação a esta fase do APQP, o DFSS parece não abordar explicitamente como são realizadas alterações e melhorias no projeto. A concordância com a colocação de OUCHI é relativa, pois de antemão, pode-se adiantar que a metodologia DFSS aplicada na GM, a ser apresentada no capítulo 4 deste trabalho faz uma citação, mesmo que de caráter arbitrariamente livre, indicando recomendações futuras e possibilidades de continuidade do projeto visando sua melhoria contínua, demonstrando a possibilidade de uma ação de retroalimentação em um projeto já concluído ou em andamento.

Tem-se a seguir uma tabela 3.3 em forma de resumo mostrando um comparativo entre o DFSS e o APQP sob o prisma de cinco pontos principais: abordagem, inovação, especificações, melhoria e comprometimento, de autoria de OUCHI (2002).

Tabela 3.3 – Comparativo APQP x DFSS, adaptada de OUCHI

Diferenças	APQP	DFSS
Abordagem	Define as entradas e saídas das 5 fases	Estabelece 5 etapas e integra as ferramentas de forma a obter os resultados esperados
Inovação	Não existe nenhuma técnica específica que promova inovações	As inovações tornam-se sistemáticas, através da utilização do TRIZ
Especificações	Determinadas com base na experiência das pessoas	Determinada através de técnicas estatísticas (Projeto Robusto, DOE, etc.)
Melhoria	Faz parte da metodologia a melhoria contínua	A melhoria contínua não faz parte explicitamente da metodologia
Comprometimento	O APQP é visto como um procedimento a ser cumprido	O DFSS é visto como uma forma de desenvolver um produto que atenda as necessidades do cliente

3.2.5.2 O DFSS x ISO 9001:2000

A ISO 9001:2000, estabelece que “A organização deve aplicar métodos efetivos de monitoramento e, onde aplicável, medições dos sistemas de gerenciamento da qualidade dos processos. Estes métodos têm demonstrado a habilidade dos processos em alcançar resultados planejados. Quando os resultados planejados não são alcançados, ações corretivas devem ser tomadas apropriadamente para assegurar a conformidade do produto”. A ISO 9001 também requer que o negócio procure melhorar continuamente a efetividade de seus processos para assegurar que a melhoria contínua está sendo alcançada e verificada (SIMONS e LINDLAND, 2002).

Em relação às ferramentas aplicadas ao DFSS, segundo SIMONS e LINDLAND (2002), elas podem ser utilizadas em ambos elementos 7 e 8 da ISO 9001, respectivamente “Processo de Realização do Produto” e “Medição, Análise e Processo de Melhoria”. A ISO 9000 vislumbra a criação de produtos e processos que satisfaçam os requisitos estabelecidos pelo elemento 7 da norma, ou seja, o Processo de Realização do Produto.

Apresenta-se a seguir as relações entre o DFSS e a ISO 9000, citadas por SIMONS e LINDLAND (2002) para cada uma das etapas da metodologia DMADV:

- ❑ Etapa *DEFINIR*: a primeira etapa do DFSS se relaciona com a norma ISO 9000 tanto no procedimento de desenvolvimento do produto quanto no procedimento de melhoria contínua da norma. Esta etapa requer que todos os requisitos para realização do projeto sejam estabelecidos, bem como a formação da equipe de projeto e a definição do plano do programa. O projeto deve também ser revisado e aprovado pela gerência antes de passar para a etapa seguinte. Esta fase de controle do projeto está diretamente relacionada com o Plano de Realização do produto da norma;
- ❑ Etapa *MEDIR*: é importante que o sistema de medição tenha uma capacidade adequada em termos de desempenho, tanto no aspecto do registro das

informações como na confiabilidade das medições. A norma ISO 9000 é bem rigorosa neste ponto e o DFSS demonstra a mesma característica, pois a medição está presente em todos os aspectos da metodologia, como: medições das características críticas para o cliente, medições de desempenho, medições de custo e medições de qualidade;

- Etapa *ANALISAR*: outro ponto importante para a ISO 9000 é a capacidade de análise crítica sob todos os aspectos. Capturar a voz do cliente e transformá-la em requisitos do produto, por exemplo, através da aplicação da ferramenta QFD representam claramente a importância da análise, tanto para o DFSS quanto para a norma ISO 9000. A análise de custos para se verificar a viabilidade do projeto é outro fator primordial com relação à análise;
- Etapa *DESENVOLVER*: a norma ISO 9000, com relação ao desenvolvimento propriamente dito, procura alertar para a identificação e redução dos riscos associados com a definição dos parâmetros de desenvolvimento do produto e do processo, objetivo a eliminação dos pontos fracos do projeto enquanto o custo envolvido para tais ações ainda não é alto. As ferramentas aplicadas para esta fase, tais como: Análise de Elementos Finitos, FMEA, *Design of Experiments* (DOE) utilizadas no DFSS atendem plenamente a norma nesta questão;
- Etapa *VERIFICAR*: na natureza do elemento “Processo de Realização do Produto” da ISO 9000, testes finais são realizados no produto e processo físico para assegurar que ambos satisfazem os requisitos de projeto, estando, portanto, em linha com o DFSS.

De uma forma geral, ainda segundo SIMONS e LINDLAND (2002), as cinco fases do DFSS também podem ser incluídas no procedimento ISO 9000 para melhoria contínua quando o foco das atividades de melhoria contínua estiver relacionado com processos não capazes, ou seja, que não estejam satisfazendo os requisitos especificados.

Por finalizar, segundo afirmação de OUCHI (2002), a norma ISO 9001:2000 é totalmente atendida pela aplicação do DFSS, fato este que não tem a mesma afirmação concreta quando se fala em termos da ISO/TS 16949:2002, a qual é uma aplicação específica da norma ISO 9001:2000 para o setor automotivo, onde, segundo o autor, a aplicação da metodologia DFSS deve implicar em certas precauções para não deixar de atender certos requisitos, mas que, de uma forma geral não gera conflitos de interpretação entre o DFSS e a ISO/TS 16949:2002.

3.2.6 A estrutura do DFSS

Outra questão importante para o sucesso do DFSS, além da metodologia, é a sua estrutura. Assim como no *Seis Sigma*, o comprometimento das pessoas, bem como seu grau de conhecimento e suas habilidades para lidar com os projetos são um ponto fundamental. Para que o DFSS obtenha os resultados esperados é importante que a estrutura da empresa contemple as responsabilidades e autoridades para as atividades de implementação e desenvolvimento dos projetos.

3.2.6.1 A estrutura organizacional matricial

Denota-se que o princípio de execução do DFSS é através do projeto, sendo este caracterizado em sua forma mais abrangente, ou seja, a de desenvolver novos produtos e processos. Existem diversos tipos de estruturas organizacionais empregadas para o desenvolvimento de projetos, sendo que a estrutura do tipo matricial se caracteriza por apresentar melhores resultados dentre as demais no tocante ao desenvolvimento de projetos e, conseqüentemente em projetos que se utilizarão dos benefícios da aplicação do DFSS.

Resumindo, todo o conteúdo que fora dissertado no item 3.1.4 deste trabalho, relativo à estrutura *Seis Sigma*, também se aplica ao DFSS.

3.2.6.2 A equipe DFSS

Os representantes que compõem as equipes de projeto DFSS basicamente possuem as mesmas classificações e características da equipe de trabalho do *Seis Sigma*,

conforme fora citado no item 3.1.4.1 deste trabalho, ou seja, é marcante a figura dos seguintes elementos:

- ❑ Os “Líderes”
- ❑ Os “Patrocinadores” ou “Campeões”
- ❑ Os “Master Black Belts”
- ❑ Os “Black Belts”
- ❑ Os “Green Belts”

As funções e atribuições de cada um destes membros citados acima são praticamente as mesmas também citadas anteriormente, porém, a maioria deles reside especificamente no ambiente de engenharia, “respirando” o desenvolvimento de produtos.

TREICHLER cita que, além da escolha detalhada de uma equipe de profissionais bem balanceada e comprovadamente eficaz, cabe uma consideração especial na formação da equipe levando-se em conta o quesito “experiência” no desenvolvimento do produto, principalmente quando da aplicação do *Design for Six Sigma*, o que pode vir a se tornar uma vantagem, devido aos mais experientes possuírem um domínio de conhecimento acentuado e já disponível para ser utilizado em relação aos mais novos, o que resultará no despendimento de um tempo menor para se introduzir mudanças, mesmo através da metodologia DFSS.

3.2.6.3 Treinamento

O quesito “Treinamento” para uma empresa que pretende aplicar a metodologia DFSS apresenta dois aspectos distintos em relação à sua natureza de aplicação, ou seja, se a empresa já faz uso da metodologia *Seis Sigma*, o treinamento para o DFSS é considerado como um complemento do treinamento de *Seis Sigma*, procurando enfatizar a importância desta metodologia quando aplicada especificamente para o desenvolvimento de produtos, onde sua essência e sua estratégia competitiva são as mesmas já apresentadas para o treinamento do *Seis Sigma*.

No aspecto da empresa estar iniciando a sua abordagem diretamente através do DFSS (como é o caso da *General Motors*, que será visto nos capítulos a seguir), o treinamento deve ser redirecionado à questão do desenvolvimento do produto de uma maneira mais enfatizada, procurando abordar principalmente os benefícios que se pode alcançar com a aplicação da metodologia em uma fase preliminar do produto, ou seja, sua concepção e desenvolvimento, porém cabe o discernimento da mesma essência e estratégia do *Seis Sigma* como embasamento.

Um dos diferenciais entre o DFSS e o *Seis Sigma* em termos de treinamento está na abordagem das ferramentas. Pode-se assumir que, todas as ferramentas que são aplicadas à metodologia *Seis Sigma* também se aplicam basicamente à metodologia DFSS, porém a recíproca não é totalmente verdadeira, pois algumas ferramentas são específicas para o DFSS devido ao fato de serem aplicadas especificamente para o desenvolvimento de produtos.

Segundo TREICHLER et al. (2002), todos os engenheiros, principalmente os alocados na indústria automobilística, que têm a oportunidade e o hábito de vivenciar as situações corriqueiras da linha de produção, certamente tenderão a possuir mais habilidades para participar e somar resultados na aplicação de projetos DFSS do que um engenheiro que hesita em deixar seu ambiente natural de trabalho. Além disso, muitas companhias do ramo automotivo têm desenvolvido plantas piloto com o objetivo de treinar e disciplinar os engenheiros a simular processos a serem utilizados conforme projetado preliminarmente. Os times de integração do produto, em conjunto com a manufatura e a própria engenharia trabalham juntos com o objetivo de se identificar discrepâncias de projeto que estejam ocorrendo nesta produção de baixa escala e encontrar soluções antes da implementação da produção em larga escala. Esta última colocação sobre as plantas piloto é confirmada observando-se recentemente tal prática sendo aplicada pela General Motors.

4. O DESIGN FOR SIX SIGMA (DFSS) NA GM

4.1. Introdução da metodologia na GM

A metodologia *Design for Six Sigma* (DFSS) passou a ser difundida e aplicada dentro da corporação *General Motors* a partir de 2001. A primeira divisão a iniciar os processo de implementação da metodologia foi a GMNA (*General Motors North América*), sede mundial da GM localizada nos Estados Unidos, que engloba o desenvolvimento e a fabricação da mais completa linha de veículos automotores produzida no mundo, indo desde veículos de passeio, sejam eles compactos, médios ou de grande porte, passando por pick-ups de médio e grande porte até caminhões de pequeno e médio porte.

Outras implementações subseqüentes da metodologia de que se tem conhecimento divulgado oficialmente pela corporação são da *General Motors* do México e da *General Motors* do Canadá. Pode-se afirmar que a implementação nestas duas outras divisões citadas tem um caráter estratégico, pois além da aproximação física na qual facilita o processo logístico, ambas são consideradas como principais divisões de suporte no desenvolvimento e fornecimento de componentes para a matriz americana, bem como na montagem de uma gama de veículos específicos e dedicados para o mercado norte-americano, principalmente o México, caracterizado por possuir custos de produção e de mão-de-obra relativamente mais baixos se comparados com a média de custos dos Estados Unidos (KIOUMARS, 2003).

Além destas duas divisões citadas acima, a *General Motors Europa*, formada por várias divisões, como OPEL na Alemanha, SAAB na Suécia e VAUXHALL na Inglaterra, também já se manifestaram estar caminhando para a aplicação e disseminação da metodologia DFSS. Além da divisão européia, algumas divisões da GM Ásia-Pacífico (China, Japão, Índia, Tailândia e Austrália) também compartilham do mesmo objetivo, porém não se manifestaram oficialmente.

Falando-se especificamente em termos de América Latina, a *General Motors* do Brasil (GMB) também compartilha dos mesmos objetivos das outras divisões

citadas anteriormente, ou seja, o processo de implementação do DFSS já está com suas diretrizes definidas e, no decorrer deste trabalho, especial destaque será dado à atuação brasileira. Vale lembrar que a América Latina também é formada, além da GMB, por várias outras divisões GM, como: GM Argentina, GM Equador, GM Chile, GM Venezuela e GM África do Sul, porém a GMB é responsável pelo desenvolvimento de todos os veículos destas outras divisões latino-americanas, razão pela qual se atribui o nome de GM LAAM (*General Motors Latin América, África and Middle East*) às operações controladas pelo Brasil.

É importante citar que a metodologia DFSS é considerada como uma iniciativa global dentro da corporação GM, razão pela qual todas as divisões espalhadas pelo mundo que foram citadas anteriormente aplicam ou planejam utilizá-la. Não que seja uma obrigatoriedade, pois nem todas as divisões compartilham dos mesmos recursos e disponibilidades existentes para tal, mas certamente as divisões que o fizerem se destacarão perante as demais, obtendo vantagens competitivas significativas e merecedoras de créditos frente à direção corporativa mundial.

4.2 Definição do DFSS para a GM

Residindo especificamente no ambiente de engenharia, o DFSS é definido pela GM da seguinte forma, segundo GENERAL MOTORS CORPORATION (2003d): “Design for Six Sigma é uma metodologia utilizada na criação de produtos e processos que alcancem um nível de qualidade desejado pelo cliente através da identificação e otimização de parâmetros críticos do projeto”. O DFSS deve ser assimilado como uma nova maneira de se trabalhar no processo de desenvolvimento de veículos. Aprofundando-se nesta definição, o principal objetivo é fazer com que a engenharia consiga reduzir e otimizar seus custos e que o produto já apresente a oportunidade de nascer com níveis próximos de seis sigmas, uma vez que, os negócios existentes hoje em dia no mundo são regidos pela seguinte equação:

$$LUCRO = RECEITAS - CUSTOS$$

Como o próprio KIOUMARS (2003) cita, a variável “LUCRO” é uma questão de sobrevivência no atual mercado competitivo que se enfrenta. A variável “RECEITA” deixou de ser 100% controlada pela empresas e passou a ser parcialmente controlada pelo volátil mercado. Portanto, a variável “CUSTOS” permite às empresas ainda gerarem algum poder de barganha para poderem incrementar seus lucros.

Ainda sob o prisma da variável custos, o DFSS pode ser definido como uma ferramenta que procura encontrar o ponto de equilíbrio ideal no projeto entre a satisfação do consumidor e o custo de desenvolvimento e produção do produto, também chamado de “Risco Consumidor x Produtor”, conforme mostrado na figura 4.1. No caso de um produto situado muito à direita da curva, este será caracterizado por ser muito caro para a função pretendida, o que ocasionará riscos ao produtor, uma vez que você não pode vender algo que esteja acima do preço de mercado, mesmo que seja de qualidade referencial. Por outro lado, o contrário também é prejudicial ao produtor e consumidor. No caso de um produto situado no extremo esquerdo da curva, o risco do produtor em fracassar com seu produto também é grande, pois o produto será caracterizado por baixos índices de qualidade e altos custos de garantia, mesmo possuindo um baixo custo. Certamente apresentará números negativos em vendas (GENERAL MOTORS CORPORATION, 2003d).

Figura 4.1 – Curva “Risco Produtor x Consumidor”, adaptada de KIOUMARS

Fazendo-se um comparativo entre o *Seis Sigma* e o DFSS especificamente para o desenvolvimento de produtos dentro da indústria automobilística, tem-se que existem cinco etapas distintas em um projeto de um veículo (KIOUMARS, 2003):

- ❑ Pesquisa;
- ❑ Desenvolvimento;
- ❑ Testes e protótipos;
- ❑ Produção;
- ❑ Vendas e Pós-vendas.

Dentro destas cinco etapas, os esforços *Seis Sigma* são aplicados apenas nas duas últimas etapas, ou seja, “Produção” e “Vendas e Pós-vendas”. Nestas duas etapas, tanto o produto quanto o processo já existem. Assim sendo, pode-se afirmar que os defeitos são fáceis de se detectar, porém os custos de correção são altíssimos. Por outro lado, o DFSS é aplicado nas duas etapas iniciais, ou seja, “Pesquisa” e “Desenvolvimento”. Inversamente ao *Seis Sigma*, no DFSS os defeitos são difíceis de se detectar, porém os custos de correção são ainda baixos. A figura 4.2 expõe graficamente as diferenças citadas acima.

Figura 4.2 – Comparação: *Seis Sigma* x DFSS, adaptada de KIOUMARS

É importante explicar o porquê dos defeitos serem difíceis de se detectar no DFSS. A resposta é relativamente lógica: no DFSS tem-se que simular, prever, estimar o comportamento do seu processo, pois não há dados reais. A tarefa de realizar esta correlação é o grande desafio do DFSS.

Como análise crítica, percebe-se que a GM através de KIOUMARS (2003) é clara na aplicação do DFSS em relação às etapas de um projeto, fato que não foi claramente apresentado no capítulo 3 por nenhuma das bibliografias citadas, com exceção de TREICHLER et al. (2002) no capítulo 3.2.3 que se aproxima ao afirmar que o DFSS é uma maneira mais efetiva e menos onerosa de se corrigir problemas antes do produto já estar no mercado

O DFSS para a GM é uma maneira de:

- ❑ Identificar funções críticas que afetam o nível de qualidade exigido pelo cliente;
- ❑ Criar medições de engenharia específicas para estas funções;
- ❑ Compreender a funcionalidade do nível do sistema;
- ❑ Identificar os requisitos nominais e de variação para os parâmetros do projeto;
- ❑ Prever e otimizar ao invés de corrigir.

Com a aplicação do DFSS, os projetos proporcionarão a criação de um sistema de tradução claro das funções críticas dos clientes nos requisitos necessários do sistema, gerando também um processo de desenvolvimento mais robusto e eficaz, caracterizado pela não sensibilidade às variações, tanto de manufatura, como da utilização pelo cliente, ou qualquer outra variação do ambiente (GENERAL MOTORS CORPORATION, 2003d). Esta afirmação da bibliografia GM é diretamente relacionada à própria definição da ferramenta QFD, mostrando, portanto sua afinidade com a metodologia.

4.3 A metodologia do DFSS na GM

A metodologia do DFSS para a GM não substitui nenhuma outra metodologia de trabalho dentro dos atuais processos de engenharia. De fato, todos esses processos são necessários para que o DFSS possa ser aplicado. Todas as informações necessárias para que a GM aplique o DFSS em um projeto podem ser fornecidas por fontes que já existem e dispõem destas informações. O DFSS é um trabalho padronizado que procura consolidar estas informações e, através da aplicação de ferramentas estatísticas com o objetivo de diminuir o número de defeitos, permitirá a tomada de decisões certas sobre as especificações de projeto com o objetivo de produzir os melhores produtos finais.

De acordo GENERAL MOTORS CORPORATION (2003c), a aplicação da metodologia DFSS na GM é dividida em quatro fases distintas, o qual se atribui o nome de *Trabalho Padronizado do DFSS*. Estas fases são:

1. Determinação das Características Críticas para o Cliente (CTQs), advinda do inglês “*CTQs Flowdown*”;
2. Previsão da Qualidade, do inglês “*Quality Prediction*”;
3. Otimização do Projeto, do inglês “*Design optimization*”;
4. Testes e Verificações, de “*Test & Verify*” em inglês.

Deve-se citar que estas quatro fases não apresentam nada de inovador, pois referem-se indiretamente ao sistema clássico de se conduzir ou melhorar um projeto, criado por Azimov em 1962. Antes de se entrar no detalhe do que cada fase vem a apresentar em termos de conteúdo e características, é importante citar que estas fases foram criadas e estabelecidas através de um fluxograma de processo do DFSS, no qual é apresentado através da figura 4.3 a seguir:

Figura 4.3 – Fluxo de processo do DFSS

4.3.1 Determinação das características críticas para o cliente (CTQs)

A fase de determinação das características críticas para o cliente ou *CTQ Flowdown*, por sua vez, é subdividida em outras três etapas, que engloba a interpretação do que o consumidor deseja, traduzindo-o em variáveis e especificações de engenharia, chamadas de *System CTQs*. A equipe de trabalho do DFSS deve criar diagramas especiais para documentar os sistemas, subsistemas e componentes envolvidos para se atingir os desejos do cliente (GENERAL MOTORS CORPORATION, 2003c).

4.3.1.1 Identificação do problema/oportunidade

Nesta etapa, a equipe de trabalho DFSS deve pesquisar indicativos de desempenho e qualidade existentes que possam suportar a priorização e a identificação de problemas e oportunidades de melhorias que constam de atuais produtos em produção que servirão de base para o desenvolvimento do novo produto. Estes indicativos de desempenho e qualidade podem ser, por exemplo, índices externos como: pesquisas com clientes, avaliações comparativas realizadas por fontes especializadas como jornais, revistas, etc; ou indicativos internos, como: indicativos de qualidade, dados de custos de garantia, IPTV (*Incidence per thousand*

vehicles), relatórios de benchmarking, dados de exposição no campo, etc. Nos Estados Unidos, o índice J. D. Power é referência como indicativo de desempenho para toda a indústria automobilística americana. A J. D. Power é uma empresa idônea, independente, e conceituada neste panorama, sendo mantida e patrocinada por todas as montadoras americanas sem exceção, as quais fazem uso de suas avaliações e comparativos para medir seus níveis de desempenho (KIOUMARS, 2003).

Através destes indicativos, tem-se a função de avaliar a atual posição do componente, sistema ou produto da GM objeto de análise, para verificar sua atual posição competitiva no mercado, perante seus concorrentes, bem como tomar conhecimentos dos atuais produtos de referência de classe, do inglês “*best in class*”. De posse destes dados, define-se, então, quais devem ser os níveis mínimos (*targets*) que o componente, sistema ou produto deve possuir para se tornar referência de classe em sua categoria.

4.3.1.2 Identificação das observações e pontos críticos dos clientes (*Customer Qs*)

Nesta etapa, o ponto de partida é ouvir a voz do cliente (VOC), ou seja, deve-se relacionar todas as observações e aspirações que o cliente considera crítico para o componente, sistema ou produto em questão. Este processo deve ser realizado utilizando-se técnicas de “*Brainstorm*”, e não especificações ou termos técnicos de projeto. O cliente “não fala” através de especificações de engenharia, ele simplesmente diz: “eu quero um carro rápido” ou “eu quero um carro com um portamalas fácil de abrir e fechar” (KIOUMARS, 2003).

Todas essas citações devem ser capturadas, analisadas, priorizadas e classificadas em categorias comuns, uma vez que os desejos do consumidor podem ser intuitivos e conflitantes. Assim, ao se citar um exemplo de estudo e aplicação do DFSS para a “*abertura de portas de um automóvel*”, o consumidor pode desejar, dentre inúmeras citações, que: a porta seja fácil de abrir e fechar, que não apresente ruído, que não permita infiltrações de água e poeira, que tenha boa aparência. Portanto, todas as “*Customer Qs*” para este projeto poderiam ser classificadas, por

exemplo, dentro desses três tópicos: Ruídos e infiltrações, Manuseabilidade, e Aparência.

4.3.1.3 Tradução das *Customer Qs* em *System CTQs*

Esta é a etapa na qual todas as observações e aspirações do cliente (*Customer Qs*) definidas na etapa anterior devem ser transformadas em requisitos críticos para a qualidade do sistema, citados através de especificações de engenharia, ou seja, os “*CTQs*”, também chamados de “medições do sistema”. Pode haver múltiplas medições do sistema que estejam relacionadas a uma única *Customer Q*. Por outro lado, uma única medição do sistema também pode afetar mais de uma *Customer Q* ao mesmo tempo. Todos os *CTQs* do sistema devem ser mensuráveis, objetivos, ajustados a um nível de qualidade e baseados em necessidades (GENERAL MOTORS CORPORATION, 2003c).

Assim, no exemplo acima relativo à “*abertura de portas de um automóvel*”, as “*Customer Qs*” citadas: *porta fácil de abrir e fechar, que não apresente ruído, que não permita infiltrações de água e poeira, e que tenha boa aparência*, poderiam ser atribuídos “*CTQs*” como: Energia de abertura e fechamento da porta, medida em Joules; espaçamento entre as borrachas de vedação, medidas em milímetros; espaçamento entre superfícies da porta e da carroceria, medida em milímetros; etc. (GENERAL MOTORS CORPORATION, 2003e).

Todos os *CTQs* apontados devem ser classificados em uma das quatro categorias: *performance, manufaturabilidade e montagem, peças compradas de fornecedores e confiabilidade*. O significado destas categorias está relacionado ao fato de elas permitirem, com o trabalho padronizado do DFSS, quantificar então, os efeitos pertencentes a cada uma dessas categorias, ou seja, dos requisitos do cliente, da capacidade de produção da manufatura, da qualidade dos fornecedores e da confiabilidade do projeto (GENERAL MOTORS CORPORATION, 2003c).

4.3.2 Previsão da qualidade (*Quality Prediction*)

A fase *Quality Prediction* consiste em a equipe de projeto DFSS descrever e desenvolver relações entre cada CTQ do sistema, estabelecido na fase anterior, com suas respectivas variáveis de projeto de níveis inferiores, ou seja, através da utilização de ferramentas de análise, deve-se prever os níveis de performance e de qualidade para o projeto atual, bem como avaliar novas alternativas de projeto que desempenhem uma melhor performance, mantendo-se as limitações previamente estabelecidas para o projeto (GENERAL MOTORS CORPORATION, 2003a).

Esta fase é formada, por sua vez, de seis etapas, conforme relacionadas abaixo:

- ❑ Estabelecimento dos níveis de qualidade e performance para cada *CTQ* selecionado
- ❑ Geração das Funções de Transferência do Sistema
- ❑ Análise da Capacidade dos *CTQs* do Sistema
- ❑ Execução dos modelos para determinação dos objetivos e variações
- ❑ Identificação dos *CTQs* dos Subsistemas
- ❑ Avaliação da Capacidade dos *CTQs* dos Subsistemas

É importante salientar que, a definição de um sistema e seus subsistemas é relativa do ponto de vista do que se está analisando. Por exemplo, para um veículo completo, o motor é apenas um subsistema, enquanto que para a Engenharia de “*Powertrain*”, o motor é o próprio sistema (GENERAL MOTORS CORPORATION, 2003a).

4.3.2.1 Estabelecimento dos níveis de qualidade e performance para cada *CTQ* selecionado

Nesta etapa, deve-se estabelecer níveis de qualidade e performance para cada *CTQ* selecionado na fase anterior. Primeiramente com relação ao estabelecimento do nível de qualidade desejado, este deve ser baseado em níveis obtidos de produtos concorrentes ou de referência de classe. Atribui-se o nome a este índice de

“Z_{TARGET}”, onde a letra Z advém da nomenclatura “Zigma” (GENERAL MOTORS CORPORATION, 2003a).

Após a definição dos níveis de qualidade, deve-se estabelecer os níveis de performance esperados para cada CTQ, através da determinação dos limites inferior e superior de especificação, expressos nas respectivas unidades de medição atribuídas anteriormente à cada CTQ.

4.3.2.1.1 Definição de Zigma (Z)

Zigma, de acordo com CELOTTO (2003), é atribuída pela GM como a nomenclatura que representa a medida da qualidade de um projeto. Fazendo-se uma completa analogia à definição de *Seis Sigma*, o *Zigma* criado pela GM apresenta exatamente os mesmos valores e características da medida sigma. Porém, as classificações atribuídas para longo prazo e curto prazo são diferentes:

- *Zigma* de curto prazo (Z_{ST} – *Zigma Short Term*): é definido como sendo a menor diferença entre os limites superior ou inferior de especificação em relação à média, dividido pelo valor do desvio padrão.
- *Zigma* de longo prazo (Z_{LT} – *Zigma Long Term*): considera-se que, para Z_{LT}, o valor do desvio padrão deve ser multiplicado por 1,3 na equação do *Zigma*, assim, tem-se que:

$$Z_{LT} = \frac{LSE - \mu}{1.3\sigma_{ST}} \quad \text{ou} \quad Z_{LT} = \frac{\mu - LIE}{1.3\sigma_{ST}}$$

A GM também utiliza uma tabela de conversão direta entre o valor de Zigma e os valores de DPMO, similar ao mostrado na figura 3.3 deste presente trabalho.

4.3.2.2 Geração das funções de transferência do sistema

Considerada como uma das etapas mais importantes dentro desta fase, a geração das *funções de transferência* do sistema consiste em desmembrar os CTQs do sistema em subsistemas, com o objetivo de se determinar relações matemáticas

para estes subsistemas (variáveis de entrada do processo), de forma que possam garantir, através da análise do seu comportamento, que os CTQs dos sistemas (variáveis de saída) sejam satisfatoriamente atendidos durante o desenvolvimento do projeto. É de extrema importância o uso de ferramentas como o *diagrama estrutural* e o *diagrama funcional* para se alcançar tais objetivos.

Assumindo-se que um conceito de sistema fora selecionado, o processo de engenharia tem a função de desenvolver exigências (ou especificações) para o sistema e seus respectivos subsistemas. A relação entre o CTQs do sistema e os parâmetros do subsistema deve ser capturada sob a forma de funções (figura 4.4). Muitos dos mesmos parâmetros dos subsistemas (x 's) participa em muitas das relações com os CTQs de sistema, o processo de desmembramento requer balanceamento de atributos tal que são selecionados os melhores meios de satisfazer todo os CTQs. Como antes, o processo do DFSS requer que os resultados do subsistema para o sistema não só sejam capturados com uma especificação nominal, mas também com uma taxa de defeito permissível para este nominal. A razão para isto é controlar a variação do desempenho de sistema como um todo (CELOTTO, 2003).

Figura 4.4 – Relações entre os CTQ's e os subsistemas, adaptada de CELOTTO

4.3.2.2.1 A função de transferência

Funções de transferência são relações entre os *CTQs* do sistema e os parâmetros dos subsistemas. Uma função de transferência pode ser simples ou complexa, fechada ou não. Um exemplo de uma função de transferência precisa pode ser a relação de massa do veículo, torque do motor, aerodinâmica de veículo, atrito na aceleração de 0-100 Km/h. Funções de transferência, ou modelos matemáticos são a base para se poder projetar um sistema adequado às expectativas de quem irá utilizá-lo. Se as funções não existirem, há somente alternativas limitadas. Estas alternativas podem incluir: diretrizes básicas de projeto, opiniões e experiências de especialistas, julgamentos pré-conhecidos, e suposições. Não se pode afirmar que estas técnicas não são válidas, o correto é dizer que elas permitem uma habilidade limitada para otimizar o projeto e pode conduzir a uma organização de engenharia que tende a perder, com o passar do tempo, sua habilidade para entender como as coisas funcionam (CELOTTO, 2003).

Geralmente, as funções de transferência são determinadas tomando-se como base a aplicação de uma das seguintes ferramentas abaixo:

- ❑ Normas e especificações de engenharia;
- ❑ Análises e simulações de CAE;
- ❑ Aplicação de ferramentas, como o DOE (*Design of Experiments*) e a *Análise de Regressão*;
- ❑ Desenvolvendo modelos de simulação e correlação.

4.3.2.2.2 O diagrama estrutural

O diagrama estrutural consiste em uma lista de elementos que compreende todo o sistema. Estes elementos, também chamados de subsistemas, ilustram todas as fronteiras físicas do projeto. Este desmembramento estrutural se faz necessário, pois os *CTQs* podem existir em quaisquer níveis, ou seja, além dos sistemas, podem existir em subsistemas, chegando inclusive, a nível de componente. Um exemplo de um diagrama estrutural pode ser visto na figura 4.5 a seguir (CELOTTO, 2003).

Figura 4.5 – Diagrama estrutural do sistema de porta lateral

4.3.2.2.3 O diagrama funcional

O diagrama funcional consiste em uma documentação que procura detalhar como as funções são executadas. O diagrama funcional deve ser criado para:

- ❑ Estabelecer um entendimento comum da funcionalidade do sistema ou produto, e como alcançar isto;
- ❑ Proporcionar uma visão geral dos sistemas, através da definição de fronteiras e interfaces com outros sistemas;
- ❑ Quantificar a contribuição de vários elementos de projeto para alcançar as *Customer Qs*;
- ❑ Quantificar os efeitos da variação nas funções críticas;
- ❑ Documentar elementos do sistema que requerem uma investigação adicional.

É importante salientar que é necessário que se tenha um diagrama funcional para cada CTQ determinado e selecionado para ser estudado. Um exemplo de um diagrama funcional pode ser visto na figura 4.6 a seguir (CELOTTO, 2003).

Figura 4.6 – Diagrama funcional do sistema de porta lateral

4.3.2.3 Análise da capacidade dos CTQs do sistema

Nesta etapa, o objetivo é se analisar a capacidade de medição dos *CTQs* do sistema para se verificar sua precisão quanto à medição. Para tanto, a GM atribui para esta análise um índice de performance e confiabilidade da medição do sistema também chamado de “*VSAS Model Assessment*”. O termo VSAS advém do inglês “*Vehicle Synthesis and Analysis System*”.

Este índice consiste na atribuição de uma escala numérica crescente, a qual varia de 1 a 5. Quanto maior o número da escala, maior será a confiabilidade e performance do sistema de medição. Segue a tabela 4.1, mostrando a escala numérica existente e seus correspondentes significados (CELOTTO, 2003).

Tabela 4.1 – *VSAS Model Assessment*, adaptada de CELOTTO

<i>Nível</i>	<i>Capacidade</i>
1	Análise de capacidade inadequada para aplicação
2	Capacidade para ordenar alternativas de design, é necessário ferramental de validação
3	Capacidade para realizar desenvolvimento após a validação de um modelo matemático, é necessário ferramental final para validação
4	Resultados tão bons quanto dados de teste após a validação de um modelo matemático
5	Resultados analíticos tão bons quanto os dados de teste

4.3.2.4 Execução dos modelos para determinação dos objetivos e variações

O objetivo desta etapa é justamente executar os modelos previamente desenvolvidos pelas equações de transferência para se verificar se os objetivos pertinentes à qualidade foram alcançados para todos os *CTQs* do sistema.

Com relação às variações, é também um procedimento nesta fase a verificação dos parâmetros do modelo, como médias e desvios padrões com relação ao alcance de seus objetivos. A aplicação da ferramenta *DOE* (*Design of Experiments*) é muito comum de ser aplicada nesta etapa, uma vez que ela terá a função de estabelecer uma melhor configuração (*setup*), otimizando um resultando favorável (CELOTTO, 2003).

4.3.2.5 Identificação e avaliação da capacidade dos CTQs dos subsistemas

Nos projetos de DFSS aplicados à GM, esta fase consiste basicamente em registrar e oficializar os *CTQs* do subsistema em um formulário padrão denominado “*Scorecard*”, a ser explanado posteriormente no tópico “Método de Controle dos Trabalhos do Projeto”.

Estes formulários proporcionarão sumarizar todos os requisitos destes *CTQs* dos subsistemas, através da exposição de todas as especificações, médias, desvios padrões, *DPMOs* (*Defects per million opportunities*), *Zigmas* e outras medições importantes dos *CTQs* dos subsistemas. Isto permitirá, em uma visão gerencial, como avaliar o progresso do projeto DFSS, bem como permitir se quantificar os eventuais riscos do projeto.

4.3.3 Otimização do projeto

De acordo com CELOTTO (2003), a terceira fase da metodologia DFSS aplicada à GM, originalmente chamada de *Design Optimization*, consiste primeiramente em avaliar se todo o projeto proposto pela aplicação do DFSS atende a todos os níveis de qualidade estabelecidos.

Posteriormente a esta etapa de avaliação, todos os parâmetros considerados como críticos do projeto devem ser comunicados para a manufatura e para os fornecedores. Este processo de comunicação é intrínseco e pertinente aos processos usuais internos da GM, dentre os quais pode-se citar: a atualização dos desenhos de componentes e conjuntos, a atualização das “Instruções de Requerimento de Projeto”, do inglês *Statement of Requirement (SOR)*, atualização dos Planos de Controle do Processo, e a atualização das folhas de descrição de montagem, chamadas de PAD (*Product Assembly Description*).

4.3.4 Testes e verificações

A última fase da metodologia, do inglês *Test and Verification*, conforme CELOTTO (2003), tem como principal objetivo a ação confirmativa, sob as primeiras unidades pilotos de produção, dos resultados reais obtidos em relação aos objetivos previstos durante o projeto DFSS.

Esta correlação também pode permitir que se proporcione algum eventual e/ou necessário refinamento dos modelos de projeto para uma otimização mais eficaz

do projeto. Estas últimas ações também devem ser atualizadas nos *Scorecards*, bem como documentadas adequadamente nos resultados do projeto.

4.4 A estruturação da equipe de trabalho DFSS

A equipe de trabalho que atua nas atividades de execução de um projeto DFSS na GM possui funções e responsabilidades definidas e, como qualquer outra estrutura organizacional existente, possui um nível organizacional hierárquico definido. Geralmente, os membros que compõem a equipe são da própria engenharia, seja ela do produto ou de manufatura, e também membros do departamento de qualidade. Porém, dependendo da natureza e do escopo do projeto, membros de outras áreas podem ser requisitados para integrar a equipe, seja pelo período referente a todo o desenvolvimento do projeto ou por um período parcial.

A seguir encontram-se os respectivos membros que compõem uma equipe de trabalho DFSS e suas respectivas responsabilidades (GENERAL MOTORS CORPORATION, 2003c):

- ❑ “*Champion*”: geralmente é representado pelo nível hierárquico mais alto dentro da engenharia, ou seja, o diretor. Ele tem como responsabilidades fornecer todo suporte necessário para que ocorra a execução do projeto DFSS, bem como assegurar a formação de uma estrutura organizacional adequada e disponibilizar recursos necessários para tal.
- ❑ “*Sponsor*”: o patrocinador é representado por um nível gerencial logo abaixo do diretor. Ele é um dos grandes interessados, pois geralmente o projeto DFSS a ser desenvolvido pertence à sua área de atuação. Suas principais responsabilidades são: aprovar e revisar os CTQs do sistema, alocar pessoas e recursos necessários, aprovar o tempo de execução do projeto, monitorar a implementação do projeto, e fornecer e apresentar status do projeto para a diretoria;
- ❑ “*Team Leader*”: como o próprio nome sugere, ele é caracterizado por ser um dos líderes da equipe. Pode-se assumir que o *Team Leader* é o coordenador das atividades operacionais dentro do projeto DFSS. Suas responsabilidades são: manter os relatórios de controle e mensurações do projeto (*Scorecards*)

atualizados e disponíveis, preparar e fornecer status do projeto para que seja apresentado à diretoria pelo *Sponsor*, criar e manter atualizado os planos de projeto, agendar e coordenar a execução de reuniões periódicas com o grupo, prover histórico de aplicação do DFSS para futuros projetos;

- “*Design Release Engineer / Technical Specialist / System Engineer / Integration Engineer*”: todas estas funções representam a maioria dos níveis operacionais existentes hoje dentro da engenharia da GM. Todos estes integrantes tem a responsabilidade de: identificar índices e medições de qualidade compatíveis, criar diagramas funcionais e estruturais, identificar funções de transferência existentes, suportar o desenvolvimento de novas funções de transferência, prover limites de especificação e dados de capacidade para os *CTQs*, implementar as alterações do projeto final. Uma observação importante é a de que não é obrigatório se ter em um projeto DFSS todos esses membros atuando conjuntamente. Isso dependerá do escopo e da complexidade do projeto em questão que apontará quais membros deverão necessariamente participar do projeto;
- “*Analyst*”: o analista é aquele membro que procura trabalhar focado na execução e criação das funções de transferência, somando-se a isso a responsabilidade de identificar os *CTQs* dos subsistemas advindos das funções de transferência;
- “*Quality Engineer*”: o engenheiro de qualidade desempenha um papel importante como membro participante de um projeto DFSS, pois é ele o detentor da responsabilidade de apontar o desempenho dos produtos perante os mais diversos índices de qualidade utilizados pela GM. Portanto sua responsabilidade é a de fornecer e manter atualizadas métricas de qualidade e performance dos produtos GM durante a execução do projeto DFSS;
- “*Manufacturing Engineer / Supplier Quality Engineer*”: estas duas categorias de engenheiros possuem a responsabilidade de suportar a equipe através do fornecimento de dados de capacidade do processo, sejam eles, internamente, para o caso do engenheiro de manufatura, ou de uma fonte externa como o fornecedor, para o caso do engenheiro de qualidade de fornecedores;
- “*Statistical Engineer*”: como o próprio nome o define, o engenheiro estatístico possui a função específica de prover todo o suporte estatístico necessário à equipe de projeto DFSS, incluindo a execução de projetos de

experimentos. Por ser um membro focado em atividades singulares, o engenheiro estatístico deve ter a habilidade de participar de várias equipes de projeto ao mesmo tempo;

- “*Coach*”: o treinador, como a própria função o define, é um membro altamente especializado em todo o processo de gestão do DFSS, além, é claro, de prover treinamento sobre o DFSS para funcionários que ingressarão em equipes de projeto. Também são responsabilidades do *Coach*: dar suporte às atividades de todas as equipes, identificar projetos passíveis de aplicação do DFSS, atender a reuniões de equipe, e suportar reuniões de revisão técnica do projeto.

4.5 O treinamento em DFSS

Com relação à estrutura de treinamentos e suas respectivas cargas horárias e métodos aplicados, existem na GM diversos níveis de aprofundamento, variando conforme a função do membro dentro da equipe. É mandatório, por exemplo, que o treinamento de um *Coach* possui uma carga horária e um aprofundamento nas técnicas e ferramentas muito maior que o treinamento de um *Design Release Engineer*.

Em uma divisão GM que visa implementar a metodologia DFSS em seus métodos de trabalho, um dos primeiros treinamentos aplicados é uma espécie de “visão geral” do DFSS direcionado à alta direção da empresa, pois, assim como a própria filosofia *Seis Sigma*, a GM também reitera que o DFSS também é uma filosofia que deve ser aplicada de forma *top-down* (de cima para baixo), ou seja, o comprometimento com a nova metodologia deve ser fortemente recomendado e estruturado. Após esta fase, deve-se formular uma proposta cronológica de implementação que deve ser acordada com a divisão fornecedora do treinamento. Acertados os detalhes logísticos, o próximo treinamento a ser realizado é o treinamento para os *coaches*. Este treinamento tem a duração de aproximadamente quarenta horas dedicadas em sala de aula, incluindo a apresentação de todo o escopo da metodologia, suas ferramentas, estudos de casos e, por fim, a tarefa de cada *coach* apresentar uma proposta de um projeto que já seja aplicável em seu trabalho (KIOUMARS, 2003).

Paralelamente à execução inicial dos projetos pelo coaches, estes devem prover treinamento de aproximadamente oito horas aos demais integrantes da recém equipe designada por eles para desenvolvimento do projeto DFSS previamente selecionado. É recomendado que membros como o *Team Leader*, o *Analyst* e o *Statistical Engineer* devem receber treinamentos focados em suas respectivas áreas de atuação dentro do DFSS, o que vem a significar que receberão uma carga horária maior que as oito horas do treinamento padrão (KIOUMARS, 2003).

4.6 O método de controle dos trabalhos do projeto

Uma questão amplamente explícita na metodologia DFSS difundida pela GM é a de registrar todo e qualquer dado e ação ocorrida durante a execução do projeto. Para tanto, existem formulários padrões para todas as etapas do processo, reforçando um dos pilares do DFSS da GM, o *Trabalho Padronizado do DFSS*, ou “*DFSS Standardized Work*” em inglês.

No início da execução de um projeto, são utilizados formulários de controle para registrar o problema e/ou oportunidade apontada, incluindo-se o programa e o respectivo ano-modelo afetado, bem como as direções que o projeto deve tomar quando de sua execução no tocante à qualidade, tecnologia empregada e tipo de mercado a ser afetado (figura 4.7) (GENERAL MOTORS CORPORATION, 2003b).

Problem / Opportunity		
Declaração do Problema / Oportunidade : Melhorar a satisfação do Cliente em relação a abertura da porta lateral do modelo GM Alpha relativo aos índices J.D.Power e Garantia. A porta lateral será analisada como um sistema objetivando a satisfação do cliente relativa a gap & desalinhamento, ruído & vedação e conforto para abrir e fechar a porta.		
Programa		Ano Modelo
GM Alpha - Todos os modelos das séries 1 e 2		2003
Qualidade	Racional do Projeto (coloque X onde apropriado)	X = Sim
	J.D.Power	X
	Garantia / IPTV	X
	Relatórios de Clientes	
	Manufatura / Montagem	
Tecnologia	Risco de nova tecnologia	
Mercado	Custo	
	Vencer no mercado	

Figura 4.7 – Formulário “*Problem/Opportunity*”, adaptada de GENERAL MOTORS CORPORATION (2003b)

Outro formulário empregado é o chamado *Plano de Projeto*, ou *Project Plan*. Ele tem a função de registrar todas as datas de inicialização e posterior finalização de todas as tarefas compreendidas entre as quatro fases distintas do DFSS, bem como relacioná-las com as datas das atividades padrões do processo de desenvolvimento de veículos da GM, o VDP (*Vehicle Development Process*) (figura 4.8) (GENERAL MOTORS CORPORATION, 2003b).

Project Plan		
Tarefas	Início	Fim
1. Determinação das Características Críticas para o Cliente	07/Fev/02	----
a. Identificação do Problema / Oportunidade	08/Fev/02	08/Fev/02
b. Identificação das Observações e pontos críticos dos Clientes	09/Fev/02	10/Fev/02
c. Tradução das <i>Customers Qs</i> em <i>System CTQs</i>	11/Fev/02	18/Fev/02
2. Previsão da Qualidade	21/Fev/02	----
a. Estabelecimento dos níveis de Qualidade e Performance p/ cada CTQ	21/Fev/02	23/Mar/02
b. Geração das Funções de Transferência do Sistema	26/Mar/02	09/Mai/02
c. Análise da capacidade dos CTQs do Sistema	12/Mai/02	30/Jun/02
d. Execução dos modelos p/ determinação dos objetivos e variações	21/Jul/02	02/Set/02
e. Identificação dos CTQs dos Subistemas	04/Set/02	17/Set/02
f. Avaliação da capacidade dos CTQs dos Subistemas	18/Set/02	02/Nov/02
3. Otimização do Projeto	03/Nov/02	----
a. Avaliar se o projeto proposto atende aos objetivos de Qualidade	18/Nov/02	25/Nov/02
b. Comunicar parâmetros críticos para a Manufatura ou Fornecedores	28/Nov/02	28/Nov/02
c. Desenvolver Planos de Controle dos CTQs p/ a Manufatura e Fornecedores	28/Nov/02	09/Dez/02
4. Testes e Verificações	10/Dez/02	----
a. Verificação da capacidade do Processo	12/Dez/02	14/Dez/02
b. Refinar modelos e formulários padrões (<i>scorecards</i>)	12/Dez/02	15/Dez/02
c. Documentar os resultados	12/Dez/02	19/Dez/02
Evento de montagem dos veículos de validação por Manufatura	11/Jan/03	15/Fev/03

Figura 4.8 – Formulário “*Project Plan*”, adaptada de GENERAL MOTORS CORPORATION (2003b)

Ainda na fase inicial de execução do projeto, deve-se registrar adequadamente no formulário chamado de “*Team and Leadership Roster*” (figura 4.9), todas as pessoas e suas respectivas funções e responsabilidades dentro da equipe de projeto DFSS. Este controle proporciona um rápido acesso a um membro da equipe que esteja sendo requisitado para fornecer alguma resposta ou resultado de imediato.

Team and Leadership Roster		
Função	Nome	Responsabilidades
Champion	Mark Copelyn	Quebrar e transpor barreiras, suportar ativamente a execução do DFSS Assegurar a organização estrutural e recursos para suportar o DFSS
Sponsor	Richard Zuccaro	Aprovar a determinação dos CTQs a serem analisados Rever as métricas como parte do VDP Quebrar barreiras, prover recursos Ajustar execuções, coordenar múltiplos projetos em um programa Execução de resultados Apresentar à Alta Direção todos os projetos DFSS em seções técnicas Nomear membros do time de projeto
Team Leader	Donald Baker	Manter atualizado as métricas e <i>scorecards</i> do projeto DFSS Preparar apresentações dos projetos DFSS para as seções técnicas Criar o <i>Project Plan</i> Agendar e executar reuniões de time dos projetos DFSS Discretização e consolidação dos CTQs
Design Rel. Engineer Technical Specialist System Engineer Integration Engineer	Jim Pttus (DRE) Marcos Hein (DRE) David Martin (Technician) Suzan Philips (Technician) Larry Leinden (S. Eng.) Larry Duckel (I. Eng.) Denise Cognac (I. Eng.)	Atuar no projeto DFSS com sua experiência e conhecimento em suas respectivas áreas
Analyst	Don Jarois	Executar e/ou criar funções de transferência Identificar CTQs dos subsistemas a partir das funções de transferência
Quality Engineer	Tim Gray	Prover dados de desempenho dos produtos GM e dos concorrentes Atualizar os dados de desempenho durante a execução do DFSS
Manufacturing Engineer	Todd Kearney	Prover dados de capacidade do processo em suas respectivas áreas (Manufatura : interno / SQE : fornecedores)
Supplier Quality Engineer	Jason Gradinac	
Statistical Engineer	George Chao Lin	Prover todo conhecimento estatístico Aplicação de ferramentas estatísticas : DOE, simulações, software, etc.
Coach	Cris Smith	Suportar todas as atividades do time Programar treinamentos ao time Suportar as identificações dos projetos Atender as seções técnicas e reuniões do time

Figura 4.9 – Formulário “*Team and Leadership Roster*”, adaptada de GENERAL MOTORS CORPORATION (2003b)

A primeira fase da metodologia, o *CTQ Flowdown*, requer a utilização de alguns formulários padrões, como é o caso dos formulários utilizados para relacionar os atuais índices de qualidade advindos de indicativos externos de referência (*J.D. Power*, *QAS*) e indicativos internos (*IPTV* e *CPV*), definindo-se, então, objetivos numéricos de referência para o projeto.

Apenas para melhor entendimento, o *IPTV* é o índice que reflete respectivamente a quantidade de ocorrências de um tipo de problema para cada mil veículos produzidos em um determinado período de tempo, enquanto que o *CPV* reflete o custo total de garantia daquele problema dividido pela quantidade total de veículos produzidos no mesmo período. Um exemplo desses formulários pode ser visto na figura 4.10 a seguir (GENERAL MOTORS CORPORATION, 2003b).

Estimativa de melhoria do J.D. Power			
Categorias J.D. Power	Atual (PPH)	Objetivo (PPH)	Estimativa (PPH)
Difícil de abrir/fechar	5,62	1,90	
Ruído de vento	3,46	2,60	
Gaps e desalinhamentos pobres	0,43	0,25	
Total :	9,51	4,75	

Atual Veículo :

Veículo referência em classe :

GM Alpha 2001
Saab Sigma 2001

Garantia / IPTV / CPV (12 meses em serviço)						
Código de Garantia	IPTV			CPV		
	Atual	Objetivo	Estimat.	Atual	Objetivo	Estimat.
B4010 Porta lateral - Alinhar	16,82	8,40		\$0,11	\$0,06	
C1060 Borracha de vedação - Substituir	7,29	3,60		\$0,09	\$0,05	
B4020 Dobradiça - Reparar p/ alinhar	2,10	1,05		\$0,09	\$0,05	
C1190 Limitador da porta lateral - Substituir	1,68	0,85		\$0,030	\$0,15	
Total :	27,89	14,35		\$0,59	\$0,31	

Atual Veículo :

Veículo referência em classe :

Volume anual :

Potencial de economia de custo anual :

GM Alpha 2001
Saab Sigma 2001
1.500.000
\$420.000,00

Figura 4.10 – Formulários de indicadores de qualidade, adaptada GENERAL MOTORS CORPORATION (2003b)

O formulário mais importante na representação da primeira fase do DFSS é o formulário intitulado “*Customer Qs and System CTQs*”, o qual tem a função de registrar todas as *Customer Qs* apontadas pelos clientes e as respectivas *System CTQs* determinadas pelo grupo de projeto DFSS. Além disso, podem já ser registrados nesse formulário os métodos utilizados para obtenção das *Funções de Transferência*, bem como uma indicação dos CTQs classificados para serem estudados via DFSS ou por algum outro meio (figura 4.11) (GENERAL MOTORS CORPORATION, 2003b).

Customers Qs and System CTQs						
Customer Q	System CTQs (unidade)	Método da Função de Transferência	Processo de Seleção de CTQs (inserir X onde apropriado)			
			CTQ selecionado	Execução Normal	Limitação	Melhores Práticas
Ruído de vento						
Estrutura do veículo	Alinhamento dos painéis (mm)	Manufacturing Analysis	X			
Infiltração de ar	Margem do Gap (mm)	Simulation Software	X			
Infiltração de água						
Perfil da borracha				X		
Acúmulo de água				X		
Porta difícil de fechar	Energia (Joules)	Variation Simulation Analysis	X			
Difícil de abrir						
Maçaneta dura de abrir				X		
Porta pesada para mover				X		
Aparência						
Gap	Distância (mm)	Simulation Software	X			
Desalinhamento	Distância (mm)	Simulation Software	X			
Rangidos				X		

Figura 4.11 – Formulário “Customer Qs and System CTQs”, adaptada de GENERAL MOTORS CORPORATION (2003b)

Com relação à segunda fase, a Previsão da Qualidade (“*Quality Prediction*”), há basicamente dois formulários importantes que resumem todo o universo de atividades que devem ser desempenhadas. O primeiro deles é o “*Performance Worksheet and Quality Targets*”, o qual registra, para cada CTQ estabelecido os novos índices de performance e qualidade calculados através de previsões para que o sistema possa atingir o desempenho desejado, os quais advém das diversas etapas que compõem esta fase (figura 4.12) (GENERAL MOTORS CORPORATION, 2003b).

Performance and Quality Targets										
Descrição de montagem: Sistema de Porta Lateral										
CTQ e Parâmetro	LIE	LSE	Média	Desvio Padrão	Curto ou longo prazo	No. vezes aplicado	VSAS	DPU	Z _{CP}	Z _{objetivo}
Energia p/ fechamento da porta (Joules)		75	67	3	curto	2	3	7,661E-03	4,17	4
Pressão da borracha (psi)	3		4,4	0,37	curto	2	3	1,547E-04	5,28	5
Força de abertura da maçaneta		45	37	2,7	curto	2	3	3,047E-03	4,46	4
Total de oportunidades								6		
DPU do conjunto								1,086E-02		
dpmo conjunto								1810		
Z _{CP} do conjunto								4,41		

Figura 4.12 – Formulário “Performance Worksheet and Quality Targets”, adaptada de GENERAL MOTORS CORPORATION (2003b)

Com relação à coluna “Curto ou longo prazo” da figura 4.12, é importante citar que ela se refere ao grau de conhecimento que se possui sobre o comportamento daquele parâmetro. Por recomendação, a GM instrui para que se trabalhe com o sigma de curto prazo devido a possuir milhares de parâmetros e, portanto, ser exceção o conhecimento total de um parâmetro para se trabalhar com o sigma de longo prazo. Matematicamente falando, quando a GM classifica um parâmetro como sendo de curto prazo, significa dizer que o desvio padrão deve ser multiplicado por 1.3, proporcionando uma diminuição do sigma do processo, o qual deverá ser aplicado no cálculo do *Zigma*, conforme mostrado no capítulo 4.3.2.1.1. Assim, tem-se a seguinte equação:

$$\sigma_{LP} = 1,3.\sigma_{CP}$$

O Segundo formulário da segunda fase é o “*Top Level Scorecard*”, o qual é caracterizado por sumarizar todos os requisitos críticos para o projeto, advindos dos formulários existentes para cada tipo de CTQ existente: *performance*, *manufaturabilidade e montagem*, *peças compradas de fornecedores*, e *confiabilidade*. Devem ser inseridos neste formulário todos os CTQs do sistema e subsistemas apontados no projeto conjuntamente com suas respectivas medições de defeitos por unidade (DPU), total de oportunidades, e o “Z” de curto prazo. A planilha automaticamente calculará ao final, os defeitos por unidade (DPU), total de oportunidades, e o “Z” de curto prazo para todo o sistema (figura 4.13) (GENERAL MOTORS CORPORATION, 2003b).

Top Level Scorecard				
Descrição de montagem: Sistema de Porta Lateral				
Nome do conjunto	Peças compradas de fornecedores	Manufaturabilidade e montagem	Performance	Confiabilidade
Sistema de porta lateral			1,086E-02	6,200E-04
Estrutura da porta	4,000E-03			
Maçanetas e trincos				
Borrachas vedadoras	8,000E-02			
Conjunto dobradiças		3,046E-03		
Carroceria				
DPU do conjunto	8,400E-02	3,046E-03	1,086E-02	6,200E-04
Total de oportunidades	4	2	6	4
Z_{CP} do conjunto	3,53	4,48	4,41	5,11

DPU do Scorecard	9,853E-02
Oportunidades do Scorecard	16
Z_{CP} do Scorecard	4,02

Figura 4.13 – Formulário “*Top Level Scorecard*”, adaptada de GENERAL MOTORS CORPORATION (2003b)

Em relação às duas últimas fases de um projeto DFSS na GM, respectivamente Otimização do Projeto, (“*Design optimization*”) e Testes e Verificações, (“*Test & Verify*”), existe apenas um formulário específico para cada fase (figuras 4.14 e 4.15), o qual procura relatar, através de uma espécie de “*checklist*”, se as respectivas subfases foram completadas e em que datas elas ocorreram. Isto deve ser explicado devido ao fato de estas subfases serem caracterizadas por já residirem dentro do ambiente normal de processo de desenvolvimento dentro da engenharia, existindo para tal, processos e padrões específicos (GENERAL MOTORS CORPORATION, 2003b).

Optimize / Formalize Design	
Tarefas	Completo (inserir X ou Data)
Projeto atende os objetivos de qualidade	X
Comunicação do Projeto	
a. Desenhos a serem atualizados	NOV/2002
b. Requisitos de Projeto a serem atualizados	NOV/2002
Comunicação do Processo	
a . Atualizar Planos de Controle	DEZ/2002
b. Atualizar documentos de montagem	DEZ/2002

Figura 4.14 – Formulário “*Optimize/Formalize Design*”, adaptada de GENERAL MOTORS CORPORATION (2003b)

Validation / Verification	
Tarefas	Completo (inserir X ou Data)
Capabilidade verificada	DEZ/2002
Atualização do modelo p/ atender capabilidade	DEZ/2002
Memória técnica capturada :	
a. Preparação dos documentos e relatórios	X
b. Melhores Práticas documentadas	X
c. Atualização do Plano de Validação	JAN/2003
d. Atualização das especificações do veículo	X
e. Atualização das especificações dos sistemas	X

Figura 4.15 – Formulário “*Validation/Verification*”, adaptada de GENERAL MOTORS CORPORATION (2003b)

A utilização desta série de formulários padrões, visa alguns objetivos, tais como:

- ☐ Manter histórico dos Projetos DFSS;
- ☐ Proporcionar rastreabilidade das mudanças;
- ☐ Prover “*Lessons Learned*” para projetos de DFSS futuros;
- ☐ Permitir avaliação da evolução dos processos;
- ☐ Documentar registros e dados devido a requisitos legais.

Por finalizar, existem dois formulários que vêm agregar um considerável valor ao projeto DFSS quando da execução de suas atividades finais. Eles não apresentam nenhuma estrutura ou forma condensada de preenchimento, apenas requerem que se relate a “recomendação para trabalhos futuros” e os “comentários finais para o projeto” (GENERAL MOTORS CORPORATION, 2003b).

5. APRESENTAÇÃO DO ESTUDO DE CASO

5.1 Considerações gerais

Este estudo de caso é pertinente à aplicação da metodologia DFSS utilizada pela General Motors. Determinados valores que não prejudicam o desenvolvimento do estudo de caso não serão mostrados por serem classificados como informação confidencial, porém, o escopo da aplicação, mostrando sua situação inicial, trajetória, e seus objetivos alcançados, será demonstrado dentro deste panorama, mantendo os objetivos deste trabalho.

5.2 Projeto *Design for Six Sigma* (DFSS): Bocal do sistema de abastecimento de combustível

5.2.1 Apresentação do sistema

O sistema de abastecimento de combustível, ou “*fuel filling system*” em inglês, é parte integrante do sistema de alimentação do automóvel, e tem a função de receber e armazenar o fluido combustível do automóvel. Além do sistema de abastecimento de combustível, o sistema de alimentação também é composto por outros dois sistemas principais, que são as linhas de combustível, responsáveis por transportar o fluido em condições de vazão, temperatura e pressão adequadas até o local de injeção no motor e o sistema de injeção, que tem a função de prover a mistura exata de fluido combustível e ar para dentro das câmaras de combustão do motor.

O sistema de abastecimento de combustível (figura 5.1), por sua vez, é formado basicamente pelos seguintes subsistemas:

- ❑ Bocal do sistema de abastecimento;
- ❑ Tanque de combustível;
- ❑ Sistema de ventilação;
- ❑ Tampa do bocal.

Figura 5.1 – Sistema de abastecimento de combustível

O bocal do sistema de abastecimento de combustível (figura 5.2), objeto principal deste estudo de caso, é formado, por sua vez, do tubo de abastecimento, do tubo do sistema de ventilação e também por agregados, tais como câmara de condensação e elementos de fixação. Este conjunto em si é caracterizado fisicamente por ser um perfil moldado em 3 dimensões, partindo do tanque de combustível e encerrando junto ao local externo de abastecimento do veículo, daí ser uma peça de geometria complexa.

Figura 5.2 – Bocal do sistema de abastecimento de combustível

5.2.2 Razão da escolha

Considerando-se que um novo sistema de abastecimento de combustível deveria ser projetado para um novo modelo de veículo, identificou-se que os atuais indicativos de desempenho e qualidade existentes para o modelo em produção apresentavam possibilidades de melhoria em seus resultados. Estes indicativos puderam ser comprovados através de índices externos, como avaliações comparativas com concorrentes do mesmo segmento realizadas por empresas independentes do setor como a QAS (*Quality Audit Survey*) e também indicativos internos, como o IPTV e o CPV explanados anteriormente. Os valores poderão ser vistos na figura 5.4 dentro do capítulo 5.2.3.

O sistema novo a ser desenvolvido requeria um bocal do sistema de abastecimento totalmente novo, pois sua rota e geometria seriam relativamente diferentes devido às condições de lay-out que o novo veículo impunha. Tecnicamente analisando, sua rota e geometria seriam mais complexas ainda que o modelo atual em produção, o que poderia levar a um desempenho inferior ainda.

Toda esta análise concluiu que o atual sistema de abastecimento de combustível passou a figurar em uma espécie de ranking de sistemas, subsistemas ou componentes que poderiam ser aprimorados para melhor atender as necessidades do cliente e, conseqüentemente, apresentar índices de desempenho e qualidade ainda mais satisfatórios para a empresa. Daí a indicação para o sistema sucessor do atual ser submetido a um projeto de DFSS com a finalidade de não só atender tal objetivo, mas de se tornar também a referência em sua classe (*best-in-class*).

Descrevendo este novo sistema sob a forma de problema ou oportunidade, conforme formulário apresentado na figura 4.7 do capítulo anterior, tem-se a figura 5.3 a seguir:

Problem / Opportunity		
Declaração do Problema / Oportunidade : Projetar um bocal do sistema de abastecimento de combustível de modo que o tanque possa ser abastecido fácil e rapidamente, sem que haja refluxo ou vazamento, permitindo 100% abastecimento, que não vibre e que não cause danos à pintura do veículo.		
Programa		Ano Modelo
GM 3300		2004
Qualidade	Racional do Projeto (coloque X onde apropriado)	X = Sim
	J.D.Power / QAS - Quality Audit Survey	X
	Garantia / IPTV	X
	Relatórios de Clientes	
	Manufatura / Montagem	X
Tecnologia	Risco de nova tecnologia	
Mercado	Custo	X
	Vencer no mercado	

Figura 5.3 – *Problem/Opportunity* do sistema de abastecimento

É importante também citar que outra principal razão da aplicação de um projeto DFSS a um sistema de abastecimento de combustível é adquirir *know-how* para aplicação em futuros projetos de sistemas de abastecimento de combustível de outras plataformas dentro da GM.

5.2.3 Os atuais níveis de desempenho

Basicamente o indicativo de desempenho que demonstrava a possibilidade de melhoria mais significativa era o IPTV / CPV. O desempenho quando comparado com o melhor produto da GMB nesta classe apontava para uma possibilidade de melhoria de mais de 50% em seus índices, o que denotava uma possibilidade de economia de custo considerável.

Com relação ao indicativo QAS, o desempenho do atual produto GMB perante a comparação com os concorrentes da mesma classe, apresentou resultados satisfatórios, mas que, de alguma forma, poderiam ser melhorados a ponto de se tornarem a referência em sua classe, como já fora citado anteriormente.

A figura 5.4 a seguir mostra estes indicativos de desempenho já rotulados dentro do trabalho padronizado do DFSS utilizado pela GMB, conforme explanado no capítulo 4.6 deste presente trabalho.

Garantia / IPTV / CPV (12 meses em serviço)						
Código de Garantia	IPTV			CPV		
	Atual	Objetivo	Estimat.	Atual	Objetivo	Estimat.
Bocal de abastecimento	8,00	1,50		\$0,28	\$0,05	
Tampa de bocal	0,23	0,14		\$0,02	\$0,01	
Mangueira de ventilação	0,12	0,06		\$0,02	\$0,01	
Total :	8,35	1,70		\$0,32	\$0,07	

Atual Veículo :	GMB T3000
Veículo referência em classe :	GMB4300
Volume anual :	200.000
Potencial de economia de custo anual :	\$50.000,00

Estimativa de melhoria do QAS			
Categorias QAS	Atual (PPH)	Objetivo (PPH)	Estimativa (PPH)
Difícil de abastecer	2,00	0,50	
Total :	2,00	0,50	

Atual Veículo :	GMB T3000
Veículo referência em classe :	GMB 4300

Figura 5.4 – Indicativos de qualidade do sistema de abastecimento

5.2.4 Tempo de execução do projeto

Realizando-se uma análise cronológica, este projeto DFSS iniciou em Janeiro de 2002, tendo seu fechamento praticamente em Junho de 2003 quando da data de entrega das peças necessárias ao evento da corrida-piloto, o que computa um período total de 18 meses.

Em uma breve comparação deste período com o tempo demandado por alguns projetos executados pela divisão norte-americana da GM, levando-se em consideração o grau de complexidade e estrutura requeridas, este projeto do estudo

de caso demandou um tempo adicional da ordem de 2 a 3 meses quando comparado com a média norte-americana, porém, sem comprometer ou afetar os eventos já previamente definidos do processo de desenvolvimento do novo veículo em questão.

5.2.5 Aplicação da metodologia DFSS

5.2.5.1 Determinação dos CTQs do sistema

Submetendo-se o sistema de abastecimento de combustível à fase inicial do DFSS, ou seja, determinar as características críticas para o cliente, de acordo com o processo GM, ou DEFINIR e MEDIR, seguindo a metodologia citada por WERKEMA (2002), parte-se do início que a principal reclamação do cliente é a dificuldade para abastecer o veículo, pois o combustível retorna para o exterior caso seja abastecido rapidamente ou causa, por várias vezes, a interrupção do abastecimento através do desarmamento do bico da bomba de combustível. A partir deste levantamento da voz do cliente, ou melhor, as *Customer Qs*, a equipe do DFSS traduziu-as em requisitos críticos para a qualidade do sistema, ou *System CTQs*, transformados em especificações de engenharia mensuráveis, conforme formulário pertinente mostrado na figura 5.5 a seguir.

Customers Qs and System CTQs						
Customer Q	System CTQs (unidade)	Método da Função de Transferência	Processo de Seleção de CTQs (inserir X onde apropriado)			
			CTQ selecionado	Execução Normal	Limitação	Melhores Práticas
Habilidade p/ abastecer rápido						
- Prever a parada prematura	Máximo fluxo de combustível (litros/min)	Análise e simulação em software	X			
- Permitir enchimento de uma única vez	Volume no tanque na primeira parada (litros)	Análise e simulação em software	X			
Abastecimento seguro						
- Correta informação de que o tanque está cheio	Aviso por sinal (sonoro, visual)				X	
- Não causar danos à pintura	Ângulo do bocal de abastecimento (graus)			X		
- Prevenir ferimentos nas mãos	Montagem com demais peças, distâncias permitidas (mm)			X		
- Não permitir vazamentos	Vida do bocal (anos ou km)			X		
- Não permitir respingos removendo o bico	Ângulo do bocal de abastecimento (graus)	Análise e simulação em software	X			
- Prevenir acúmulo de sujeira / poeira	Fluxo de drenagem (ml/min)			X		
Vibração / Ruído						
- Evitar ruídos e rangidos	Vida do bocal (anos ou km)			X		

Figura 5.5 – *Customer Qs and System CTQs* do sistema de abastecimento

5.2.5.2 Previsão da qualidade

Passando-se para a segunda fase do projeto, a Previsão da qualidade, ou ANALISAR, o trabalho consiste em se identificar a lacuna existente entre as performances do sistema atual e do sistema desejado, priorizando problemas e identificando as causas desses problemas.

Inicialmente, conforme o trabalho padronizado, foram estabelecidos os níveis de qualidade e performance para cada CTQ selecionado, ou seja, foram determinados os limites de especificação superior e inferior, o valor de Zigma, a média e o respectivo desvio-padrão, conforme figura 5.6 a seguir.

Performance and Quality Targets										
Descrição de montagem: Sistema de abastecimento de combustível										
CTQ e Parâmetro	LIE	LSE	Média	Desvio Padrão	Curto ou longo prazo	No. vezes aplicado	VSAS	DPU	Z _{CP}	Z _{objetivo}
Máximo fluxo de combustível (litros/min)	X-0,1X		X	*	curto	1	3	*	*	*
Volume no tanque na primeira parada (litros)	Y-0,06Y		Y	*	curto	1	3	*	*	*
ângulo do bocal de abastecimento (graus)	Z-0,02Z	Z+0,02Z	Z	*	curto	1	3	*	*	*
								Total de oportunidades	3	
								DPU do conjunto	*	
								dpmo conjunto	*	
								Z _{CP} do conjunto	*	

(*) Valores confidenciais

Figura 5.6 – Níveis de qualidade e performance do sistema de abastecimento

Em seguida, para a determinação das funções de transferência, estabeleceu-se o diagrama estrutural do sistema (figura 5.7) bem como os diagramas funcionais para cada CTQ selecionado, permitindo se chegar aos subsistemas para estudo de seus parâmetros. Sendo assim, tanto para o CTQ#1 “Máximo fluxo de combustível (litros/min)” quanto para o CTQ#2 “Volume no tanque na primeira parada (litros)” foram identificados 4 principais CTQs de subsistemas representados por secções do tubo de enchimento (figura 5.8). Com relação ao CTQ#3 “Ângulo do bocal de abastecimento (graus)”, o mesmo fora realizado, chegando-se ao principal CTQ de

subsistema, representado pelo ângulo do painel lateral do veículo em relação à linha de centro do bico de enchimento da bomba (figura 5.9).

Como análise crítica, pode-se gerar as seguintes perguntas: o que muda do diagramas estrutural e diagramas funcionais do produto de referência para o novo produto que está sendo submetido ao DFSS? Pode-se ter mudanças? A resposta é que estas configurações não possuem diferenças e não podem ser mudadas para que não haja alteração do processo do fornecedor e conseqüente investimento ou aumento de custo na peça, pois é uma das limitações do projeto.

Figura 5.7 – Diagrama Estrutural do sistema de abastecimento

Figura 5.8 – Diagrama funcional dos CTQs #1 e #2

Figura 5.9 – Diagrama funcional do CTQ #3

É importante explicar sobre a colocação do “ruído” nas figuras 5.8 e 5.9. Apesar de fazer parte dos diagramas, são variáveis que não causam grande interferência para serem consideradas no projeto, sendo, portanto, descartadas.

De posse dos dados e análises levantadas até este momento e com a participação efetiva do fornecedor nomeado para este novo sistema de abastecimento de combustível, devido ao seu conhecimento, experiência e recursos para realização de testes e análises, deu-se início à execução dos modelos para determinação dos objetivos e variações.

Como referência, alguns dos testes básicos realizados por um fornecedor de sistemas de abastecimento de combustível são:

- ❑ Checagem dimensional: verifica se o sistema atende todos as dimensões e correspondentes tolerâncias de projeto;

- ❑ Teste de estanqueidade: verifica o sistema quanto à vazamentos;
- ❑ Teste de enchimento: verifica o sistema quanto à vazão estabelecida por projeto;
- ❑ Teste de afogamento: verifica o sistema quanto à refluxo / respingos;
- ❑ Teste de impacto: verifica o sistema quanto à sua resistência;
- ❑ Teste de fogo: verifica o sistema quanto à resistir a um determinado tempo exposto sob chamas sem causar explosão.

Face aos testes acima, os teste de enchimento, afogamento e a checagem dimensional estão diretamente relacionados com os parâmetros que o projeto DFSS visa aperfeiçoar, contribuindo para a realização mais eficaz do mesmo.

Com o objetivo de se eliminar variáveis que não agregam valor ao projeto ou ainda fontes geradoras de ruído ao mesmo, a equipe de trabalho confeccionou uma diagrama “Causa e Efeito” de Ishikawa procurando relatar os fatores mais importantes que afetam o sistema de abastecimento, conforme ilustrado na figura 5.10.

Figura 5.10 – Diagrama “Causa e Efeito” para o sistema de abastecimento

Como primeiros resultados para o estudo decorrente dos CTQs #1 e #2, a equipe planejou a realização de um DOE para a seguinte tabela de possibilidades de combinações abaixo com o objetivo de se encontrar a combinação que apresentasse os melhores resultados em termos de média e variância requeridos para o sistema (figura 5.11). A porção de execução dos experimentos, incluindo a construção e a avaliação dos protótipos coube ao próprio fornecedor.

Item	Fatores	Níveis	
Sistema de ventilação	A = Diâmetro do tubo (mm)	nominal X	A1
		nominal X + 1.0mm	A2
		nominal X + 2.0mm	A3
Bocal de abastecimento	B = Comprimento do tubo (mm)	nominal	B1
		nominal + 5.0mm	B2
		nominal - 5.0mm	B3
Filtro do bocal	C = Comprimento do Filtro (mm)	nominal X	C1
		nominal X + 20.0mm	C2
	D = Filtro	com filtro	D1
		sem filtro	D2
	E = Estrutura do filtro	com estrutura	E1
		sem estrutura	E2

Figura 5.11 – Análise de combinações para os CTQs#1 e #2

No caso do CTQ#3, a equipe procurou identificar a relação dos ângulos X (painel lateral do automóvel) e Y (bico de enchimento) de modo que apresentassem conjuntamente a melhor combinação. Do ponto de vista técnico, o ponto importante deste CTQ foi determinar o melhor valor para o ângulo fixo X de modo que proporcionasse a maior variação possível do ângulo móvel Y de modo que ocorresse a maior vazão possível para enchimento e o mínimo possível permitido de respingos de combustível quando do desarme do bico de enchimento da bomba. A figura 5.12 comprova o resultado da melhor combinação obtida através de testes realizados em bancada de testes do próprio fornecedor.

Figura 5.12 – Resultados de teste para o CTQs#3 realizado no fornecedor

Explicando simplificadaamente o teste anterior, tem-se que foram realizados testes em 3 posições angulares, respectivamente 5, 6 e 9 horas em relação aos ponteiros do relógio. Os valores de V1, V2, V3, e V4 correspondem ao fluxo de gasolina definido pela posição da pistola do bico de enchimento da bomba. As posições de A até J referem-se às posições de penetração do bico para dentro do gargalo, conforme demonstrado fisicamente no bico as posições C, F, H e J.

Após estas ações, foram computados os dados resultantes de cada CTQ nos seus respectivos formulários de *Performance and Quality Targets* para, após isto, serem consolidados no formulário *Top Level Scorecard*, registrando os valores de desempenho do novo sistema proposto como um todo e, confirmando os resultados otimizados que se esperava desta fase de previsão da qualidade.

5.2.5.3 Otimização do projeto

A fase de otimização do projeto, ou DESENVOLVER, consiste em se avaliar a implementação do novo projeto, analisando aspectos como o impacto financeiro no fornecedor e na manufatura (investimento), o impacto econômico (preço por peça) e o impacto no tempo de desenvolvimento. Conforme se viu no formulário *Problem/Opportunity* apresentado anteriormente, o impacto econômico é um fator de limitação para este projeto DFSS, ou seja, ficou acordado que todas as alterações necessárias ao projeto deste sistema de abastecimento de combustível não poderiam gerar aumento de custo da peça, pois deveria permanecer o preço-peça acordado com o fornecedor a nível contratual quando da sua nomeação.

Um outro fator limitante do projeto com relação a custos foi a troca de algum material empregado no sistema. Segundo avaliações preliminares, não se identificou nenhum componente que pudesse ter seu material trocado por outro em detrimento de se obter redução de custo, muito pelo contrário, toda possibilidade analisada demandava acréscimo de custo, razão pela qual não foram abordadas possibilidades de troca de material como solução para aumento de performance e qualidade do sistema como condição inicial neste projeto de DFSS.

No caso do CTQs #1 e #2, as principais alterações necessárias ocorreram basicamente no comprimento e diâmetro do tubo em algumas secções pré-determinadas, conforme visto na fase anterior, recaindo estas alterações para a responsabilidade do fornecedor, bem como o ajuste de um novo valor de calibração para válvula do sistema de ventilação.

Já no caso do CTQ#3, além da necessidade de alteração na região de abertura do bocal pelo fornecedor, para os valores otimizados dos ângulos X e Y, a manufatura da GMB também foi envolvida substancialmente, pois alterações na parte de chaparia do veículo se fizeram necessárias para acomodar esta abertura do bocal com os novos ângulos.

Ainda em relação aos 3 CTQs do sistema, houve a necessidade de se introduzir um método de controle mais aprimorado para controlar tanto a variação da posição de fixação do bocal de abastecimento junto ao compartimento de chapa da lateral do veículo quanto os diâmetros e comprimentos das secções consideradas como críticas, incluindo um controle do tipo KPC (*Key Product Characteristic*) e controles de GD&T (*Geometric Dimension & Tolerance*) adicionais. Este fato exigiu então uma alteração no processo de controle derivado da alteração de especificação do produto (figura 5.13).

Figura 5.13 – Dispositivo de controle do bocal de abastecimento

Concluindo esta fase, tem-se as tarefas inerentes ao processo de desenvolvimento, ou seja, a atualização dos desenhos de componentes e conjuntos do sistema de abastecimento, bem como requisitos técnicos, instruções de montagem, etc., a serem comunicados à manufatura e ao fornecedor. A figura 5.14 a seguir resume o formulário *Optimize/Formalize Design* para este projeto.

<i>Optimize / Formalize Design</i>	
Tarefas	Completo (inserir X ou Data)
Projeto atende os objetivos de qualidade	X
Comunicação do Projeto	
a. Desenhos a serem atualizados	JAN/2003
b. Requisitos de Projeto a serem atualizados	JAN/2003
Comunicação do Processo	
a . Atualizar Planos de Controle	MAR/2003
b. Atualizar documentos de montagem	MAR/2003

Figura 5.14 – *Optimize/Formalize Design* para o sistema de abastecimento

Apenas como uma análise crítica, os fechamentos das tarefas dos projetos de DFSS na GMB não são colocadas com a exatidão do dia de conclusão, assim como pode-se observar nos projetos de DFSS americanos.

5.2.5.4 Testes e verificações

Em relação à última fase de testes e verificações, ou VERIFICAR, é importante salientar que, além da verificação de todo o novo sistema de alimentação de combustível pelas diversas etapas de validação existentes dentro das fases que compõem o PDV, desde as primeiras peças protótipos somente com a finalidade de checagem dimensional até as peças advindas do ferramental final destinado à produção para o evento da corrida piloto, a tarefa de se documentar e registrar adequadamente todas as informações pertinentes à aplicação da metodologia DFSS é de fundamental importância para o desenvolvimento dos futuros sistemas.

O formulário Validation/Verification devidamente preenchido para este estudo de caso, com as datas de conclusão e/ou indicação de realização dos eventos que a compõem pode ser visto através da figura 5.15 a seguir.

Validation / Verification	
Tarefas	Completo (inserir X ou Data)
Capabilidade verificada	DEZ/2002
Atualização do modelo p/ atender capacidade	JAN/2003
Memória técnica capturada :	
a. Preparação dos documentos e relatórios	X
b. Melhores Práticas documentadas	X
c. Atualização do Plano de Validação	JAN/2003
d. Atualização das especificações do veículo	X
e. Atualização das especificações dos sistemas	X

Figura 5.15 – *Validation/Verification* para o sistema de abastecimento

Por fim, o registro de todos os membros da equipe que atuaram no projeto, os prazos de execução planejados e reais de cada etapa, dados coletados, pesquisas, análises, etc, bem como um relatório qualitativo de todas as observações de pontos positivos e negativos encontrados durante o desenrolar do projeto, foram registrados

em um banco de dados apropriado, disponível para consulta no ambiente de *intranet* da GM.

5.2.6 Resultados obtidos

Fazendo-se uma abordagem do ponto de vista quantitativo, e comparando-se o desempenho do sistema anterior com os resultados obtidos do novo sistema, o qual já apresenta exposição ao campo de 12 meses, levando-se em consideração a data do início de produção do novo modelo, tem-se os seguintes resultados:

- ❑ IPTV: as primeiras medições deste índice considerando uma exposição de 12 meses no campo passaram a apresentar valores em torno de 1,5 a 2,0 pontos, estando, portanto, dentro do objetivo previamente estabelecido para o projeto, que foi de 1,70;
- ❑ CPV (Custo de garantia): a redução do custo de garantia é basicamente proporcional à diminuição do índice de IPTV, pois diminuindo o número de reclamações no campo, diminui também os gastos com retrabalhos em garantia. Portanto, os objetivos de redução dos custos de garantia alcançaram algo em torno de \$50.000,00 por ano, conforme objetivo;
- ❑ QAS: os primeiros índices da pesquisa incluindo o modelo do estudo de caso foram publicados recentemente e apontam para valores de PPH praticamente zerados, ou seja, a pesquisa citou para este modelo de veículo um valor de 0,35 em relação ao quesito “*Difícil de abastecer*”, se enquadrando como melhor ainda do que o modelo utilizado como referência de classe internamente à GMB e se posicionando agora entre as primeiras posições no ranking do QAS, atendendo o objetivo do DFSS de ser um dos melhores em sua classe;
- ❑ Zigma do sistema: dentro do método de trabalho da GM, pode-se considerar que este índice apresentou um aumento da ordem de 20%.

6. ANÁLISE DO ESTUDO DE CASO

Através do estudo de caso apresentado anteriormente, pode-se salientar alguns aspectos positivos que comprovam a efetividade da aplicação da metodologia DFSS, tais como o próprio alcance dos objetivos relativos aos índices de IPTV, custo de garantia e classificação segundo o indicativo QAS, conforme mostrados no final do capítulo anterior.

Com relação ao ganho em torno de 20% no valor de Zigma, é importante ressaltar que este número, a princípio, é considerado como sendo um resultado muito bom de ser alcançado em uma aplicação de projeto DFSS, haja visto que o desempenho do sistema atual já propiciava números médios de desempenho e, conforme BRAZ (2002b) citou como exemplo, a passagem de 3 para 3,6 sigmas de desempenho pode representar apenas 20% de melhoria no sigma, porém, causa uma redução de 67.000 para 20.000 DPMO respectivamente. Conforme o valor do sigma vai aumentando, considerando-se sempre 20% de acréscimo, a diferença de DPMO aumenta em uma proporção não linear.

Outro ponto positivo da aplicação do DFSS neste estudo de caso foi a participação efetiva do fornecedor como praticamente um membro da equipe. Seu know-how no assunto, bem como suas instalações e equipamentos foram essenciais para o bom andamento do projeto, uma vez que também foi um desafio para ele o desenvolvimento de um novo produto através da aplicação do DFSS tendo como fator limitante a condição de não se poder gerar aumento de custo no conjunto do sistema de abastecimento de combustível a ser fornecido.

Aprofundando um pouco a análise com relação à limitação do fator “custo”, é importante citar que a divisão brasileira da GM tem uma característica de atuação diferenciada das divisões norte-americana e européia com relação a este fator, gerando a este trabalho a análise de um ponto negativo e, ao mesmo tempo, a geração de um ponto positivo ao final. O mercado brasileiro e alguns mercados para onde a GMB exporta têm a característica de ser “*cost-driven*”, onde o mercado é guiado por este fator custo, ou seja, os projetos de DFSS aplicados pela GMB terão na sua maioria este fator como limitante do projeto, pois qualquer custo incorporado ao

veículo representa perda de margem de lucro, uma vez que é característica destes mercados não absorverem tal acréscimo, inibindo, portanto, a inclusão de boas ações de aumento do desempenho da performance do produto. Este fator é observado com menor intensidade nos mercados norte-americano e europeu, pois estes mercados costumam pagar por inovações ou melhorias incorporadas ao produto. Sendo assim, pode-se considerar que os projetos DFSS ministrados pela GMB possuem um desafio maior em sua aplicação: a de prover inovações e melhorias para o aumento do desempenho do produto gerando reduções de custo ou mantendo, na pior hipótese, o mesmo custo do produto atual.

Cabe também análise a limitação de não se poder criar diagramas funcionais e estruturais alternativos para o projeto pelo fato do escopo do produto já ter sido previamente definido através do SOR do projeto e, portanto, os custos da peça também já foram previamente definidos, recaindo em maiores detalhes conforme explanado no parágrafo anterior.

Um ponto negativo que cabe análise crítica é com relação ao tempo extra de 2 a 3 meses para a finalização do projeto em relação à média norte-americana utilizada como referência. A questão aqui formulada já começa na própria definição da referência tomada. Não se pode deixar de citar que os recursos para condução de projetos DFSS existentes na GMNA, tais como número de pessoas envolvidas, recursos materiais e financeiros disponíveis e capacidade dos fornecedores, são muito maiores e abrangentes na divisão norte-americana quando comparados com a divisão brasileira. Portanto, não se pode afirmar que se houve falta de disciplina ou empenho da equipe, mas sim que houve momentos de escassez de tempo ou disponibilidade para a realização das tarefas. O importante é frisar que este tempo extra não comprometeu as datas de início de produção do veículo em questão.

É razão para uma análise crítica detalhada a questão sobre a diferença atribuída aos valores de sigma de curto prazo e de longo prazo encontrada na maioria das literaturas pesquisadas e referenciada neste trabalho através de ROTONDARO no capítulo 3, em relação à abordagem aplicada pela GM citada no capítulo 4. ROTONDARO cita que o valor de sigma de longo prazo deve ser diminuído do valor de 1,5 em relação ao sigma de curto prazo, enquanto que a GM adota para

parâmetros de longo prazo o fator de valor 1,3 multiplicando o valor do desvio padrão, conforme citado no capítulo 4.3.2.1.1. Construindo-se um gráfico (figura 6.1) tendo como eixo das ordenadas o valor de sigma de longo prazo e na abscissa os valores de sigma de longo prazo para a metodologia GM e a metodologia tradicional, tem-se:

Figura 6.1 – Comparativo: metodologia GM x tradicional

Um outro ponto importante que cabe uma recomendação é contratar, assim como há na GMNA, uma consultoria de DFSS dedicada a fornecer suporte para os projetos em andamento ou futuros. Denota-se que este recurso utilizado pela GMNA é prova de grande colaboração para o sucesso dos projetos. Deve-se colocar que esta consultoria norte-americana está disponível oficialmente para prestar suporte à GMB, porém o distanciamento físico e a falta de conhecimento das características de trabalho brasileiras provaram que as tentativas de contato realizadas não surtiram o efeito desejado. Sendo assim, a contratação de uma consultoria local focada na GMB seria de grande valia.

Por finalizar, a aplicação do DFSS no sistema de abastecimento de combustível, tomado como estudo de caso deste trabalho, foi realizada de forma racional, dentro dos recursos disponíveis na GMB. Este estudo de caso vem

demonstrar, de uma forma simplificada, um exemplo prático e real da aplicação do DFSS, onde o importante é analisar a seguinte afirmação: *“temos um sistema atual que apresenta possibilidade de melhoria no desempenho, que não gera uma total satisfação por parte dos clientes, acarretando um custo de garantia, o que o coloca entre os itens de maior demérito para a empresa e para as pesquisas quando comparado com os concorrentes. Portanto, precisamos aproveitar a oportunidade de estarmos no processo de desenvolver um novo sistema para o novo veículo substituto do atual e nos tornarmos a referência do mercado neste quesito”*, e não se tem dúvidas que este objetivo foi alcançado.

7. CONCLUSÕES

Este trabalho permite demonstrar que a aplicação da metodologia DFSS, através de sua metodologia fortemente estruturada, proporciona ganhos significativos em termos de otimização da qualidade do produto já durante o seu processo de desenvolvimento, evitando altos custos de modificação do produto quando este já se encontra em produção e atendendo ao maior de todos os objetivos: atender aos anseios e desejos do consumidor.

A comprovação de sua aplicação ao PDV (Processo de desenvolvimento de veículos) é mais acentuada ainda quando se leva em consideração que o PDV tornou-se um elemento estratégico para o sucesso de um produto no mercado, com a utilização de métodos e ferramentas cada vez mais eficazes.

O processo de desenvolvimento de veículos utilizado pela GM, o VDP (*Vehicle Development Process*), está em linha com os processos encontrados na maioria das bibliografias citadas neste trabalho, porém é substancialmente elucidativo principalmente com relação à classificação de um projeto quanto ao grau de modificações necessárias, classificando-o, portanto em *New*, *Major*, *Mid Cycle Enhancement* ou *Ornamentation*. Isto contribui para delinear o impacto que o projeto terá em cada uma se duas sub-fases *Arquitetura e planejamento*, *Conceito*, *Estrutura*, *Integração* e *Validação do produto e processo*.

O *Seis Sigma*, incluindo sua metodologia, estruturação e ferramentas, possui um papel importante inegável para a metodologia DFSS, porém, conforme fora dito no capítulo 3.2.3 deste trabalho, são metodologias independentes que compartilham de muitas características. Daí o fato da pergunta formulada neste mesmo capítulo com relação à uma montadora concorrente da GMB aplicar somente a metodologia *Seis Sigma*, enquanto a GMB aplica somente a metodologia DFSS e a G.E. aplicar ambas metodologias em sua organização.

Quanto à metodologia DFSS propriamente dita, se há a possibilidade de se resumí-la em uma só palavra, esta seria “disciplina”. Isto é reforçado por HARRY (1998) que afirma em seu artigo que o DFSS exige a quebra de barreiras e a mudança

de cultura dentro da organização que pretende aplicá-la. Esta filosofia sempre deve ser do tipo “*top-down*”, ou seja, de cima para baixo, partindo dos principais executivos e alcançando os níveis operacionais que contribuem para o processo. É natural que, sem inteligência, bom senso e experiência, só a característica “disciplina” não torna mais fácil a execução dos projetos.

O DFSS aplicado pela GM em suas diferentes divisões existentes pelo mundo denota ser uma metodologia criada “pelo” e “para” o ambiente de engenharia, pois apesar das interfaces com as outras áreas da organização conforme necessário em várias etapas de aplicação da metodologia, o projeto DFSS nasce, é administrado e concluído pela engenharia, resumindo, o DFSS “pertence” à engenharia.

Não se pode deixar de citar que outra característica marcante da metodologia DFSS aplicada pela GM é o trabalho padronizado, ou “*standardized work*”. Dentro da organização, ele funciona como uma espécie de guia para a condução correta e disciplinada dos trabalhos.

Por fim, é importante colocar que, a GMB não visou obter a importante relação de 6 sigmas para o novo sistema de abastecimento de combustível, mas sim projetar e disponibilizar para o mercado um produto que atenda às necessidades e expectativas do consumidor e, ao mesmo tempo, que proporcione custo e desempenho dentro dos níveis planejados, acentuando, desta forma, a definição do DFSS atribuída pela GM, bem como a identificação do ponto do “Projeto ótimo” existente na curva “Risco Produtor x Consumidor”.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

BARROCO, M. S. **Qualidade no processo de desenvolvimento do produto na indústria automotiva**. São Paulo, 2002. 135p. Trabalho de Curso (Mestrado profissional) – Escola Politécnica da Universidade de São Paulo.

BERRYMAN & ASSOCIATES. USA, 2001. **Design for six sigma clients**. Disponível em: <<http://www.berryman-dfss.com>>. Acesso em: 3 de Março de 2003.

BEHARA, R. S., FONTENOT, G. F., GRESHAM, A. “Customer satisfaction measurement and analysis using six sigma”. **International Journal of Quality & Reliability Management**, p.9-18, 1995.

BLAKESLEE, J. Jr. “Achieving Quantum Leaps in Quality and Competitiveness: Implementing the Six Sigma Solution in your Company”. In: ASQ’s 53rd Annual Quality Congress Proceedings, USA, 1999. **Anais**. USA, 1999. p.487-496.

BRAZ, M. A. “Tópicos especiais em controle de qualidade. Design for six sigma: metodologia” – **Nota de Aula**. São Caetano do Sul, 2002a.

BRAZ, M. A. “Tópicos especiais em controle de qualidade. Seis sigma: metodologia” – **Nota de Aula**. São Caetano do Sul, 2002b.

CAMPOS, M. S. “Seis Sigma: sonho ou realidade em atingir o zero defeito”. **Revista Banas Qualidade**, p.30-36, Maio 2000.

CELOTTO, M. A. “DFSS projects training class”. Training and support to DFSS projects – **Notas de Curso**. São Caetano do Sul, Jan 2003.

CHIUSOLI, R. F. Z., TOLEDO, J. C. “Engenharia simultânea: estudo de casos na indústria brasileira de autopeças”. In: II Congresso Brasileiro de Gestão de Desenvolvimento de Produto, São Carlos, 2000. **Anais**. São Carlos, Ago 2000. p.10-19

FANUCCHI, R. M. **Aplicação dos Seis Sigma e da metodologia DMAMC a um processo de identificação e solução de problemas durante a corrida piloto de um projeto automotivo.** São Paulo, 2002. 78p. Trabalho de Curso (Mestrado profissional) – Escola Politécnica da Universidade de São Paulo.

GENERAL MOTORS CORPORATION. USA, 2001. **Design for Six Sigma Coach Training.** Disponível em intranet em: <<http://qav.gm/dfss/training/coach.html>> Acesso em: 17 Jan 2003a.

GENERAL MOTORS CORPORATION. USA, 2001. **Design for Six Sigma Forms / Tools.** Disponível em intranet em: <<http://qav.gm/dfss/formstools>> Acesso em: 22 Jan 2003b.

GENERAL MOTORS CORPORATION. USA, 2001. **Design for Six Sigma Team Training.** Disponível em intranet em: <<http://qav.gm/dfss/training/team.html>> Acesso em: 17 Jan 2003c.

GENERAL MOTORS CORPORATION. USA, 2001. **Design for Six Sigma.** Disponível em intranet em: <<http://qav.gm/dfss>> Acesso em: 15 Jan 2003d.

GENERAL MOTORS CORPORATION. USA, 2001. **DFSS Vehicle Home Page.** Disponível em intranet em: <<http://qav.gm/dfss/vehicle.html>> Acesso em: 22 Jan 2003e.

GENERAL MOTORS CORPORATION. USA, 2000. **Global Vehicle Development Process.** Disponível em intranet em: <<http://vdp.gm.com/gvdp>> Acesso em: 14 Fev 2003f.

GONZALEZ, J. C. S., MIGUEL, P. A. C. “APQP: uma ferramenta para estruturação do desenvolvimento do produto”. In: II Congresso Brasileiro de Gestão de Desenvolvimento de Produto. São Carlos, Ago 2000. **Anais.** São Carlos, 30-31 Ago 2000.

GROSS, J. M. “A road map to six sigma quality”. **Quality Progress**, p.24-29, November 2001.

HARRY, M. J. “Six sigma: a breakthrough strategy for profitability”. **Quality Progress**, p.60-64, May 1998.

HENDERSON, K. M., EVANS, J. R. “Successful implementation of six sigma: benchmarking General Electric company”. **Benchmarking: An International Journal**, v.7, n.4, p.260-281, 2000.

KAMINSKI, P. C. **Desenvolvendo produtos com planejamento, criatividade e qualidade**. Ed. LTC, Rio de Janeiro, 2000.

KIOUMARS, P. “DFSS team training class. Training and support to DFSS coaches and team leaders” – **Notas de Curso**. São Caetano do Sul, Jan 2003.

KLEFSJO, B., WIKLUND, H., EDGEMAN, R. L. “Six sigma seen as a methodology for total quality management”. **Measuring Business Excellence**, v.5, n.1, p.31-35, 2001.

LUCAS, J. M. “The essential six sigma”. **Quality Progress**, p.27-31, January 2002.

MADER, D. P. “Design for six sigma”. **Frontiers of Quality**, p.82-86, July 2002.

MARASH, S. “Seis Sigma: filosofia ou prática?”. **Revista Banas Qualidade**, p.44-45, Maio 2000.

MOTOROLA. Brasil, 1994. **A evolução do Seis Sigma**. Disponível em internet em: <<http://www.motorola.com/content/0,,2992-5723,00.html>> Acesso em: 15 Fev 2005.

MOURA, E. C. **Design for six sigma**. Campinas, UNICAMP, Novembro 2002. /
Palestra de evento regional SAE /

NAUMANN, E. “Customer centered six sigma”. In: ASQ’s 54th Annual Quality Congress Proceedings, USA, 2000. **Anais**. USA, 2000. p.631-640.

OUCHI, F. Y. **Estudo do DFSS (Design for six sigma)**. São Paulo, 2002. 104p.
Trabalho de Formatura – Escola Politécnica da Universidade de São Paulo.

PANDE, P. S., NEUMAN, R. P., CAVANAGH, R. R. **Estratégia seis sigma: como a GE, a Motorola e outras grandes empresas estão aguçando seu desempenho**. Qualitymark Ed., Rio de Janeiro, 2001.

PORTER, L. “Six sigma excellence”. **Quality world**, p.12-15, 2000.

PUGH, S. **Creating innovative products using total design: the living legacy of Stuart Pugh**. Addison-Wesley Publishing Company, Massachusetts, 1996.

PYZDEK, T. “A revolução dos seis sigma”. **Revista Banas Qualidade**, p.38-43, Maio 2000.

ROTONDARO, R. G. et al. **Seis sigma: estratégia gerencial para a melhoria de processos, produtos e serviços**. Ed. Atlas, São Paulo, 2002.

SIMONS, N., LINDLAND, J. “The relationship between ISO 9001:2000 and design for six sigma (DFSS)”. In: SAE International World Congress Detroit, Michigan, Mar 4-7, 2002. **Anais**. Detroit, Michigan, 2002. SAE Technical Paper Series 2002-01-0896.

SNEE, R. D. “Dealing with the Achilles’ hell of six sigma initiatives”. **Quality Progress**, p.66-72, March 2001.

TREICHLER, D., CARMICHAEL, R., KUSMANOFF, A., LEWIS J., BERTHIEZ G. “Design for six sigma: 15 lessons learned”. **Quality Progress**, p.33-42, January 2002.

WERKEMA, M. C. C. **Criando a cultura seis sigma**. Qualitymark Ed., Rio de Janeiro, 2002.