

**UNIVERSIDADE FEDERAL DO RIO GRANDE DO SUL  
ESCOLA DE ENGENHARIA  
MESTRADO PROFISSIONALIZANTE EM ENGENHARIA**

**METODOLOGIA PARA RETROALIMENTAÇÃO DO CICLO DE  
DESENVOLVIMENTO DE PRODUTO COM DADOS DE CONFIABILIDADE  
ORIUNDOS DA UTILIZAÇÃO DO PRODUTO EM CAMPO**

**Ricardo Gazzana Schneider**

**Porto Alegre, 2001**

**UNIVERSIDADE FEDERAL DO RIO GRANDE DO SUL  
ESCOLA DE ENGENHARIA  
MESTRADO PROFISSIONALIZANTE EM ENGENHARIA**

**METODOLOGIA PARA RETROALIMENTAÇÃO DO CICLO DE  
DESENVOLVIMENTO DE PRODUTO COM DADOS DE CONFIABILIDADE  
ORIUNDOS DA UTILIZAÇÃO DO PRODUTO EM CAMPO**

**Ricardo Gazzana Schneider**

**Orientador: Professor Dr. Flavio Sanson Fogliatto**

**Banca Examinadora:**

**Prof. Dr. Jose Luis D. Ribeiro**

**Prof. Dr. Carla S. Ten Caten**

**Prof. Dr. Flavio Lorini**

**Trabalho de Conclusão do Curso de Mestrado Profissionalizante em Engenharia como  
requisito parcial à obtenção do título de Mestre em Engenharia – modalidade  
Profissionalizante – Ênfase Qualidade e Desenvolvimento de Produtos e Processos**

**Porto Alegre, 2001**

**Este Trabalho de Conclusão foi analisado e julgado adequado para a obtenção do título de mestre em ENGENHARIA e aprovada em sua forma final pelo orientador e pelo coordenador do Mestrado Profissionalizante em Engenharia, Escola de Engenharia, Universidade Federal do Rio Grande do Sul.**

---

**Prof. Flavio Sanson Fogliatto**

Orientador  
Escola de Engenharia  
Universidade Federal do Rio Grande do Sul

---

**Prof<sup>a</sup>. Helena Beatriz Bettella Cybis**

Coordenadora  
Mestrado Profissionalizante em Engenharia  
Escola de Engenharia  
Universidade Federal do Rio Grande do Sul

BANCA EXAMINADORA

**Prof. Jose Luis D. Ribeiro**  
PPGEP/UFRGS

**Prof. Carla S. Ten Caten**  
PPGEP/UFRGS

**Prof. Flavio Lorini**  
DEMEC/UFRGS

## ÍNDICE

LISTA DE FIGURAS .....	vi
LISTA DE TABELAS .....	vii
RESUMO .....	viii
ABSTRACT .....	ix
1 INTRODUÇÃO.....	10
1.1 COMENTÁRIOS INICIAIS .....	10
1.2 TEMA E JUSTIFICATIVA .....	11
1.3 OBJETIVO .....	11
1.4 MÉTODO DE TRABALHO .....	12
1.5 ESTRUTURA DO TRABALHO .....	13
1.6 LIMITAÇÕES.....	13
2 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA.....	14
2.1 COMPARAÇÃO ENTRE O SISTEMA DE DESENVOLVIMENTO DE PRODUTOS E O PROPOSTO PELA QS-9000.....	14
2.2 DESENVOLVIMENTO DO PROJETO DO PRODUTO.....	17
2.2.1 DEFINIÇÃO DO CONCEITO / PLANEJAMENTO DO PROJETO.....	17
2.2.1.1 DESDOBRAMENTO DA FUNÇÃO QUALIDADE .....	17
2.2.2 PROJETO E DESENVOLVIMENTO DO PRODUTO OU SERVIÇO .....	27
2.2.2.1 ANÁLISE DOS MODOS E EFEITOS DE FALHAS DE PROJETO (DFMEA)....	27
2.2.3 PROJETO E DESENVOLVIMENTO DO PROCESSO.....	39
2.2.3.1 FLUXO DO PROCESSO.....	40
2.2.3.2 ANÁLISE DOS MODOS E EFEITOS DE FALHA DO PROCESSO .....	44
2.2.3.3 PLANO DE CONTROLE PRELIMINAR.....	49
2.2.4 VALIDAÇÃO DO PRODUTO E PROCESSO.....	55
2.2.5 PRODUÇÃO, VENDA E UTILIZAÇÃO DO PRODUTO PELO CLIENTE.....	56
2.3 CONFIABILIDADE DO PRODUTO.....	57
2.3.1 DEFINIÇÃO DO CONCEITO DE CONFIABILIDADE .....	57
2.3.2 ESTIMATIVAS DE CONFIABILIDADE .....	58
2.3.3 DISTRIBUIÇÕES ESTATÍSTICAS .....	59
2.3.4 TRUNCAMENTO DE DADOS .....	63

3 METODOLOGIA PARA RETROALIMENTAÇÃO DO CICLO DE DESENVOLVIMENTO DE PRODUTO COM DADOS DE CONFIABILIDADE ORIUNDOS DA UTILIZAÇÃO DO PRODUTO EM CAMPO ...	65
3.1 COLETA DE DADOS .....	67
3.2 ESTRATIFICAÇÃO DOS DADOS DE RECLAMAÇÕES NO SAC .....	67
3.3 ESTIMAÇÃO DA FUNÇÃO DE CONFIABILIDADE .....	68
3.4 RETROALIMENTAÇÃO DO QFD.....	69
3.5 RETROALIMENTAÇÃO DO DFMEA.....	73
3.6 RETROALIMENTAÇÃO DO PFMEA .....	74
3.7 AVALIAÇÃO DOS RESULTADOS .....	75
4 CASO PRÁTICO: RETROALIMENTAÇÃO DO PROJETO DO SISTEMA DE BOMBA HIDRÁULICA EM UM VEÍCULO MOVIDO COM UM MOTOR DIESEL .	77
4.1 COLETA DE DADOS .....	79
4.2 ESTRATIFICAÇÃO DOS DADOS DE RECLAMAÇÕES NO SAC .....	80
4.3 ESTIMAÇÃO DA FUNÇÃO DE CONFIABILIDADE .....	81
4.4 REAVALIAÇÃO DO QFD .....	84
4.5 REAVALIAÇÃO DO DFMEA .....	85
4.6 REAVALIAÇÃO DO PFMEA .....	88
4.7 AVALIAÇÃO DOS RESULTADOS .....	91
5 COMENTÁRIOS FINAIS .....	92
5.1 CONCLUSÕES.....	92
5.2 SUGESTÕES PARA TRABALHOS FUTUROS .....	93
REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS .....	94

## LISTA DE FIGURAS

Figura 1 – Ciclo de desenvolvimento do produto (Santos, 1996) .....	15
Figura 2 – Planejamento do produto (AIAG, 1995).....	16
Figura 3 – Matriz genérica de desdobramento da qualidade do produto .....	20
Figura 4 – Relacionamento das matrizes da qualidade (adaptado de Eureka, 1992).....	21
Figura 5 – Exemplo de QFD para projetos de novo tipo de motor Diesel (Empresa, 1999) .	26
Figura 6 – Exemplo de diagrama de blocos do funcionamento do sistema de alimentação de uma turbina de motor Diesel (Empresa, 1999) .....	30
Figura 7 – Modelo de DFMEA .....	31
Figura 8 – DFMEA de bomba hidráulica de motor Diesel (Empresa, 1999) .....	38
Figura 9 – Exemplo de diagrama de processos (Empresa, 2000).....	42
Figura 10 – Exemplo de carta de processos (Empresa, 2000).....	43
Figura 11 – Exemplo de PFMEA da montagem da turbina (Empresa, 1999) .....	48
Figura 12 – Modelo de plano de controle (AIAG, 1995) .....	50
Figura 13 – Exemplo de plano de controle (Empresa, 1999) .....	54
Figura 14 – Distribuição Normal (Spall, 1999).....	60
Figura 15 – Distribuição Weibull (Spall, 1999) .....	61
Figura 16 – Distribuição Gama (Spall, 1999).....	61
Figura 17 – Distribuição Log-Normal (Spall, 1999) .....	61
Figura 18 – Distribuição Exponencial (Spall, 1999) .....	62
Figura 19 – Matriz genérica do desdobramento dos defeitos .....	70
Figura 20 – Esquema genérico da metodologia proposta .....	76
Figura 21 – Sistema bomba hidráulica .....	78
Figura 22 – Histograma de falhas da bomba hidráulica .....	81
Figura 23 – Gráfico da função de confiabilidade .....	82
Figura 24 – Gráfico da função de risco .....	83
Figura 25 – Exemplo de QFD das partes.....	85
Figura 26 – DFMEA após retroalimentação.....	87
Figura 27 – PFMEA após retroalimentação .....	90

## LISTA DE TABELAS

Tabela 1 – Exemplo de desdobramento de itens de qualidade demandada .....	19
Tabela 2 – Escala da importância da característica de qualidade demandada (Ribeiro <i>et al.</i> , 1998).....	21
Tabela 3 – Exemplo de desdobramento de itens de qualidade demandada .....	22
Tabela 4 – Escala da avaliação estratégica (Ribeiro <i>et al.</i> , 1998).....	23
Tabela 5 – Escala da avaliação competitiva (Ribeiro <i>et al.</i> , 1998).....	23
Tabela 6 – Escala da intensidade das relações da qualidade demandada (Ribeiro <i>et al.</i> , 1998).....	24
Tabela 7 – Escala da dificuldade de atuação (Ribeiro <i>et al.</i> , 1998).....	24
Tabela 8 – Escala sugerida para avaliação da severidade dos modos de falha ( <i>FMEA – Reference Manual</i> (AIAG, 1995)).....	33
Tabela 9 – Escala sugerida para avaliação da ocorrência dos modos de falha ( <i>FMEA – Reference Manual</i> (AIAG, 1995) .....	34
Tabela 10 – Escala sugerida para avaliação da detecção dos modos de falha ( <i>FMEA – Reference Manual</i> (AIAG, 1995) .....	35
Tabela 11 – Escala sugerida para avaliação da severidade dos modos de falha ( <i>FMEA – Reference Manual</i> (AIAG, 1995) .....	45
Tabela 12 – Escala sugerida para avaliação da ocorrência dos modos de falha ( <i>FMEA – Reference Manual</i> (AIAG, 1995) .....	46
Tabela 13 – Escala sugerida para avaliação da detecção dos modos de falha ( <i>FMEA – Reference Manual</i> (AIAG, 1995) .....	47
Tabela 14 – Funções de $f(t)$ , $R(t)$ , $h(t)$ e $MTTF$ para variáveis aleatórias segundo distribuições Normal, Weibull, Gama, Log-Normal e Exponencial.....	63
Tabela 15 – Escala sugerida para taxa da falha .....	71
Tabela 16 – Dados de falha da bomba hidráulica.....	80

## RESUMO

Esta dissertação apresenta uma metodologia de retroalimentação do ciclo de desenvolvimento de produtos, com ênfase na fase de projeto, a partir de dados obtidos em estudos de confiabilidade. A metodologia é proposta com base no escopo da norma QS-9000, norma esta que vem sendo utilizada por fornecedores e sub-fornecedores da indústria automobilística no mundo inteiro. Um estudo de caso permitiu que a metodologia fosse implementada em uma empresa certificada na norma. São aplicadas retroalimentações em ferramentas como Desdobramento da Função Qualidade (QFD), Análise dos Modos e Efeitos de Falha de Produto (DFMEA) e de Processo (PFMEA). Os resultados obtidos demonstraram que a metodologia de retroalimentação proposta é uma ferramenta útil na maturação de um produto, através da utilização dos dados de falhas em campo, bem como no momento do desenvolvimento de um produto novo, que irá suceder o atual, através da utilização da voz do cliente e dos dados de falha em campo de forma ordenada.



## **ABSTRACT**

This thesis presents a methodology for improving the product development cycle of consolidated products using reliability field data. The methodology is based on the QS-9000 standards, which has been used by suppliers and sub-suppliers in the automobile industry all over the world. A case study illustrates the utilization of the methodology proposed in a company certified by the QS-9000 standards. The improvements proposed here consist of retro-feeding of field information in typical product development tools such as the Quality Function Deployment (QFD), Design Failure Modes and Effects Analysis (DFMEA) and Process Failure Modes and Effects Analysis (PFMEA). Results obtained demonstrated that the methodology proposed may be a useful tool in product consolidation, through the utilization of field data failures, and also in new product development through recognition of customer demands.

## **1 INTRODUÇÃO**

### **1.1 *Comentários iniciais***

As metodologias de desenvolvimento de produtos utilizadas atualmente contemplam desde a etapa inicial do ciclo de desenvolvimento, usando o cliente como fonte de informação, até a etapa final, executando-se testes de validação do produto e disponibilizando-o para venda. Empresas do setor automotivo vem cada vez mais se valendo de sistemas de qualidade exigidos por montadoras, como, por exemplo, o sistema proposto pela norma QS-9000 e desenvolvendo os seus produtos no escopo desta norma (AIAG, 1998).

Os sistemas de desenvolvimento de produtos enfatizam, em sua maioria, a etapa de projeto do produto, reforçando a importância das especificações definidas para cada tipo de sistema. A satisfação do cliente é o objetivo principal; outros objetivos costumam incluir a redução de custos e a obtenção de produtos robustos.

Nos sistemas de desenvolvimento de produtos atualmente difundidos na indústria, um tema pouco abordado tem sido a utilização de dados de campo para subsidiar o projeto com informações sobre durabilidade do produto, bem como a avaliação do cliente acerca de características específicas do produto. A presente dissertação propõe um método para inclusão da informação obtida do cliente em campo no ciclo desenvolvimento de produtos utilizado no setor automotivo. A partir da análise dos dados de campo, transformam-se estatisticamente os dados em indicadores quantitativos da qualidade do produto inicialmente desenvolvido, permitindo assim a utilização destas informações em ações corretivas no produto atual e a eliminação das deficiências de projeto no desenvolvimento de novos produtos.

## ***1.2 Tema e justificativa***

A partir de revisão bibliográfica, constatou-se a existência de uma lacuna no ciclo de desenvolvimento de novos produtos em muitas empresas. Dificilmente são levadas em conta, de forma sistemática, as fragilidades encontradas pelos clientes nos produtos desenvolvidos pelas empresas no desenvolvimento de produtos similares. O desenvolvimento do método aqui proposto também foi motivado por constatações empíricas feitas pelo autor em empresas do setor automotivo. Existe, nestas empresas, uma alta reincidência de fragilidades nos produtos por elas desenvolvidos. Em outras palavras, além de não encontrar-se explicitado, nestas empresas, um procedimento que permita a incorporação de informações de campo, obtidas para um determinado produto, em seu aperfeiçoamento ou mesmo no desenvolvimento de produtos similares, as empresas avaliadas pelo autor não beneficiam-se do *learning by doing*.

A utilização da estatística, através de estudos de confiabilidade do produto em campo, traz para a retroalimentação do ciclo de desenvolvimento de produtos, informações baseadas em dados reais. Os dados, oriundos de bancos de dados organizados e de Serviços de Atendimento a Clientes, fornecem a visão de como o produto se comporta nas mãos do usuário final. Tal informação deverá balizar as alterações promovidas no produto ou em seu processo de fabricação, a fim de eliminar deficiências no projeto do produto.

## ***1.3 Objetivo***

O presente trabalho traz como objetivo principal definir e estabelecer um método para retroalimentação do ciclo de desenvolvimento de produtos, com ênfase na etapa de projeto, utilizando dados de desempenho do produto em campo.

Dentre os objetivos secundários, listam-se:

- i) A elaboração de uma revisão bibliográfica sobre as ferramentas e procedimentos que compõem o ciclo de desenvolvimento de produtos proposto pela norma QS-9000;

- ii) Consolidar a metodologia proposta através de um estudo de caso em uma empresa do setor automotivo.

#### ***1.4 Método de Trabalho***

Esta dissertação apresenta um trabalho de caráter exploratório (Patton *apud* Roesch, 1994), que utiliza-se de um estudo de caso (Yin, 1994). A partir da análise das ferramentas e procedimentos que compõem o ciclo de desenvolvimento de produtos proposto na norma QS-9000, buscou-se alternativas frente às suas limitações, em particular no que diz respeito a utilização de dados de campo no aprimoramento de produtos já consolidados e no desenvolvimento de novos produtos similares aos já existentes

O trabalho de apresentação da metodologia aqui proposta tem início com uma revisão detalhada da literatura, abordando o ciclo de desenvolvimento de produtos utilizado em empresas certificadas na norma QS-9000.

Após a apresentação da metodologia, desenvolve-se a implementação da mesma com um estudo de caso prático, a fim de exemplificar e elucidar o método. Desenvolve-se a metodologia segundo sete etapas: (i) Coleta de dados, através de um Serviço de Atendimento ao Consumidor, (ii) Estratificação dos dados de reclamações no SAC, buscando agrupar as falhas por subsistemas dentro do produto, (iii) Estimação da função de confiabilidade, através de modelagem estatística dos dados (iv) Retroalimentação do QFD, construindo a matriz das partes, (v) Retroalimentação do DFMEA, usando-se a taxa de falhas em comparação com o manual de referência da QS-9000 (vi) Retroalimentação do PFMEA, da mesma forma como no DFMEA, e (vii) Avaliação dos resultados, buscando-se direcionar as ações corretivas no projeto de acordo com os resultados obtidos nas fases anteriores. No estudo de caso, avaliam-se as etapas do ciclo de desenvolvimento de um produto atualmente comercializado pela empresa, organizam-se os dados de desempenho em campo disponíveis para o produto em questão e testa-se a sua utilização na metodologia proposta.

Por fim, com base na revisão bibliográfica e nas informações oriundas da implementação da metodologia elaboram-se as conclusões e sugestões para trabalhos futuros.

### ***1.5 Estrutura do trabalho***

O desenvolvimento da metodologia e a sua implementação através de um caso prático está dividido em quatro fases, como segue:

1. Fase de Pesquisa: Consiste na revisão bibliográfica sobre o assunto, a fim de buscar a maior quantidade de informações possível sobre o ciclo de projeto usual (Capítulo 2).
2. Fase de Apresentação da Metodologia: A proposta da metodologia é apresentada, estabelecendo as condições mínimas para sua utilização e esclarecendo a forma como será conduzido o estudo de caso (Capítulo 3).
3. Fase de Ação: A Fase de Ação traz a implementação da metodologia proposta conforme apontado na etapa anterior em um estudo de caso (Capítulo 4).
4. Fase de Análise dos Resultados: resultados obtidos no estudo de caso são analisados criticamente (Capítulo 5).

### ***1.6 Limitações***

Este documento se limita apresentar o caso prático de forma parcial, uma vez que a implementação do referido sistema na sua totalidade se dará em um prazo médio a longo, o que inviabilizaria a conclusão deste trabalho em tempo hábil.

Outra limitação é a particularidade de cada empresa em contemplar as recomendações que serão apresentadas. Como já foi registrado, cada empresa possui uma sistemática de trabalho e, apesar do sistema ser bastante abrangente, adaptações da metodologia para utilização em situações específicas serão necessárias.

## **2 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA**

Neste capítulo são apresentados os fundamentos do desenvolvimento de produto, segundo a norma QS-9000 (AIAG, 1998). A metodologia sugerida pela QS-9000 é seguida por fornecedores diretos das empresas que compõem o grupo chamado "The Big Three": Ford, General Motors e Chrysler. Neste capítulo também são revisadas noções de confiabilidade do produto e cálculo de tempos médios até a falha.

O capítulo tem sua estrutura montada segundo o desenvolvimento de produto sugerido no manual do APQP – *Reference Manual* (AIAG, 1995). O item 2.1 apresenta uma breve comparação entre um sistema de desenvolvimento de produtos e o proposto pela norma QS-9000. O item 2.2 traz o desenvolvimento do projeto do produto, dividido em sub-itens. O sub-item 2.2.1 trata da definição do conceito; o sub-item 2.2.2 trata do projeto e desenvolvimento do produto ou serviço; o sub-item 2.2.3 trata do desenvolvimento do processo. O sub-item 2.2.4 trata da validação do produto e do processo, e o sub-item 2.2.5 trata da produção, venda e utilização do produto pelo cliente. Finalmente o item 2.3 apresenta a revisão bibliográfica de confiabilidade do produto.

### **2.1 Comparação Entre o Sistema de Desenvolvimento de Produtos e o Proposto pela QS-9000**

Há uma variedade de métodos de projeto utilizadas atualmente. Dentre estes métodos, pode-se ressaltar dois: (i) métodos que seguem uma seqüência em cadeia onde uma etapa afetarà direta ou indiretamente a etapa seguinte (Diban & Gontijo, 1999), e (ii) métodos que usam a simultaneidade de etapas.

Uma seqüência de etapas tradicional utilizada no desenvolvimento de produtos é designada por "jogue por cima do muro" (Juran *apud* Santos, 1996), sendo apresentada na Figura 1:

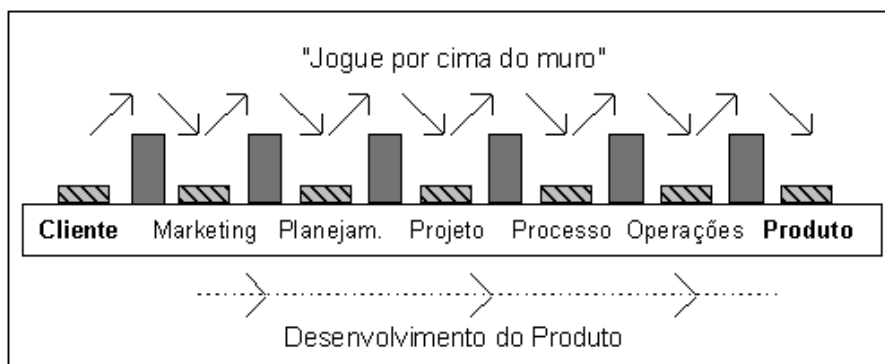


Figura 1. Ciclo de desenvolvimento de produto (Santos, 1996).

O modelo apresentado acima mostra um sistema de desenvolvimento do produto onde as etapas do desenvolvimento são todas contempladas, mas sem maiores interações entre os diversos departamentos da empresa. Após uma etapa de pesquisa com o cliente, o produto é desenvolvido e somente após o término desta etapa o processo de fabricação é desenvolvido. Devido a isto, o sistema é designado como "jogue por cima do muro", pois cada setor entrega seu "pacote" ao próximo setor, dando continuidade ao desenvolvimento do produto.

Algumas deficiências do modelo na Figura 1 são (Santos, 1996): (i) dificuldade de comunicação entre departamentos; (ii) tendência para otimizações setoriais do projeto; (iii) ignorância das reais necessidades do cliente, pela Engenharia e pela Produção; e (iv) tempo excessivamente longo, até o final do projeto.

Atualmente, conforme sugerido no manual do APQP - *Reference Manual* (AIAG, 1995), um dos sete manuais de referência das normas QS-9000, o ciclo de desenvolvimento de um produto pode ser dividido em várias etapas, que se interagem em pontos adequados. Conforme visto na Figura 2, as etapas de planejamento e operacionalização do desenvolvimento do produto tem seu foco na prevenção de defeitos, conduzido pela Engenharia Simultânea.

O conceito de Engenharia Simultânea é dominante em todos os ciclos do projeto. A Engenharia Simultânea tem como característica a transposição das estruturas administrativas funcionais para a administração por processos, através de equipes multifuncionais realizando atividades de projeto e produção paralelamente (Menegon & Andrade, 1998). Entenda-se aqui equipe multifuncional por uma equipe formada por representantes dos diversos setores que compõem uma empresa, como manufatura, engenharia, compras, controle de qualidade, vendas, etc.

A Figura 2 ilustra o fluxo de desenvolvimento de um produto nos padrões do manual do APQP - *Reference Manual* (AIAG, 1995)

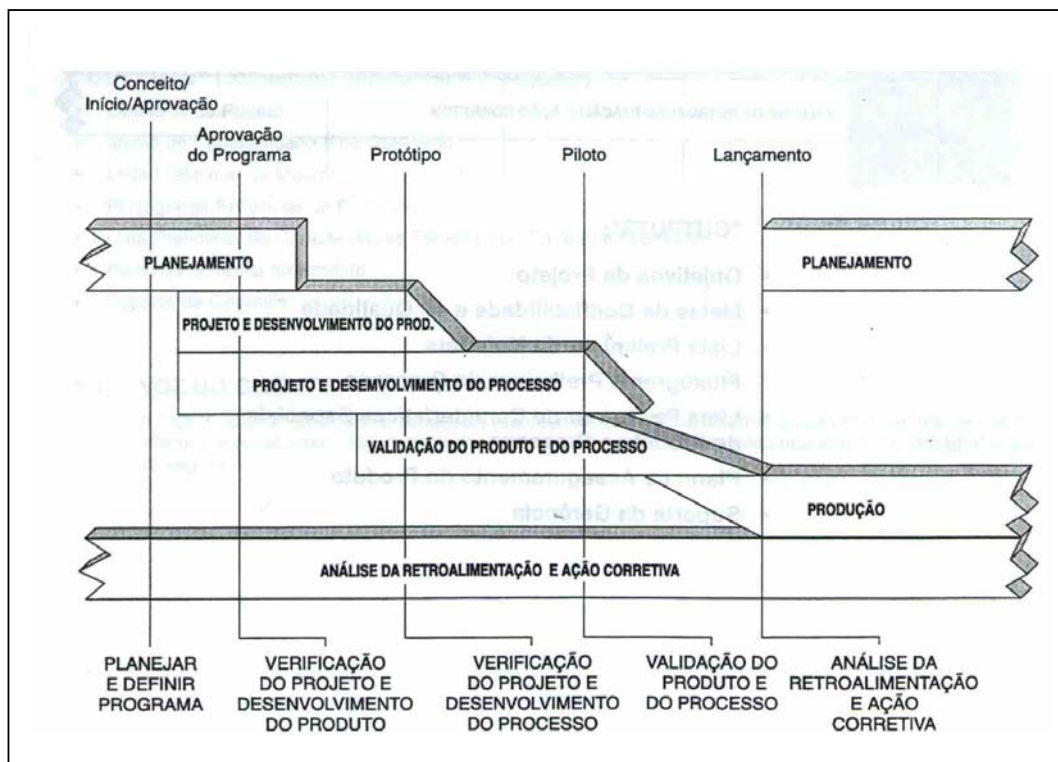


Figura 2. Planejamento da qualidade do produto (AIAG, 1995)

A norma QS-9000 (AIAG, 1998) compõe-se de um conjunto de diretrizes para mensuração e monitoramento da qualidade em processos produtivos, com origem da indústria automobilística norte-americana. O ciclo de desenvolvimento de produto proposto na QS-9000 e ilustrado na Figura 2 será utilizado como base teórica da metodologia proposta nesta dissertação.

## 2.2 Desenvolvimento do projeto do produto

### 2.2.1 Definição do conceito / Planejamento do projeto



Como pode ser visto na Fig. 2, a fase inicial, de planejamento e desenvolvimento do conceito do projeto balizará todo o andamento do projeto. Deste modo, o dados de entrada do projeto (*inputs*) deverão ser de acordo com o tipo de produto a ser desenvolvido.

Segundo o *APQP - Reference Manual* (AIAG, 1995), alguns *inputs* podem ser:

- Voz do cliente;
- Estratégia de mercado;
- *Benchmarks* (situação da concorrência).

#### **2.2.1.1 Desdobramento da Função Qualidade**

O projeto de novos produtos de acordo com a voz do cliente foi solucionado através do uso de uma técnica chamada de Desdobramento da Função Qualidade (QFD). A metodologia do QFD visa atender dois propósitos específicos: (i) auxiliar o processo de desenvolvimento do produto através do entendimento das necessidades do cliente e (ii) garantir a qualidade do produto em desenvolvimento durante seu projeto (Rutkowski, 1997). O QFD é um sistema que objetiva especificamente a satisfação do cliente (Mazur, 1999). Esta ferramenta será detalhada nesta seção.

O QFD foi desenvolvido no fim da década de 60 no Japão. Foi concebido como um método para garantir qualidade em um sistema de Gerenciamento Total da Qualidade iniciado durante a fase de desenvolvimento de um novo produto (Akao *et al.*, 1999).

Atualmente, o QFD vem sendo amplamente utilizado no apoio ao desenvolvimento de novos produtos. As preocupações hoje existentes nas organizações não refletem somente o fator da obtenção do lucro, apesar deste ser primordial para sua sobrevivência. Elas são mais amplas, envolvendo itens como por exemplo o planejamento e controle da qualidade de processos, produtos ou serviços (Ribeiro *et al* 1998).

O QFD é uma ferramenta de análise da decisão que inicia a partir de uma pesquisa de mercado adequadamente estruturada. O grupo multifuncional previamente definido e

responsável pelo desenvolvimento do projeto e do produto identifica, a partir dos resultados da pesquisa, as reais necessidades dos clientes. Tal coleta de informações traz ao contexto do projeto um ponto de vista diferenciado: o ponto de vista do usuário. O usuário (cliente que irá adquirir e conviver com o produto ou serviço) tem carências e expectativas que devem ser minimamente contempladas pelo projeto. Todavia, a satisfação total do cliente só ocorre quando o produto exceder suas expectativas.

O QFD é desenvolvido através de um conjunto de matrizes (Akaó *apud* Ferreira, 1997). Nestas matrizes são estabelecidas relações entre características de qualidade demandadas pelo cliente e características de qualidade do produto, do processo, serviços, recursos humanos e recursos globais. Essas relações permitem determinar os elementos do produto e de seu processo de manufatura responsáveis pela obtenção da qualidade demandada pelo cliente.

Através da pesquisa de mercado, identifica-se as necessidades do cliente a serem utilizadas como dados de entrada na primeira matriz do QFD. Nesta matriz é feito o cruzamento entre os itens de qualidade demandada pelo cliente e as características de qualidade correspondentes a estes itens. As informações da pesquisa de mercado são estratificadas e transformadas em dados quantitativos, para tratamento estatístico posterior. As necessidades dos clientes são desdobradas em itens de nível primário, secundário e terciário. A qualidade demandada pelos clientes, dessa forma, é organizada hierarquicamente; a estrutura resultante é denominada árvore da qualidade demandada. Aos itens da árvore são atribuídos pesos absolutos, resultantes de tratamento estatístico dos dados quantitativos associados a cada item.

Essa etapa inicial do QFD, delineada acima, vem ilustrada a seguir através de um exemplo de QFD realizado com clientes potenciais para a compra de motores Diesel para *pick-ups* de médio porte. Após realização de uma pesquisa de mercado, chegou-se ao seguinte desdobramento de itens de qualidade demandada, com as respectivas frequências:

Tabela 1. Exemplo de desdobramento de itens de qualidade demandada (Empresa, 1999).

Nível Primário	Nível Secundário	Nível Terciário	Frequência
Características mecânicas	Potência	Boa retomada com carga total	9%
	Consumo	Baixo consumo	12%
	Durabilidade	Mínimo 150000 km	13%
		Primeira revisão aos 15000 km	11%
Características de acabamento	Aspecto	Robusto	5%
	Tamanho físico	Compacto no compartimento da pick-up	9%
Características diversas	Facilidade de manutenção	Fácil acesso aos componentes principais	15%
	Condições do Mercosul	Que trabalhe em grandes altitudes	13%
		Que tenha partida a frio imediata no inverno	13%

Os itens de qualidade demandada identificados na Tabela 1 serão convertidos, na montagem da matriz da qualidade do QFD, nas características de qualidade. A cada item de qualidade demandada corresponderá uma ou mais características de qualidade. As características de qualidade são a tradução da voz do cliente na linguagem técnica aplicada ao produto ou serviço em desenvolvimento. As características de qualidade são identificados de acordo com o conhecimento do grupo de desenvolvimento do projeto.

Para auxiliar o entendimento da ferramenta, é apresentado abaixo um exemplo ilustrativo de uma matriz de QFD genérica. Os itens que compõem o preenchimento da matriz serão detalhados no decorrer desta seção. A Figura 3 traz um exemplo genérico da matriz de desdobramento da qualidade.

	Característica de qualidade 1 $DQ_{ij}$	Característica de qualidade 2	Característica de qualidade 3	Característica de qualidade 4	Característica de qualidade 5	Importância $ID_i$	Avaliação Estratégica $E_i$	Avaliação Competitiva $M_i$	Priorização $ID_i^*$
Qualidade Demandada 1	$DQ_{ij}$								
Qualidade Demandada 2									
Qualidade Demandada 3									
Qualidade Demandada 4									
Qualidade Demandada 5									
Qualidade Demandada 6									
Qualidade Demandada 7									
Qualidade Demandada 8									
Qualidade Demandada 9									
Qualidade Demandada 10									
Especificações									
Importância das C.Q. $IQ_j$									
Análise Competitiva $B_j$									
Dificuldade de Atuação $D_j$									
Priorização das C.Q. $IQ_j^*$									

Figura 3. Matriz genérica de desdobramento da qualidade do produto.

As matrizes de desdobramento do produto, do processo, dos serviços e dos recursos são realizadas de maneira análoga a que será detalhada nesta seção. O relacionamento entre as diversas matrizes do QFD pode ser visto na Figura 4.

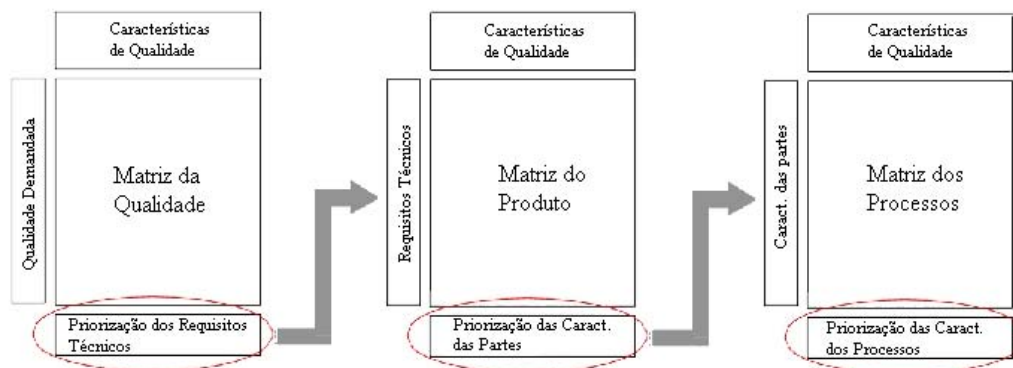


Figura 4. Relacionamento das matrizes da qualidade (adaptado de Eureka, 1992).

A cada item de qualidade demandada corresponderá a avaliação de uma pequena série de parâmetros. Os parâmetros de Importância, Avaliação Estratégica, e Avaliação Competitiva irão gerar subsídios para posterior Priorização de cada item de qualidade demandada. A seguir são apresentadas as escalas a serem adotadas nas avaliações de Importância, Avaliação Estratégica, e Avaliação Competitiva. A apresentação está baseada em Ribeiro *et al.*, 1998.

- Importância do item ( $ID_i$ ): A avaliação da importância do  $i^{\text{ésimo}}$  item de qualidade demandada é realizada levando-se em conta a relação de importância que o cliente apresentou na pesquisa de mercado. Aos maiores valores percentuais obtidos na pesquisa de mercado atribui-se a maior avaliação de importância, seguindo-se decrescentemente, até os itens de importância pequena. A escala para avaliação está apresentada na Tabela 2:

Tabela 2. Escala da importância da qualidade demandada

Valor	Descrição
0.5	Importância pequena
1	Importância média
2	Importância grande

Um exemplo de avaliação da importância do item pode ser visto abaixo (Tabela 3). Os valores de frequência foram convertidos em valores absolutos, de acordo a escala mostrada na Tabela 2.

Tabela 3. Exemplo de desdobramento de itens de qualidade demandada

	Importância	Peso/100		Importância	Peso/100		Importância	Peso/100 ID <sub>i</sub>
Características mecânicas	2.0	45	Potência	1.0	9	Boa retomada com carga total	1.0	9
			Consumo	2.0	12	Baixo consumo	2.0	12
			Durabilidade	2.0	24	Mínimo 150000 km	2.0	13
						Primeira revisão aos 15000 km	2.0	11
Características de acabamento	1.0	14	Aspecto	0.5	5	Robusto	0.5	5
			Tamanho físico	1.0	9	Compacto no compartimento da pick-up	1.0	9
Características diversas	2.0	41	Facilidade de manutenção	2.0	15	Fácil acesso aos componentes principais	2.0	15
			Condições climáticas e ambientais do Mercosul	2.0	26	Que trabalhe em grandes altitudes	2.0	13
						Que tenha partida a frio imediata no inverno	2.0	13

- Avaliação estratégica ( $E_i$ ): A avaliação estratégica do  $i^{\text{ésimo}}$  item de qualidade demandada é realizada de acordo as metas definidas previamente pela empresa em seu planejamento estratégico. Nesta avaliação, consideram-se (i) a satisfação dos usuários do produto em desenvolvimento, (ii) a imagem da empresa junto a seus clientes e fornecedores, (iii) a

sobrevivência da empresa no médio e longo prazo, etc. (Fogliatto e Guimarães, 1999). A escala para avaliação está apresentada na Tabela 4:

Tabela 4. Escala da Avaliação estratégica

Valor	Descrição
0.5	Importância pequena
1	Importância média
2	Importância grande

- Avaliação competitiva ( $M_i$ ): A avaliação competitiva do  $i^{\text{ésimo}}$  item de qualidade demandada é realizada em uma comparação com a concorrência, do ponto de vista comercial. Neste momento é importante o julgamento realmente isento, avaliando como o produto está posicionado relativamente a concorrência. A escala para avaliação está apresentada na Tabela 5:

Tabela 5. Escala da Avaliação Competitiva

Valor	Descrição
0.5	Acima da concorrência
1.0	Similar a concorrência
1.5	Abaixo da concorrência
2.0	Muito abaixo da concorrência

Priorização da qualidade demandada ( $ID_i^*$ ): O índice de importância corrigido para o  $i^{\text{ésimo}}$  item de qualidade demandada levará em consideração a voz do cliente e a avaliação da empresa, segundo suas metas (avaliação estratégica) e sua concorrência (avaliação competitiva). O índice de importância corrigido será calculado segundo a fórmula abaixo:

$$ID_i^* = ID_i \times \sqrt{E_i} \times \sqrt{M_i} \quad (1)$$

Deste modo, os índices calculados na priorização da qualidade demandada irão formar um *ranking*, que irá classificar os itens de qualidade demandada em ordem de importância, priorizando os itens que realmente irão agregar valor ao produto.

Relacionamento da qualidade demandada com características de qualidade ( $DQ_{ij}$ ): A relação da qualidade demandada pelo cliente com as características de qualidade é realizado através de uma quantificação da força da correlação entre cada item de qualidade demandada com cada característica de qualidade. O relacionamento entre os elementos nas linhas e colunas da matriz poderá ser mensurado, e classificado segundo a escala apresentada na Tabela 6:

Tabela 6. Escala da intensidade das relações da qualidade demandada

Valor	Descrição
9	Relação forte
3	Relação média
1	Relação fraca

Finalizada a etapa de preenchimento da matriz da qualidade, pode-se agora dar início a etapa de priorização das características de qualidade.

Na etapa seguinte, cada característica de qualidade será quantificada quanto a (i) Dificuldade de Atuação, (ii) Importância, (iii) Avaliação Competitiva. A priorização das características de qualidade será o resultado desta atividade. Uma descrição de cada critério e das escalas utilizadas em sua medição vem apresentada abaixo.

- Dificuldade de atuação ( $D_j$ ): A dificuldade de atuação sobre a característica de qualidade será aqui mensurada segundo a escala apresentada na Tabela 7:

Tabela 7. Escala da dificuldade de atuação

Valor	Descrição
0.5	Muito difícil
1	Difícil
2	Moderado

- Importância das características de qualidade ( $IQ_j$ ): A avaliação da importância do  $i^{\text{ésimo}}$  item de característica de qualidade é realizada de acordo com a fórmula a seguir:



$$IQ_j = \sum_{i=1} ID_i^* \times DQ_{ij} \quad (2)$$

- Avaliação competitiva ( $B_j$ ): Novamente aqui será feita uma avaliação contra a concorrência, de acordo com os parâmetros técnicos de cada característica de qualidade. A avaliação deve ser coerente com a avaliação comercial realizada anteriormente. Poderá ser utilizado aqui a mesma escala utilizada anteriormente e apresentada na Tabela 3:

Priorização das características de qualidade ( $IQ_j^*$ ): As características de qualidade terão seu índice de importância corrigido utilizando-se os dados de classificação definidos na avaliação da dificuldade de atuação ( $D_j$ ) e avaliação competitiva ( $B_j$ ), segundo a fórmula abaixo:

$$IQ_j^* = IQ_j \times \sqrt{D_j} \times \sqrt{B_j} \quad (3)$$

O índice calculado acima poderá fornecer um *ranking* das características de qualidade que irão impactar na satisfação dos clientes, agregando valor ao produto em desenvolvimento.

O desdobramento da qualidade demandada pelo cliente em itens de qualidade é finalizado aqui. De acordo com a Figura 4, o desdobramento da função qualidade tem sua seqüência desenvolvida através do desdobramento da qualidade nas matrizes do produto, dos processo, dos serviços, dos recursos, etc. Este desdobramento não apresentado aqui por ser análogo com o método descrito acima.

O resultado final do estudo de QFD consiste em uma diagramação ordenada e ponderada dos pontos a serem priorizados no produto e em seu processo de manufatura, de forma a assegurar a qualidade desejada pelos clientes. O QFD resulta em incremento da competitividade do produto e da empresa.

Abaixo (Figura 5) pode-se verificar um exemplo de QFD. Alguns elementos do exemplo foram previamente utilizados na Tabela 3. A matriz apresentada refere-se ao desdobramento da voz do cliente em características de qualidade (ou seja, a primeira das matrizes do QFD na Figura 4).

	Torque elevado	Litragem baixa	Confiabilidade	Resistente	Volume (tamanho)	Numero de subsistemas	Pressão do turbo	Assistência hidráulica	Importância IDi	Avaliação Estratégica Ei	Avaliação Competitiva Mi	Priorização IDi*
Boa retomada com carga total	9	9		1	3		9		1,0	2,0	1,0	1,414
Baixo consumo	9	9		3	1		3		2,0	1,0	1,5	2,449
Durabilidade mínima 150000km			9	9		3			2,0	2,0	1,0	2,828
Primeira revisão aos 15000km			9	9		3			2,0	2,0	1,0	2,828
Robustez		3	3	9	3	9			0,5	1,0	1,0	0,5
Compacto no compartimento		3			9	3			1,0	1,0	1,5	1,225
Fácil acesso a compon. principais		1			3	9			2,0	1,5	1,0	2,449
Que trabalhe em grandes altitudes	9	3	1	1			9		2,0	2,0	1,0	2,828
Boa dirigibilidade						1		9	1,0	1,5	0,5	0,866
Especificações	48mkgf mínimo	2,5L máximo	2500h mínimo	2500 h mínimo	0,25 m <sup>3</sup>	20 máximo	1 a 4 bar	Item de série				
Importância das C.Q. $IQ_j$	60,2	50,9	55,2	67	26,6	48,9	45,5	7,79				
Análise Competitiva $B_j$	1,0	1,0	0,5	0,5	1,5	1,0	1,0	1,0				
Dificuldade de Atuação $D_j$	1,5	1,0	1,0	1,0	0,5	0,5	2,0	2,0				
Priorização das C.Q. $IQ_j^*$	73,8	50,9	39,1	47,4	23,0	34,0	64,4	11,0				

Figura 5. Exemplo de QFD para projeto de novo tipo de motor Diesel (Empresa, 1999)

Interpretando-se os resultados na Figura 5, os valores de maior ordem na Priorização das Características de Qualidade serão os itens que deverão receber maiores recursos pela equipe que está desenvolvendo o produto. Por exemplo, a característica "Torque elevado" recebeu a maior pontuação nesta matriz. Logo, esta deverá ser a característica fundamental para o projeto, uma vez que o cliente a solicitou e a empresa, após toda a avaliação realizada, a definiu como primordial no desempenho do produto.

A característica "Pressão no Turbo", por sua vez, foi classificada como a segunda mais importante. Deste modo, esta característica deverá ser priorizada como segunda opção, pois foi o item seguinte na avaliação desta matriz.

Seguindo-se o raciocínio acima, as características de qualidade foram ordenadas após o extenso trabalho de ponderação. O foco do time que está desenvolvendo o produto será guiado pelas avaliações obtidas na priorização das características de qualidade, alocando-se maiores esforços nos itens que realmente foram valorizados pelo cliente e pelas metas da empresa.

### **2.2.2 Projeto e desenvolvimento do produto ou serviço**

Uma vez estabelecido o conceito do produto ou serviço a ser desenvolvido, o passo seguinte no desenvolvimento do projeto é o desenvolvimento do produto (ver Fig. 2). Segundo o *APQP - Reference Manual* (AIAG, 1994), alguns dados de entrada para esta fase podem incluir: (i) Metas do projeto; (ii) Características específicas do produto; e (iii) Metas de garantia do produto. Dados de saída, por sua vez, podem incluir: (i) Análise dos Modos e Efeitos de Falhas de Projeto (DFMEA); (ii) Especificações de Engenharia; e (iii) Construção de um protótipo

Na seqüência apresenta-se uma introdução ao FMEA, uma das técnicas mencionadas acima. Demais itens mencionados não serão abordados, por serem específicos a cada tipo de projeto, não permitindo uma apresentação genérica satisfatória.

#### **2.2.2.1 Análise dos Modos e Efeitos de Falhas de Projeto (DFMEA)**

A Análise dos Modos e Efeitos de Falhas (FMEA) é uma técnica bastante genérica, aplicável a maioria dos projetos a serem desenvolvidos. O FMEA, uma das primeiras técnicas de análise de falhas em confiabilidade, foi desenvolvida por engenheiros de confiabilidade por volta do final dos anos 50 para estudar problemas que poderiam surgir devido a falhas de funcionamento em sistemas militares (Hoyland & Rausand, 1994).

Antes de iniciar a abordagem do FMEA, é necessário introduzir o conceito de falha. A falha de um item é definida como “o término da habilidade do item para desenvolver uma função requerida” (*British Standard BS 4778 apud Hoyland & Rausand, 1994*). Da mesma

forma, modo de falha é definido como “o efeito pelo qual uma falha é observada no item” (EuReDatA *apud* Hoyland & Rausand, 1994)

Por definição, o FMEA é uma metodologia desenvolvida para maximizar a satisfação do cliente, eliminando e/ou reduzindo problemas potenciais ou previamente conhecidos. É a seqüência do trabalho realizado na etapa anterior, onde foi realizado o QFD. O FMEA deve ser iniciado a cada nova informação conhecida a respeito do produto, seja através de um estudo de QFD, relatórios de falhas, etc (Stamatis, 1995). O propósito desta atualização é manter o FMEA como um documento que reflita o último estágio de desenvolvimento do produto, bem como as ações relevantes, incluindo as ocorrências registradas após o início da produção (AIAG, 1995).

Alguns objetivos do FMEA são os seguintes (Hoyland & Rausand, 1994): (i) assegurar que todas os modos de falhas e seus efeitos ao sistema foram considerados; (ii) listar potenciais falhas, e a magnitude de seus efeitos; e (iii) prever bases para estabelecer prioridades nas ações corretivas

Há quatro tipos de FMEAs (Stamatis, 1995): (i) FMEA de sistema, usado para analisar sistemas e subsistemas no estágio de concepção do produto; (ii) FMEA de produto (DFMEA), usado para minimizar os efeitos de falhas no projeto do produto; (iii) FMEA de processo (PFMEA), que ajuda a prevenir falhas de processo de fabricação; e (iv) FMEA de serviço, que analisa os modos de falhas em prestação de serviços.

O FMEA pode ser conduzido a partir de duas abordagens: *Bottom-up* e *Top-down*. A abordagem *Bottom-up* inicia o estudo do produto ao nível de componente. A abordagem *Top-down* inicia o estudo do produto ao nível de sistema, descendo até o nível de componente (Hoyland & Rausand, 1994).

Nesta etapa do desenvolvimento do produto, será realizado o FMEA de produto ou DFMEA (*Design Mode and Effect Analysis*). Para o correto desenvolvimento de um DFMEA, utiliza-se uma metodologia sistematizada em oito passos (Stamatis, 1995): (i) Seleção do time multidisciplinar de projeto; (ii) Elaboração do diagrama funcional de blocos; (iii) Priorização

das partes a serem analisadas; (iv) Coleta de dados históricos de falhas; (v) Análise dos dados coletados; (vi) Execução das análises dos modos e efeitos de falha; (vii) Confirmação / avaliação / medição dos resultados da etapa anterior; e (viii) Repetição das análises, atendendo o propósito da melhoria contínua. Estas etapas são abordadas na seqüência.

- Seleção do time multidisciplinar de projeto:

O time multidisciplinar de projeto será selecionado de acordo com a diversidade dos setores da empresa. O time deve incluir um representante de cada área relevante ao produto proposto (Engenharia de produto, Engenharia de qualidade, Manufatura, etc.).

- Elaboração do diagrama funcional de blocos:

O diagrama funcional de blocos é aplicável aos FMEAs de produto e de sistema. Para os FMEAs de processos e de serviços, um fluxograma dos processos é recomendado (Stamatis, 1995).

A idéia básica do diagrama de blocos é mapear o produto, a fim de colocar todos os participantes do time em um mesmo nível de informação sobre suas características. O diagrama de blocos fornece uma visão e um modelo das inter-relações entre os sistemas, subsistemas e componentes do produto (ver Elsayed, 1996). A Figura 6 exemplifica um diagrama de blocos do funcionamento do sistema de alimentação de uma turbina de motor Diesel.

Há questionamentos freqüentes sobre qual parte é importante, ou por onde o time deve iniciar suas atividades (Stamatis, 1995). A priorização do estudo efetivamente irá fornecer subsídios para que o este seja dirigido onde realmente há necessidade. Esta necessidade pode ser indicada pelo cliente, por custos de garantia, ou outra forma de aquisição de informação, de modo que possa balizar o estudo.

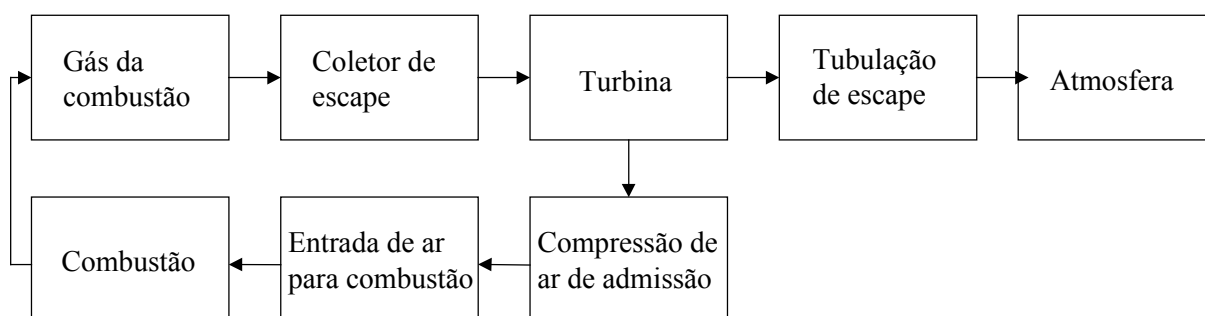


Figura 6. Exemplo de diagrama de blocos do funcionamento do sistema de alimentação de uma turbina de motor Diesel (Empresa, 1999)

- Priorização das partes a serem analisadas no produto

- Coleta de dados de histórico de falhas

Neste ponto, o time deve iniciar o levantamento de falhas anteriores, ocorridas com o produto e registradas em um banco de dados históricos. As falhas, após estratificação pelo modos de falha, auxiliarão na identificação dos modos de falha pertinentes ao produto, dando início ao estudo de DFMEA.

- Análise dos dados coletados

Após a estratificação dos dados, cabe ao time iniciar a análise das possíveis causas de cada modo de falha. São válidas aqui as mais diversas técnicas, como *brainstorming* (ver Osborn, 1963), análise de causa-e-efeito (ver Kume, 1993), QFD (ver Akao, 1990), modelagem matemática (ver Montgomery & Peck, 1992), simulação (ver Law & Kelton, 2000), e qualquer outras técnicas que o time considerar pertinente (Stamatis, 1995).

- Execução das análises dos modos e efeitos de falha

O registro das informações de um estudo de DFMEA é realizado em uma planilha. Para um melhor entendimento da técnica utilizada na elaboração do DFMEA, será apresentado uma planilha (Figura 7) como modelo genérico para aplicação da ferramenta. O modelo será usado para guiar o desenvolvimento deste tópico.

<b>FMEA DE PROJETO</b> <b>ANÁLISE DO MODO E EFEITO DE FALHAS</b>													NÚMERO DO FMEA : (1) PÁGINA __ DE __				
SISTEMA: (4)										DATA: (2)			REVISÃO: (3)				
SUBSISTEMA: (5)										ELABORADO POR (TIME): (5)							
COMPONENTE: (6)																	
DESCRIÇÃO DO SUBSISTEMA E OBJETIVO DO SUBSISTEMA	MODO DA FALHA POTENCIAL	EFEITO POTENCIAL	S E V E R	C L A S	CAUSA POTENCIAL	O C O R	C O N T R O L E	D E T E C	R P N	AÇÕES RECOMENDADAS	RESPONSÁVEL E CRONOGRAMA	AÇÕES TOMADAS E DATA	S E V E R	O C O R	D E T E C	R P N	
(7)	(8)	(9)	(10)	(11)	(12)	(13)	(14)	(15)	(16)	(17)	(18)	(19)	(20)				

Figura 7. Modelo de DFMEA

De acordo com o modelo apresentado na Figura 7, é apresentado na seqüência cada item relevante, conforme relacionados com a numeração apresentada (Ribeiro & Fogliatto, 1998).

- (1) Número do FMEA: Identifica o número de registro interno do FMEA, para fins de controle de documentação;
- (2) Data: Este campo identifica a data em que o FMEA sofreu sua revisão;
- (3) Revisão: Campo destinado a registrar o estágio revisional do documento;
- (4) Sistema: Identifica o produto que está sendo estudado;
- (5) Subsistema: Identifica o subconjunto que opera dentro do sistema;
- (6) Componente: Identifica o componente que opera dentro do subconjunto, que por sua vez faz parte do produto em desenvolvimento
- (7) Descrição do Subsistema e Objetivo do Subsistema: Descreve o item que poderá apresentar a falha potencial;
- (8) Modo da Falha Potencial: Este campo descreve a forma com que o objeto em questão poderá apresentar a falha;
- (9) Efeito Potencial: Descreve o efeito que o modo de falha potencial apresenta, ou seja, de que forma a falha se manifesta sobre o funcionamento do produto;
- (10) Severidade: O critério severidade quantifica a gravidade do efeito da falha potencial, analisando o efeito da falha e seu impacto no funcionamento do sistema. A severidade da falha só pode ser modificada alterando-se o projeto, por se tratar de uma característica intrínseca ao subsistema analisado. Dentre os critérios utilizados no DFMEA, a severidade merece atenção especial, já que a subestimativa de um parâmetro de severidade pode comprometer todo o sistema.

A escala de avaliação da severidade sugerido pela QS-9000 para o DFMEA pode ser vista na Tabela 8.



Tabela 8. Escala sugerida para avaliação da severidade do efeito de falha (*FMEA - Reference Manual* (AIAG, 1995))

<b>Efeito</b>	<b>Severidade do Efeito</b>	<b>Escala</b>
Arriscado Sem aviso	Severidade muito alta quando o modo potencial de falha afeta a segurança e/ou envolve desacordo com normas governamentais sem aviso prévio da falha	10
Arriscado Com aviso	Severidade muito alta quando o modo potencial de falha afeta a segurança e/ou envolve desacordo com normas governamentais com aviso prévio da falha	9
Muito alto	Item inoperante, com perda das funções primárias	8
Alto	Item inoperante, mas com redução no nível de <i>performance</i> . Consumidor insatisfeito	7
Moderado	Item operante, mas itens de conforto inoperante. Consumidor desconfortável	6
Baixo	Item operante, mas itens de conforto operando em níveis reduzidos de <i>performance</i> . Consumidor com alguma insatisfação	5
Muito baixo	Itens de ajuste e acabamento não conformes. Defeitos revelados pela maioria dos consumidores	4
Mínimo	Itens de ajuste e acabamento não conformes. Defeitos revelados por alguns consumidores	3
Muito mínimo	Itens de ajuste e acabamento não conformes. Defeitos revelados por consumidores isolados	2
Nenhum	Sem efeito	1

- (11) Classificação: O efeito da falha deve ser classificado quanto a sua criticidade. Se a falha for crítica, esta poderá comprometer a segurança de operação do equipamento, ou comprometer o atendimento às normas previstas em legislação aplicável ao produto em desenvolvimento. Quando o modo de falha for classificado como crítico, este receberá neste campo a identificação com o caracter ∇.
- (12) Causa Potencial: Este campo destina-se a descrição da causa potencial, que ocasiona o modo de falha em estudo.
- (13) Ocorrência: O critério ocorrência traduz de forma qualitativa a probabilidade de acontecimento do modo de falha do produto. A avaliação da ocorrência da falha deve ser bastante criteriosa, pois a sub-estimativa deste parâmetro poderá acarretar em taxas de

falhas não previstas. Taxas de falhas elevadas não são bem-vindas no desenvolvimento de um projeto, uma vez que estamos tratando de maximizar a confiabilidade do produto.

A Tabela 9 mostra a sugestão da QS-9000 para avaliação da ocorrência no DFMEA:

Tabela 9. Escala sugerida para avaliação da ocorrência dos modos de falha (*FMEA - Reference Manual* (AIAG, 1994))

<b>Probabilidade de Falha</b>	<b>Possíveis Taxas de Falha</b>	<b>Escala</b>
Muito alta:	$\geq 1$ em 2	10
Falha é quase inevitável	1 em 3	9
Alta:	1 em 8	8
Falhas repetidas	1 em 20	7
Moderada:	1 em 80	6
Falhas ocasionais	1 em 400	5
	1 em 2000	4
Baixa:	1 em 15000	3
Relativamente poucas falhas	1 em 150000	2
Remota	$\leq 1$ em 1500000	1

- (14) Controle: O campo controle destina-se ao registro de quais formas serão adotadas para identificar e evitar a falha do item em questão
- (15) Detecção: O critério de detecção é o indicador da capacidade do sistema em desenvolvimento detectar o modo de falha potencial, antes do componente ou sistema realmente falhar (AIAG, 1995). Uma detecção baixa indica que o sistema poderá parar sem dar um prévio aviso. Dependendo da severidade atribuída ao evento, pode-se estar correndo um grande risco de permitir uma falha catastrófica. Logo, a definição dos índices de detecção deve ser realizada com bastante ponderação, evitando-se superestimar o produto em análise.

A QS-9000 recomenda a avaliação da detecção para o DFMEA conforme a Tabela 10.

Tabela 10. Escala sugerida para avaliação da detecção dos modos de falha (*FMEA - Reference Manual* (AIAG, 1995))

<b>Detecção</b>	<b>Detecção do Modo de Falha</b>	<b>Escala</b>
-----------------	----------------------------------	---------------

Absolutamente incerto	Controle de projeto não detectará uma potencial causa/mecanismo e subsequente modo de falha; ou não há controle de projeto	10
Muito remoto	Chance muito remota do controle de projeto detectar uma causa potencial/mecanismo de modo de falha subsequente	9
Remoto	Chance remota do controle de projeto detectar uma causa potencial/mecanismo e falha subsequente	8
Muito baixo	Chance muito baixa do controle de projeto detectar uma causa potencial/mecanismo e falha subsequente	7
Baixo	Chance baixa do controle de projeto detectar uma causa potencial/mecanismo e falha subsequente	6
Moderado	Chance moderada do controle de projeto detectar uma causa potencial/mecanismo e falha subsequente	5
Altamente moderado	Chance altamente moderada do controle de projeto detectar uma causa potencial/mecanismo e falha subsequente	4
Alto	Alta chance do controle de projeto detectar uma causa potencial/mecanismo e falha subsequente	3
Muito alto	Muito alta chance do controle de projeto detectar uma causa potencial/mecanismo e falha subsequente	2
Quase certo	Chance quase certa do controle de projeto detectar uma causa potencial/mecanismo e falha subsequente	1

(16) RPN: O Grau de Risco Potencial (RPN) é um índice que prioriza as ações corretivas a serem tomadas sobre os modos de falha do DFMEA, utilizando a avaliação de cada modo relativamente aos critérios de Severidade, Ocorrência e Detecção acima. A expressão matemática do RPN é dada por:

$$\mathbf{RPN = Severidade \times Ocorrência \times Detecção} \quad (4)$$

O grupo multidisciplinar que está participando da elaboração do DFMEA deve priorizar suas ações levando-se em conta o RPN. Este, que varia decrescentemente de 1000 a 1, evidencia a maior gravidade da situação para os maiores valores.

O RPN, em conjunto com a *severidade*, irá definir onde tomar as primeiras ações corretivas para criar um projeto robusto. O *FMEA - Reference Manual* (AIAG, 1995) sugere que RPN's acima de 100 e/ou severidades acima de 8 tenham ações corretivas no projeto, a fim de minimizar a gravidade da falha identificada no estudo.

- (17) Ações recomendadas: Descreve quais ações devem ser tomadas pela equipe de desenvolvimento do projeto para minimizar os critérios de severidade, ocorrência e detecção. As ações a serem tomadas devem atender a escala estabelecida pelos valores de RPN encontrados, de forma decrescente;
- (18) Responsável e Cronograma: Registra-se aqui quem ou qual grupo de profissionais irá executar as ações recomendadas, bem como o registro da data prevista para implementação das ações;
- (19) Ações tomadas e data: Descreve quais ações foram realmente adotadas, bem como a data em que entraram em vigor;
- (20) Severidade / Ocorrência / Detecção: Avaliar novamente os critérios de severidade, ocorrência e detecção, para verificar se o RPN é compatível com o do restante do projeto.

Finalizada a etapa de desenvolvimento e registro do DFMEA, o time deverá continuar seguindo a metodologia apresentada acima, proposta por Stamatis (1995).

- Confirmação / avaliação / medição: Após o registro dos resultados da etapa anterior, o time deve avaliar o sucesso ou falha do desenvolvimento do DFMEA, através de três questões básicas (Stamatis, 1995): (i) A situação é melhor que antes? (ii) A situação é pior que antes? (iii) A situação é a mesma que antes?

As ações a serem tomadas pelo time que está desenvolvendo o produto serão baseadas nos resultados obtidos neste estágio.

- Repetição das análises, atendendo o propósito da melhoria contínua: Uma vez finalizado o estudo de FMEA, o time deve executar a depuração do trabalho, atentando para o princípio básico do FMEA e da norma QS-9000, que é a melhoria contínua.

A seguir é apresentado um exemplo de DFMEA (Figura 8). O DFMEA apresentado mostra os modos de falha previstos para uma bomba hidráulica de um veículo de médio porte, como uma *pick-up*. O DFMEA foi realizado conforme a metodologia apresentada acima. Cada modo de falha teve suas avaliações quanto a severidade, ocorrência e detecção registradas no documento.

FMEA DE PROJETO ANÁLISE DO MODO E EFEITO DE FALHAS														NÚMERO DO FMEA : 1000		
SISTEMA: Motor HS											DATA: 11/11/99			REVISÃO: 03		
SUBSISTEMA: Bomba hidráulica											ELABORADO POR (TIME): A.M.B.; R.T.; L.R.; R.R.					
COMPONENTE: T Bba hidráulica																
DESCRIÇÃO DO SUBSISTEMA E OBJETIVO DO SUBSISTEMA	MODO DA FALHA POTENCIAL	EFEITO POTENCIAL	S E V E R	C L A S S	CAUSA POTENCIAL	O C O R R	CONTROLE	D E T E C	R P N	AÇÕES RECOMENDADAS	RESPONSÁVEL E CRONOGRAMA	AÇÕES TOMADAS E DATA	S E V E R	O C O R R	D E T E C	R P N
Bomba Hidráulica	Aquecimento	Direção fica "pesada"	5		Aquecimento do líquido hidráulico	4	Testes do fornecedor da bomba / Validação do produto	3	60							
	Soltura do eixo	Veículo fica sem direção (direção fica muito "pesada")	9	▽	Projeto da bomba sub- dimensionado	1	Tecnologia do fornecedor Testes de homologação	2	18							
	Perda de eficiência da bomba	Veículo fica sem direção (direção fica muito "pesada")	9	▽	Vazamento interno	3	Teste de ho- mologação da aplicação	2	54							

Figura 8. DFMEA de Bomba Hidráulica de Motor Diesel (Empresa, 1999)

Como registrado no exemplo apresentado na Figura 8, o time multidisciplinar que está conduzindo o desenvolvimento do produto deve concentrar seus esforços prioritariamente no que diz respeito ao aquecimento da bomba hidráulica. Esta situação é indesejável, pois apresentou o maior índice de RPN. Em segunda colocação no *ranking* ficou a o modo de falha da perda de eficiência devido a vazamento interno, e posteriormente o modo de falha pertinente ao sub-dimensionamento da bomba, que resultará em perda da direção do veículo (direção “pesada”).

Deste modo, o *ranking* que surge após o estudo de DFMEA poderá direcionar os esforços da equipe para o fortalecimento do produto, minimizando suas fragilidades e agregando valor ao produto.

O DFMEA é uma técnica auxiliar no desenvolvimento do projeto do produto. O projeto, além do auxílio de técnicas específicas, deve ser conduzido por profissionais que tenham o conhecimento necessário à magnitude do produto em desenvolvimento. É fundamental o conhecimento prático e experimental dos projetistas (Chedier & Naveiro, 1999)

Novamente aqui é reforçado o conceito de Engenharia Simultânea apresentado anteriormente, onde traz-se ao desenvolvimento do produto a participação de vários especialistas, a fim de integrar ao projeto visões de diferentes profissionais através de equipes multidisciplinares (Fabrício *et al*, 1999).

### **2.2.3 Projeto e desenvolvimento do processo**

A fase de desenvolvimento do processo de fabricação (quando não estamos tratando de desenvolvimento de prestação de serviços) prevê que o sistema de manufatura deve assegurar os requisitos do cliente (APQP- *Reference Manual* (AIAG, 1995)). Alguns *inputs* aplicáveis a este estágio do projeto são:

- QFD
- FMEA de projeto (DFMEA)
- Especificações de engenharia
- Características específicas do produto

Da mesma forma, alguns *outputs* esperados nesta fase são:

- Fluxograma do processo
- Análise dos Modos e Efeitos de Falha do Processo (PFMEA)
- Instruções de processo
- Plano de Controle preliminar

Os *inputs* QFD e DFMEA foram apresentados em 2.2.1.1 e 2.2.2.1. Os *inputs* especificações de engenharia e características críticas do produto não serão discutidos neste documento por se tratarem de *inputs* específicos para cada tipo de projeto.

O desenvolvimento dos *outputs* fluxograma de processo e PFMEA serão vistos nesta seção, bem como o plano de controle. O *output* instruções de processo, da mesma forma que registrado acima, não será discutido por se tratar de uma particularidade de cada tipo de projeto e de cada empresa que irá executar a manufatura do produto em desenvolvimento.

### ***2.2.3.1 Fluxo do processo***

O fluxo de processo, é uma peça fundamental no desenvolvimento do projeto, pois com base nele será realizada toda a fabricação do produto em desenvolvimento.

Um fluxograma de processo adequadamente detalhado pode ser usado para analisar fontes de variações de máquinas, materiais, métodos e mão-de-obra do início ao final do processo de manufatura (APQP - *Reference Manual* (AIAG, 1995)).



O planejamento do processo de fabricação deve levar em conta as discussões mais relevantes na área de Administração /Engenharia de produção, tais como (Torres *et al.*, 1999):

- O planejamento em detalhes das operações em chão-de-fábrica, complementando e minimizando as deficiências dos sistemas de planejamento macro;
- A utilização da sincronização da manufatura para diminuição das perdas no sistema produtivo;
- O acompanhamento dos indicadores locais de produtividade, que vão de encontro as metas de melhoria do desempenho global da empresa;
- A necessidade de quebra dos paradigmas da produção, visando uma melhor resposta do sistema da empresa a velocidade do mercado.

Duas abordagens diferentes, mas complementares, podem ser usadas para desenvolvimentos de processos: (i) Reengenharia de processos e (ii) Melhoria de processos (Krajewski & Ritzman, 1999). As duas abordagens pressupõem que já exista um processo de fabricação existente, seja ele na empresa que desenvolve o projeto, ou em uma empresa *benchmark*.

De acordo com a primeira abordagem, a da reengenharia de processos, é fundamental uma reavaliação dos processos, a fim de otimizar drasticamente o desempenho do processo em termos de custo, qualidade, serviço e velocidade (Krajewski & Ritzman, 1999). Reengenharia de processos requer foco no processo, através de equipes multifuncionais, tecnologia, liderança e análise do processo.

A segunda abordagem, da melhoria de processos, usa o propósito de "aprender os números", entender o processo, e averiguar os detalhes. Uma vez entendido o processo, ele pode ser melhorado. Segundo Krajewski & Ritzman (1999), há duas técnicas básicas para analisar o processo: (i) diagramas de processo e (ii) cartas de processo. Os diagramas de processo podem ser entendidos como fluxogramas que detalham graficamente a seqüência do processo de fabricação, enquanto que as cartas de processo definem exatamente o processo executado em cada etapa do decorrer do mesmo.

A Figura 9 apresenta um exemplo de diagrama de processo, com a simbologia tradicionalmente utilizada para representação dos passos do processo (Krajewski & Ritzman, 1999):

Passo	Tempo (min)	Operação ●	Transporte ∅	Inspeção ■	Atraso/Espera ≈	Armazenamento θ	Descrição
1	1,5	X					Entrada do bloco do motor na montagem
2	1,0		X				Transporte
3	4,0	X					Montagem do virabrequim, pistão e biela
4	1,0		X				Transporte
5	3,0	X					Montagem da caixa frontal
6	1,0		X				Transporte
7	4,5	X					Montagem do cârter e volante
8	1,0		X				Transporte
9	2,5	X					Montagem do cabeçote
10	1,5			X			Inspeção do sincronismo do motor
11	1,0		X				Transporte
12	3,5	X					Montagem das tubulações de água e combustível
13	1,0		X				Transporte
14	3,0	X					Preparação para o teste do motor
15	1,0				X		Espera para entrar no teste do motor
16	4,5			X			Teste do motor
17	1,0		X				Transporte
18	4,0	X					Acabamento
19	1,0		X				Transporte
20	3,0					X	Despacho

Figura 9. Exemplo de Diagrama de Processos (Empresa, 2000)

Um exemplo de carta de processos pode ser visto na Figura 10. A carta de processos detalha o processo com parâmetros de produto final, que caracteriza o estágio de produto acabado, bem como parâmetro de produto em processo ( $Y$ ), que é um parâmetro do produto antes de ser acabado, e parâmetros de processo ( $x(c)$ ), que traduz característica mensurável de processo (pressão, temperatura, tempo, etc), antes do produto ser acabado (Werkema, 2000)

Estas técnicas podem ser aplicadas para desenvolver novos processos e/ou readequar processos existentes (Krajewski & Ritzman, 1999).

O fluxo de processo bem estabelecido propicia uma maior rotatividade de estoques, minimizando os estoques no processo de fabricação, o que costuma ser desejável na maioria dos contextos. Por exemplo, o Sistema Toyota de Produção (Shingo, 1996), uma estratégia de gerenciamento da produção adotada por um número crescente de empresas industriais, estabelece como meta o menor estoque em processo possível.

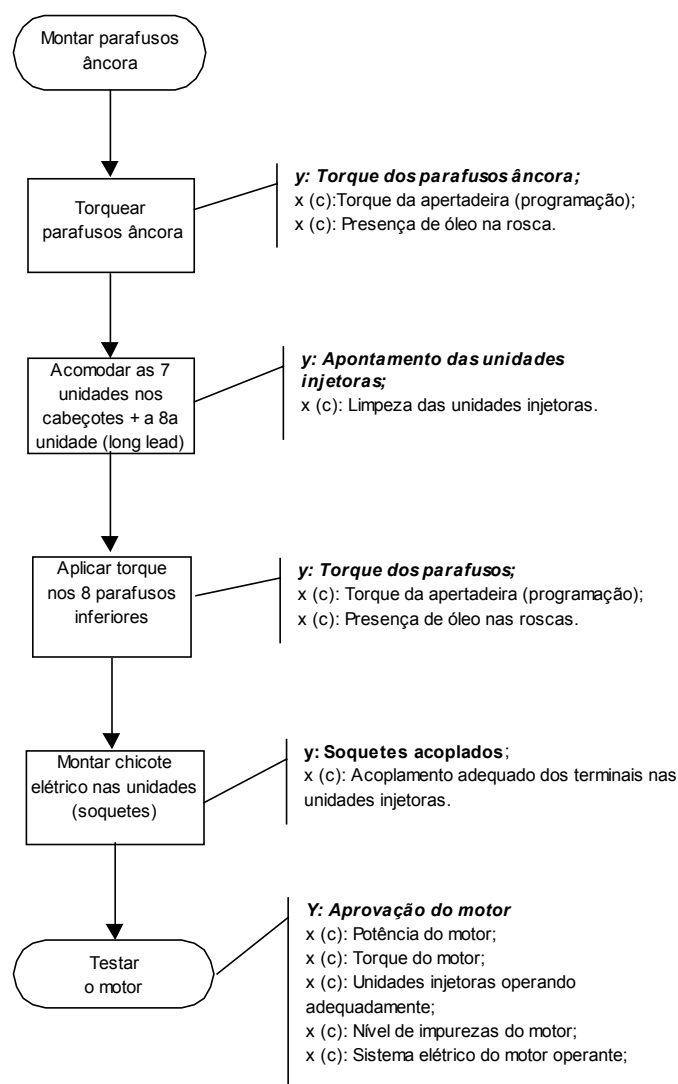


Figura 10. Exemplo de Carta de Processos (Empresa, 2000) conforme modelo proposto por Werkema (2000)

Não tratando-se apenas de projeto de processo, mas olhando-se também para o produto em desenvolvimento, percebe-se que certas otimizações no produto podem facilitar sobremaneira o processo de fabricação. O desenvolvimento do produto voltado para a montagem é chamado de *Design for Assembly*, ou DFA (Chedier & Naveiro, 1999). Alguns princípios elencados no DFA são (i) simplicidade, (ii) padronização, (iii) redução do número de peças e (iv) projetar para operações que utilizem ferramental padronizado.

A utilização de técnicas como DFA auxiliam a equipe de projeto no desenvolvimento do fluxo do processo, pois otimizará o produto em sua fase desenvolvimento, facilitando a padronização de operações.

### ***2.2.3.2 Análise dos Modos e Efeitos de Falha do Processo***

Conforme visto em 2.2.3, análise dos modos e efeitos de falha do processo (PFMEA) também é um *output* esperado para esta etapa do desenvolvimento do projeto. O PFMEA é desenvolvido de maneira semelhante ao DFMEA, respeitando-se agora as características de processo, e não mais as de projeto.

A elaboração do PFMEA é conduzida de forma análoga a apresentada para a elaboração do DFMEA (2.2.2.1), respeitando-se aqui uma nova classificação para os critérios de severidade, ocorrência e detecção. O detalhamento destes critérios é apresentado a seguir.

O critério severidade quantifica a gravidade da falha potencial no processo, analisando o efeito da falha e seu impacto no funcionamento do sistema. Da mesma forma como no DFMEA, a severidade merece atenção especial, pois sua sub-estimativa pode comprometer todo o sistema. A severidade é uma característica intrínseca do produto. Alterações na severidade da falha de processo somente podem ocorrer com alterações no projeto, tornando-o menos sensível a esta falha.

A escala para avaliação da severidade sugerida pela QS-9000 para o PFMEA pode ser visto na Tabela 11:

Tabela 11. Escala sugerida para avaliação da severidade do efeito de falha (*FMEA - Reference Manual (AIAG, 1995)*)

<b>Efeito</b>	<b>Severidade do Efeito</b>	<b>Escala</b>
Arriscado Sem aviso	Pode por em perigo a máquina ou o operador. Classificação de severidade muito alta quando um modo potencial de falha afeta segurança e/ou desacordo com regulamentações governamentais. Falha sem aviso prévio	10
Arriscado Com aviso	Pode por em perigo a máquina ou o operador. Classificação de severidade muito alta quando um modo potencial de falha afeta segurança. Falha com aviso prévio	9
Muito alto	Distúrbio maior ao produto. 100% do produto pode ser sucateado. Item inoperante, perda das funções primárias. Consumidor muito insatisfeito	8
Alto	Distúrbio menor ao produto. Produto deve ser inspecionado e uma porção (menor que 100%) sucateado. Item operante, mas com reduzido nível de performance. Consumidor insatisfeito	7
Moderado	Distúrbio menor ao produto. Uma porção (menor que 100%) do produto pode Ter que ser sucateado. Item operante, mas algum item de conforto/operabilidade inoperante. Consumido desconfortável.	6
Baixo	Distúrbio menor ao produto. 100% do produto pode ter de ser retrabalhado. Item operante, mas algum item de conforto/operabilidade trabalha em nível reduzido de performance. Consumidor com algum insatisfação	5
Muito baixo	Distúrbio menor ao produto. O produto talvez tenha que ser selecionado e uma fração retrabalhada. Itens de ajuste e acabamento não conformes. Defeito verificado pela maioria dos consumidores	4

Tabela 11. Escala sugerida para avaliação da severidade dos modos de falha (*FMEA - Reference Manual (AIAG, 1995)*) (*Continuação*)

Mínimo	Distúrbio menor ao produto. O produto talvez tenha que ser selecionado e uma fração retrabalhada na produção, mas fora da estação de trabalho. Itens de ajuste e acabamento não conformes. Defeito verificado por poucos consumidores	3
Muito mínimo	Distúrbio menor ao produto. O produto talvez tenha que ser selecionado e uma fração retrabalhada na produção na estação de trabalho. Itens de ajuste e acabamento não conformes. Defeito verificado por alguns consumidores	2
Nenhum	Sem efeito	1

Da mesma forma, a escala para avaliação da ocorrência da falha sugerida pela QS-9000 para o PFMEA pode ser visto na Tabela 12. As possíveis taxas de falha aqui apresentadas referem-se a taxas de falha do processo de manufatura do componente. As taxas de falha estão associadas ao tipo de processo de manufatura existente, de acordo com operações manuais ou robotizadas, equipamentos de maior ou menor robustez, etc.

Tabela 12. Escala sugerida para avaliação da ocorrência dos modos de falha (*FMEA - Reference Manual (AIAG, 1995)*)

<b>Probabilidade de Falha</b>	<b>Possíveis Taxas de Falha</b>	<b>Ranking</b>
Muito alta: Falha é quase inevitável	$\geq 1$ em 2	10
	1 em 3	9
Alta: Associada a processo prévio que falhou muitas vezes	1 em 8	8
	1 em 20	7
Moderada: Associada a processo prévio com falhas ocasionais, Mas em não maiores proporções	1 em 80	6
	1 em 400	5
	1 em 2000	4
Baixa: Falhas isoladas associada a processo com poucas falhas	1 em 15000	3
	1 em 150000	2
Remota: Falha incomum	$\leq 1$ em 1500000	1

A escala para avaliação da detecção sugerida pela QS-9000 para o PFMEA pode ser vista na Tabela 13. A detecção agora refere-se sobre de que modo pode-se detectar a falha internamente, antes do produto ser despachado para o cliente. Estão associadas a esta

característica inspeções internas, testes realizados rotineiramente com o produto, tanto na sua forma final como em passos intermediários em seu processo de fabricação.

Tabela 13. Escala sugerida para avaliação da detecção dos modos de falha (*FMEA - Reference Manual* (AIAG, 1995))

<b>Detecção</b>	<b>Detecção do Efeito</b>	<b>Escala</b>
Quase impossível	Não há controle capaz de detectar a falha.	10
Muito remoto	Probabilidade muito remota do controle detectar o modo de falha.	9
Remoto	Probabilidade remota do controle detectar o modo de falha.	8
Muito baixo	Probabilidade muito baixa do controle detectar o modo de falha.	7
Baixo	Probabilidade baixa do controle detectar o modo de falha.	6
Moderado	Probabilidade moderada do controle detectar o modo de falha.	5
Altamente moderado	Probabilidade razoável do controle detectar o modo de falha.	4
Alto	Probabilidade alta do controle detectar o modo de falha.	3
Muito alto	Probabilidade muito alta do controle detectar o modo de falha.	2
Quase certo	Chance quase certa do controle detectar uma causa potencial/mecanismo e falha subsequente.	1

O RPN (apresentado anteriormente em 2.2.2.1), definirá um *ranking* que irá priorizar os pontos no projeto do processo onde deve-se tomar as primeiras ações corretivas para obter uma maior robustez do processo.

A Figura 11 exemplifica o PFMEA. O exemplo traz o PFMEA da montagem da bomba hidráulica em um motor Diesel. De acordo com as avaliações de severidade, ocorrência e detecção, foram tomadas ações de contenção para os itens de maior RPN. O segundo modo de falha potencial ilustra este caso, onde foram tomadas ações de treinamento aos operadores para otimizar o critério de detecção, instruindo os operadores a checagem de suas próprias atividades.

<p style="text-align: center;"><b>FMEA DE PROJETO</b> <b>ANÁLISE DO MODO E EFEITO DE FALHAS</b></p>											<p>NÚMERO DO FMEA : (1) PÁGINA __ DE __</p>					
<p><b>SISTEMA:</b> PROCESSO DE MONTAGEM DO MOTOR</p>							<p><b>DATA:</b> 23/09/96 <b>REVISÃO:</b> 3 - (17/04/98)</p>									
<p><b>SUBSISTEMA:</b> SUB - MONTAGEM DA BOMBA HIDRAULICA E SUPORTE AUXILIAR DA Bba <b>FIXAÇÃO DOS PARAFUSOS DO SUPORTE E DA BOMBA</b></p>							<p>ELABORADO POR (TIME): GRUPO TÉCNICO HS</p>									
<p><b>COMPONENTE:</b> Parafusos de Fixação da Bomba Hidráulica e do Suporte.</p>																
DESCRIÇÃO DO SUBSISTEMA E OBJETIVO DO SUBSISTEMA	MODO DA FALHA POTENCIAL	EFEITO POTENCIAL	SEVERIDADE	CLASSIFICAÇÃO	CAUSA POTENCIAL	OCORRÊNCIA	CONTROLE	DETECÇÃO	REP. Nº	AÇÕES RECOMENDADAS	RESPONSÁVEL E CRONOGRAMA	AÇÕES TOMADAS E DATA	SEVERIDADE	OCORRÊNCIA	DETECÇÃO	REP. Nº
*Fixação dos parafusos do suporte e da bomba hidr.	*Baixo torque de fixação dos parafusos	*Soltura do suporte bba hidráulica. *Bba hidráulica não funciona. *Dirigib. veículo afetada (pesada)	9	∇	*Apertadeira regulada fora da especificação	3	*Calibração periódica *Folha de processo *Auditoria de torque-aperto *Auditoria de desmontagem após teste	2	54							
	*Montar os parafusos de fixação do suporte da Bba Hid. sem à aplicação de Loctite 271.	*Desprend/to dos paraf. do suporte. *Soltura Bba Hid. *Dirigib. veículo *Bba Hid. para de funcionar.	9	∇	*Montagem incompleta pelo operador	3	*Auditoria de desmontagem após teste *Auditoria de embarque *Folha de processo	4	108	*Re- treinamento dos operadores	*RR (10/08/96)	*Treinamento concluído em 01/08/96.	9	3	3	81

Figura 11. Exemplo de PFMEA da montagem da turbina (Empresa, 1999)



O PFMEA pode (*FMEA - Reference Manual* (AIAG, 1995)):

- 1- Identificar modos de falha potenciais do processo;
- 2- Identificar as causas potenciais da manufatura ou processo de montagem e identificar as variáveis do processo nas quais o foco do controle para reduzir ocorrência ou melhorar a detecção da condição de falha;
- 3- Documentar os resultados da manufatura ou processo de montagem.

O PFMEA é um documento que requer atualizações constantes. As melhorias de processo, as falhas identificadas durante o decorrer das operações, e a abrangência das ações corretivas sobre todos os outros pontos que podem vir a falhar com modos de falha conhecidos devem ser registrados.

#### ***2.2.3.3 Plano de controle preliminar***

Conforme visto em 2.2.3, outro *output* esperado para esta etapa do desenvolvimento do projeto é o Plano de Controle Preliminar.

O Plano de Controle estabelece todos os procedimentos de controle de processos, da qualidade das matérias-primas e dos itens acabados a serem conduzidos durante a produção do produto em desenvolvimento. Itens de inspeção, pontos do processo a serem controlados, formas de medição, a frequência e os planos de reação em caso de desacordo com as especificações devem estar claramente definidos e identificados no Plano de Controle.

De acordo com o modelo apresentado na Figura 12, é apresentado na seqüência cada item relevante, conforme relacionados com a numeração apresentada. O material foi retirado do *APQP - Reference Manual* (AIAG, 1995).

PLANO DE CONTROLE													
PROTÓTIPO		CONTATO PRINCIPAL/TELEF.				DATA (ORIGINAL)			DATA (REVISÃO)				
PRÉ-LANÇAMENTO		(1)				(2)			(4)			(5)	
PRODUÇÃO		Nº PLANO DE CONTROLE				APROVAÇÃO DA ENGENHARIA DO CLIENTE / DATA ( SE REQ. )							
NO. PEÇA / ÚLTIMO NÍVEL ALTERAÇÃO		EQUIPE PRINCIPAL				(8)							
(6)		(7)											
NOME DA PEÇA / DESCRIÇÃO		FORNECEDOR/APROVAÇÃO/DATA				APROVAÇÃO QUALIDADE DO CLIENTE / DATA ( SE REQ. )							
(9)		(10)				(11)							
FORNECEDOR / PLANTA		CÓD. FORNECEDOR		OUTRA APROV. / DATA		OUTRAS APROVAÇÕES / DATA ( SE REQ. )							
(12)		(13)		(14)		(14)							
Nº. PEÇA/ OPER.	NOME DO PROCESSO / DESCRIÇÃO DA OPERAÇÃO	MAQUINA, DISPOS./ FERR/PAD.	CARACTERÍSTICA			CLASSIF. CARACT. ESPECIAIS	MÉTODOS				PLANO DE REAÇÃO		
			Nº	PRODUTO	PROCESSO		TOLERANCIA / ESPECIFICAÇÃO	TÉCNICA DA MEDIÇÃO	AMOSTRA			MÉTODO DE CONTROLE	
(15)	(16)	(17)	(18)	(19)	(20)	(21)	(22)	(23)	(24)		(25)		(26)

Figura 12. Modelo de Plano de controle (APQP - Reference Manual (AIAG, 1995)).

- (1) Protótipo, Pré-lançamento, Produção: Indica a categoria apropriada do estágio do desenvolvimento do produto:
  - Protótipo: Plano de controle que referencia o monitoramento do processo durante a construção do protótipo;
  - Pré-lançamento: Plano de controle que referencia o monitoramento do processo após o protótipo e antes da produção normal;
  - Produção: Plano de controle que referencia o monitoramento do processo durante a produção normal.
- (2) Contato principal / Telefone: Nome e telefone do principal responsável pelo plano de controle
- (3) N° do Plano de Controle: Identifica o número do Plano de Controle (Código de documentação interna da empresa);
- (4) Data (original): Data em que o Plano de Controle foi originalmente compilado;
- (5) Data (revisão): Data da última atualização do Plano de Controle;
- (6) N° Peça / Último Nível de Alteração: Identifica o número do sistema, subsistema ou componente que está sendo controlado;
- (7) Equipe Principal: Nomes e telefones das pessoas responsáveis pela preparação do Plano de Controle;
- (8) Aprovação da Engenharia do Cliente /Data: Quando necessário, este espaço é usado para registrar a aprovação da engenharia do cliente;
- (9) Nome da peça / Descrição: Indica o nome / descrição do produto que está sendo controlado;
- (10) Fornecedor / Aprovação / Data: Indica a aprovação do responsável pela fabricação (manufatura), quando necessário;
- (11) Aprovação Qualidade do Cliente / Data: Quando necessário, este espaço é usado para registrar a aprovação da qualidade pelo cliente;
- (12) Fornecedor / Planta: Indica o nome da empresa e divisão / planta / departamento apropriado que está preparando o plano de Controle;
- (13) Cód. Fornecedor: Mostra o código com o qual o cliente referencia a empresa que está desenvolvendo o produto;
- (14) Outra Aprovação / Data: Caso necessário, este espaço mostra outras aprovações que forem acordadas com o cliente;

- (15) N° Peça / Oper.: Descreve o número da peça ou da operação do processo ao qual se refere o item do Plano de Controle;
- (16) Nome do Processo / Descrição da Operação: Descreve o nome da peça ou da operação do processo ao qual se refere o item do Plano de Controle;
- (17) Máquina, Dispositivo / Ferr / Pad.: Para cada operação descrita, identifica o equipamento de processo a ser utilizado;
- (18) N°: Identifica o número da característica controlada no Plano de Controle, para fins de referência com a documentação da empresa;
- (19) Produto: Quando o Plano de Controle referenciar características de produto (registrada em desenhos ou outros meios de informação de engenharia), esta é descrita neste campo;
- (20) Processo: Quando o Plano de Controle referenciar características de processo, esta é descrita neste campo. Uma característica de processo pode ser medida apenas quando de sua ocorrência. Pode haver uma ou mais características de processo para uma mesma característica de produto;
- (21) Classif. Caract. Especiais: Conforme indicado no DFMEA ou no PFMEA, caso a característica medida for considerada crítica, o símbolo  $\nabla$  deve aparecer neste campo;
- (22) Tolerância / Especificação: Este campo descreve qual a tolerância ou especificação da característica de produto ou de processo medida;
- (23) Técnica da medição: Identifica o sistema de medição a ser utilizado. Pode incluir dispositivos de medição, fixação, ferramentas e/ou equipamentos de ensaios requeridos para medição;
- (24) Tamanho / Freq. (amostra): Descreve qual o tamanho da amostra e com que frequência a medição deve ser realizada;
- (25) Plano de Reação: O Plano de Reação especifica as ações corretivas necessárias para evitar a produção de produtos não-conformes ou operações fora de controle.

A QS-9000 (AIAG, 1998) é muito clara no seu texto: Os Planos de Controle devem ser desenvolvidos e implementados nas áreas com base no DFMEA e no PFMEA.

Na área de inspeção de recebimento de matéria-prima, o Plano de Controle referencia o tamanho de amostra para cada item e a frequência de inspeção de cada um. Os dados de tamanho de amostragem podem ser encontrados em literatura específica, como NBR 5426. Por outro lado, o plano de controle da manufatura referencia cada característica controlada no processo produtivo. Estas características devem ter sua frequência de amostragem e tamanho de amostra definidos pela equipe de projeto.

A Figura 13 exemplifica o Plano de Controle: O Plano de Controle apresentado no exemplo ilustra o Plano de Controle de processo da montagem da bomba hidráulica em motores Diesel. O Plano de Controle mostra os pontos do processo produtivo onde deve-se executar inspeção 100%, onde deve-se ter Controle Estatístico (ver Montgomery, 1985), as técnicas de medição utilizadas e o plano de reação caso alguma medida encontre-se fora dos limites de especificação existentes.

PLANO DE CONTROLE												
PROTÓTIPO		CONTATO PRINCIPAL/TELEF.					DATA (ORIGINAL)		DATA (REVISÃO)			
PRÉ-LANÇAMENTO		RGSchneider					15/04/96		04/07/00		12	
PRODUÇÃO		Nº PLANO DE CONTROLE CP-01					APROVAÇÃO DA ENGENHARIA DO CLIENTE / DATA ( SE REQ. )					
NO. PEÇA / ÚLTIMO NÍVEL ALTERAÇÃO 8985/84, 8A46/47/48/36/37/38/39/40/56/75/76, 8A84, 8A79/82/86, 8B14, 8A77, 8B30, 8B31		EQUIPE PRINCIPAL CMR, AB, RR, RGS										
NOME DA PEÇA / DESCRIÇÃO MOTOR HS		FORNECEDOR/APROVAÇÃO/DATA					APROVAÇÃO QUALIDADE DO CLIENTE / DATA ( SE REQ. )					
FORNECEDOR / PLANTA		CÓD. FORNECEDOR			OUTRA APROV. / DATA			OUTRAS APROVAÇÕES / DATA ( SE REQ. )				
Nº. PEÇA/ OPER.	NOME DO PROCESSO / DESCRIÇÃO DA OPERAÇÃO	MAQUINA, DISPOS./ FERR/PAD.	CARACTERÍSTICA			CLASSIF. CARACT. ESPECIAIS	MÉTODOS				PLANO DE REAÇÃO	
			Nº	PRODUTO	PROCESSO		TOLERANCIA / ESPECIFICAÇÃO	TÉCNICA DA MEDIÇÃO	AMOSTRA			METODO DE CONTROLE
SM-110	SM-BOMBA HIDRÁULICA	Apertadeira Elétrica		Torque dos pa- raf. da bomba. (sup.) + loctite		∇	26 a 34 Nm	Equip. medição de torque dinâ- mico.	4 med	dia	CEP	Ajustar máquina. Refazer operação Rech. mot.montados
					Sequência de aperto.		-	Visual	100%	100%	Folha de Processo	Refazer operação. Rechecar.
	SM-BOMBA D' ÁGUA	Apertadeira Elétrica		Torque dos pa- raf. da bomba.		◇	22 à 28 Nm	Equip. medição de torque dinâ- mico.	5 med	dia	CEP	Ajustar máquina. Rechecar motores montados.
					Sequência de aperto.		-	Visual	100%	100%	Folha de Processo e Controle	Refazer operação. Rechecar.
	SM-SUORTE AUXILIAR	Apertadeira Pneumática		Torque do prisioneiro		∇	13 à 17 Nm	Equip. medição de torque dinâ- mico.	3 med	sem.	CEP	Ajustar máquina. Rechecar motores montados.

Figura 13. Exemplo de Plano de Controle (Empresa, 1999)

#### 2.2.4 Validação do produto e processo

Voltando-se a Figura 2, passa-se agora para a fase de validação do produto e processos. Esta seção está construída embasada no APQP – *Reference Manual* (AIAG, 1995).

Após o desenvolvimento do produto e do processo de fabricação, é necessário executar a validação dos mesmos. Para isto, alguns *inputs* são necessários:

- Fluxo de processo
- PFMEA
- Plano de Controle preliminar
- Instruções de processo

De maneira análoga, os *outputs* esperados são:

- Fabricação do lote piloto
- Aprovação dos subsistemas do produto
- Teste de validação da produção
- Plano de Controle da Produção

Durante a fabricação do lote piloto, o time que está desenvolvendo o projeto poderá validar o Plano de Controle e o Fluxo do processo. O ferramental, equipamentos e operadores definitivos devem ser utilizados, a fim de realmente testar as condições desenvolvidas para a fabricação do produto.

O APQP – *Reference Manual* (AIAG, 1995) refere-se aos testes de validação da produção como validação dos produtos fabricados com processos e ferramental definitivos.

O Plano de Controle é um documento "vivo" e deve ser continuamente atualizado para que reflita a adição/remoção de controles baseados na experiência obtida pelo time. O Plano de Controle da produção é uma extensão lógica do Plano de Controle preliminar.

### 2.2.5 *Produção, venda e utilização do produto pelo cliente*

As normas QS-9000, embasadas pelo APQP – *Reference Manual* (AIAG, 1995), prevê alguns *inputs* para esta etapa:

- Fabricação do lote piloto
- Aprovação dos subsistemas do produto
- Teste de validação da produção
- Plano de Controle da Produção

Iniciada a produção do produto, a fase em questão apresentará os seguintes *outputs*:

- Redução da variação da produção
- Satisfação do cliente
- Entrega e assistência Técnica

Neste ponto, todas as técnicas de redução da variação da produção são aplicáveis: (i) Controle Estatístico do Processo, (ii) análise e ações corretivas, (iii) melhoria contínua, etc.

O cliente, quando iniciar a utilização do produto, passará pelo chamado "momento da verdade" (Carlson *apud* Ribeiro *et al.*, 1998), que é o momento no qual ele tem o primeiro contato e inicia a formação de sua opinião a respeito do produto que acaba de adquirir. Como cada cliente tem um modo único de utilizar qualquer produto, este deve atender a todos por igual. E é isso que é esperado por cada consumidor potencial. Adquirir um aparelho ou um serviço e ter as funções primárias funcionando perfeitamente é a necessidade básica de cada cliente potencial. A conquista total do cliente será no momento em que o produto alvo de seu interesse supere as necessidades básicas, excedendo as suas expectativas a um custo acessível e compatível com a função primária que o produto deve ter.

A participação dos clientes é necessária. A avaliação da satisfação do cliente deverá ser mensurada, quer seja com uma pesquisa de mercado, como com um novo estudo de QFD.



O Prêmio Nacional da Qualidade (FPNQ, 2000) avalia as empresas candidatas quanto a três itens de determinação da satisfação dos clientes: (i) satisfação do cliente, método utilizado, frequência, validade e objetividade do método e captação das informações-chave que refletem o provável comportamento do mercado, (ii) satisfação do cliente em relação a concorrência através de estudos comparativos efetuados pela empresa e por organizações independentes, e (iii) avaliação e aperfeiçoamento de seus processos e escalas de avaliação para determinação de seus clientes.

### ***2.3 Confiabilidade do produto***

Esta seção apresenta uma breve revisão sobre conceitos de Confiabilidade. Os desenvolvimentos teóricos apresentados na seqüência estão baseados fundamentalmente nos trabalhos de Elsayed (1996), Hoyland & Rausand (1994) e Ribeiro & Fogliatto (1998). Demais referências utilizadas são apresentadas ao longo do texto.

Esta seção encontra-se dividida nos seguintes itens: o conceito de confiabilidade é apresentado no item 2.3.1. O item 2.3.2 mostra algumas estimativas de Confiabilidade. As distribuições estatísticas mais utilizadas na modelagem de dados de tempo até a falha são apresentadas no item 2.3.3. O item 2.3.4 apresenta os tipos de truncamento de dados utilizados em estudos de confiabilidade.

#### ***2.3.1 Definição do conceito de confiabilidade***

Os estudos de confiabilidade foram desenvolvidos no início da década de 1940, para utilização em equipamentos militares (Kapur & Lamberson, 1977). Atualmente, são utilizados para determinar períodos de garantia, auxiliar no desenvolvimento de produtos e para preservar o diferencial de qualidade do produto em relação a concorrência, através da determinação e estudo de componentes com maiores taxas de falha.

O conceito de confiabilidade é definido por Ribeiro & Fogliatto (1998) como “A probabilidade de um certo sistema, submetido as condições operacionais de projeto, cumprir

as funções especificadas, durante um período de tempo especificado”. Kapur & Lamberson (1977) definem confiabilidade do sistema como a probabilidade do sistema atender as suas funções pretendidas adequadamente em um intervalo de tempo especificado, quando operando em condições ambientais fixas.

A Confiabilidade de um produto pode ser analisada de uma maneira genérica, a partir de dados de desempenho do produto como um todo, ou de maneira específica, a partir de dados de desempenho de suas partes componentes. Neste trabalho, sem perda de generalidade, pressupõe-se a análise de confiabilidade no nível de componentes integrantes de um sistema.

### 2.3.2 *Estimativas de confiabilidade*

Algumas medidas estatísticas de confiabilidade são utilizadas neste trabalho: (i) função de probabilidade de falha  $F(t)$ ; (ii) função de confiabilidade  $R(t)$ ; (iii) função de risco  $h(t)$ ; e (iv) função de densidade de probabilidade  $f(t)$ ; A forma geral destas medidas é apresentada na seqüência.

A Função de Probabilidade de Falha  $F(t)$  determina a probabilidade do sistema falhar até um determinado tempo  $t$  (Kapur & Lamberson, 1977). A Função de Probabilidade de Falha  $F(t)$  é definida pela equação a seguir:

$$F(t) = P(t_1 \leq t \leq t_2) = \int_{t_1}^{t_2} f(u) du \quad (5)$$

Da mesma forma, a Função de Confiabilidade  $R(t)$  é definida pela equação apresentada na seqüência. A Função de Confiabilidade  $R(t)$  define a probabilidade de sucesso do sistema no tempo  $t$ , ou seja, a probabilidade do sistema desempenhar uma função pretendida até um determinado tempo  $t$  (Kapur & Lamberson, 1977).

$$R(t) = 1 - F(t) \quad (6)$$

A função de risco  $h(t)$  é definida pela quantidade de falhas que ocorrem em um determinado intervalo de tempo (Kapur & Lamberson, 1977). É definida como a probabilidade de ocorrência da falha no intervalo determinado, dado que a falha não tenha ocorrido antes do início do intervalo. Genericamente, a função de risco é definida pela apresentada a seguir:

$$h(t) = \frac{R(t_1) - R(t_2)}{(t_2 - t_1) \times R(t_1)} \quad (7)$$

onde a variável  $t$  denota um tempo de análise dos dados onde  $t_1 \leq t_2$

A Função Densidade de Probabilidade é definida pela equação apresentada na seqüência:

$$f(t) = \frac{dF(t)}{dt} \quad (8)$$

Finalmente, o cálculo do tempo médio estimado até a falha, também denominado de *MTTF*, é realizado através da seguinte equação (Elsayed, 1996).

$$MTTF = \frac{1}{n} \times \sum_{i=1}^n t_i \quad (9)$$

O *MTTF* representa o tempo médio em que o componente desempenha suas atividades com sucesso (Kapur & Lamberson, 1977).

### 2.3.3 *Distribuições estatísticas*

Estudos de confiabilidade normalmente implicam em uma modelagem estatística de dados de tempos até a falha. Esta modelagem permite um maior nível de confiança nas análises realizadas, pois cada amostragem dos dados de tempos até a falha tem uma forma

diferenciada. As principais distribuições utilizadas nas modelagens de estudos de confiabilidade são apresentadas a seguir:

a) Modelo Normal

O modelo Normal é caracterizado pela forma característica de um sino. É uma distribuição simétrica em relação a média (Kapur & Lamberson, 1977), definida pela média  $\mu$  como parâmetro de localização e pelo desvio-padrão  $\sigma$  como parâmetro de escala. A distribuição Normal é ilustrada na Figura 14.

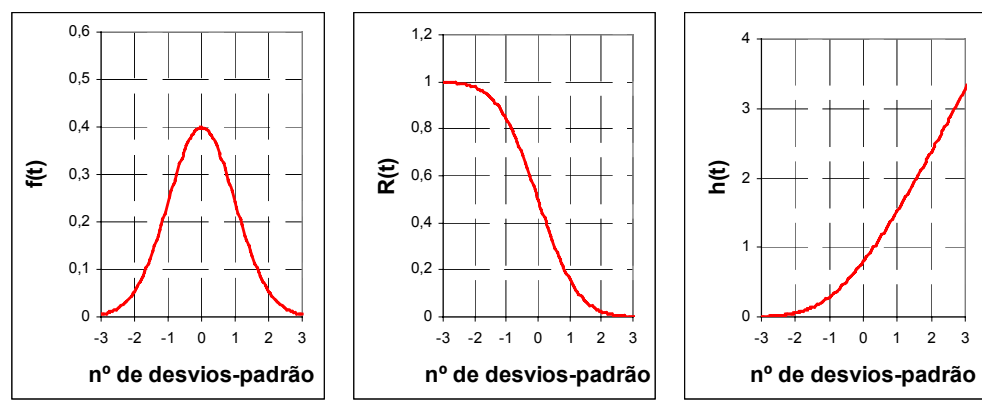


Figura 14. Distribuição Normal (Spall, 1999).

b) Modelo de Weibull

O modelo de Weibull é o modelo mais utilizado em estudos de confiabilidade. Esta distribuição pode assumir várias formas, conforme apresentado na Figura 15. Cada curva naquela figura possui um determinado parâmetro de forma  $\gamma$  e parâmetro de escala  $\theta$ .

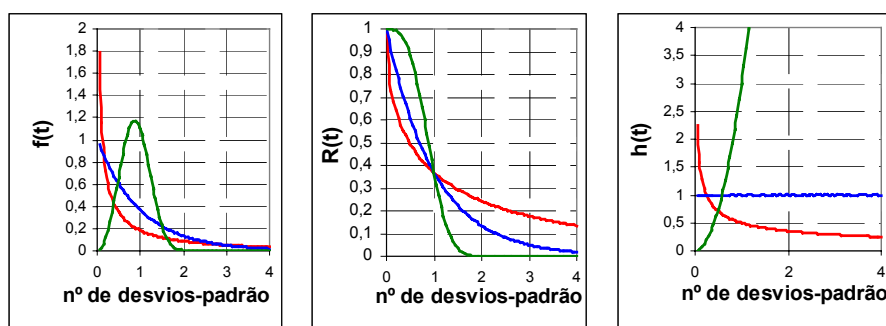


Figura 15. Distribuição de Weibull (Spall, 1999)

## c) Modelo Gama

A distribuição Gama é definida pelo parâmetro de forma  $\gamma$  e pelo parâmetro de escala  $\theta$ . Diferentes formas da distribuição Gama são mostradas na Figura 16.

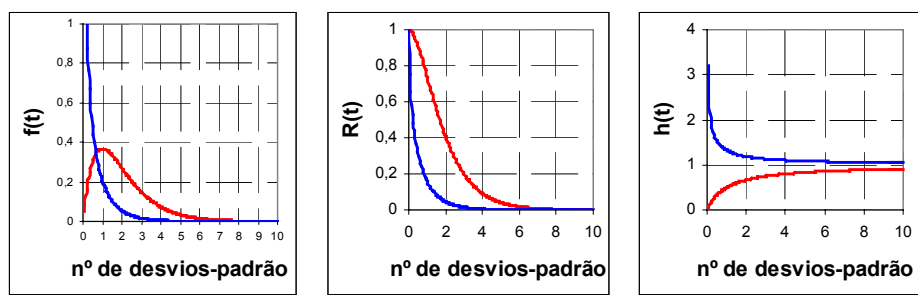


Figura 16. Distribuição Gama (Spall, 1999)

## d) Modelo Log-Normal

O modelo Log-Normal é um caso especial do modelo de Weibull. É uma distribuição definida pela média  $\mu$  como parâmetro de escala e desvio-padrão  $\sigma$  como parâmetro de forma. A Figura 17 exemplifica uma distribuição Log-Normal obtida para uma das milhares combinações possíveis de  $\mu$  e  $\sigma$  que podem surgir na prática.

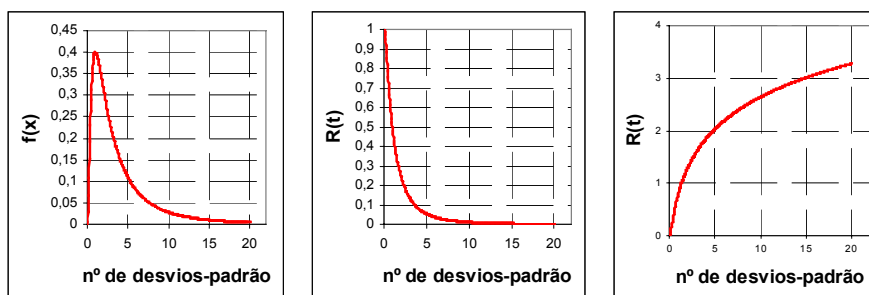


Figura 17. Distribuição Log-Normal (Spall, 1999)

e) Modelo Exponencial

A distribuição Exponencial é amplamente utilizada em cálculos de confiabilidade (Kapur & Lamberson, 1977). É definida pelo parâmetro  $\theta$  como fator de forma. A Figura 18 exemplifica a distribuição Exponencial para um determinado valor de  $\theta$ .

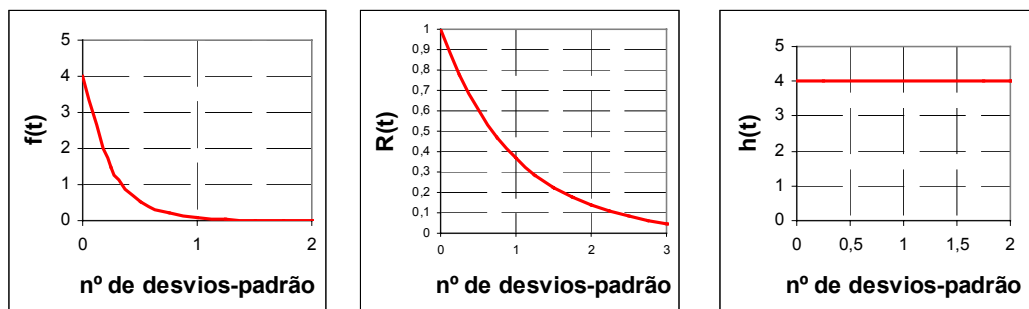


Figura 18. Distribuição Exponencial (Spall, 1999)

De acordo com cada distribuição apresentada em 2.3.3, podemos ver cada estimativa de confiabilidade apresentada genericamente acima na Tabela 14. A tabela está baseada em Elsayed (1996), Kapur & Lamberson (1977) e Leemis (1995)

Tabela 14. Funções de  $f(t)$ ,  $R(t)$ ,  $h(t)$  e  $MTTF$  para variáveis aleatórias segundo distribuições Normal, Weibull, Gama, Log-Normal e Exponencial

Modelos	$h(t)$	$f(t)$	$R(t)$	$MTTF$	Parâmetros
<b>Normal</b>	$\frac{f\left(\frac{t-u}{\sigma}\right)}{\sigma R(t)}$	$\frac{1}{\sigma t \sqrt{2\pi}} e^{-\frac{1}{2}\left(\frac{\ln t-u}{\sigma}\right)^2}$	$1 - \int_{-\infty}^t \frac{1}{\sigma \sqrt{2\pi}} e^{-\frac{1}{2}\left(\frac{\tau-u}{\sigma}\right)^2} d\tau$	$MTTF = \frac{1}{n} \times \sum_{i=1}^n t_i$	$\mu, \sigma$
<b>Weibull</b>	$\frac{\gamma}{\theta} t^{\gamma-1}$	$\frac{\gamma}{\theta} t^{\gamma-1} e^{-\frac{t^\gamma}{\theta}}$	$e^{-\frac{t^\gamma}{\theta}}$	$MTTF = \frac{1}{n} \times \sum_{i=1}^n t_i$	$\gamma, \theta$
<b>Gama</b>	$\frac{f(t)}{R(t)}$	$\frac{t^{\gamma-1}}{\theta^\gamma \Gamma(\gamma)} e^{-\frac{t}{\theta}}$	$\int_t^\infty \frac{1}{\Gamma(\gamma)} \left(\frac{\tau}{\theta}\right)^{\gamma-1} e^{-\frac{\tau}{\theta}} d\tau$	$MTTF = \frac{1}{n} \times \sum_{i=1}^n t_i$	$\gamma, \theta$
<b>Log-Normal</b>	$\frac{f\left(\frac{\ln t - \mu}{\sigma}\right)}{t \sigma R(t)}$	$\frac{1}{\sigma t \sqrt{2\pi}} e^{-\frac{1}{2}\left(\frac{\ln t - \mu}{\sigma}\right)^2}$	$1 - \int_0^t \frac{1}{\tau \sigma \sqrt{2\pi}} e^{-\frac{1}{2}\left(\frac{\ln \tau - \mu}{\sigma}\right)^2} d\tau$	$MTTF = \frac{1}{n} \times \sum_{i=1}^n t_i$	$\mu, \sigma$
<b>Exponencial</b>	$\frac{f(t)}{R(t)} = \frac{1}{\theta}$	$\frac{1}{\theta} e^{-\frac{t}{\theta}}$	$e^{-\frac{t}{\theta}}$	$MTTF = \frac{1}{n} \times \sum_{i=1}^n t_i$	$\theta$

Estimadores para os parâmetros das distribuições apresentadas na Tabela 14 podem ser encontrados em diversas fontes. Ver, por exemplo, Elsayed (1996), Kapur & Lamberson (1977) e Ribeiro & Fogliatto (1998), entre outros.

### 2.3.4 Truncamento de dados

Na prática, é bastante difícil proceder um estudo completo de confiabilidade. É comum a necessidade de truncar (ou censurar) os ensaios, por questões de economia de tempo e recursos financeiros (Ribeiro & Fogliatto, 1998).

A censura consiste no encerramento das baterias de ensaios antes do final da vida útil de todos os componentes em teste. Os tipos mais comuns de censura utilizados na prática são apresentados a seguir.

#### a) Censura Tipo I

São colocadas em teste  $n$  unidades por um período de tempo  $T$ . Decorrido o tempo  $T$ , tem-se o número de falhas  $r$  e, pela subtração  $(n-r)$  obtém-se o número de sobreviventes. Deste modo, o truncamento é feito pelo tempo de teste. Esta censura é chamada de Tipo I (Elsayed, 1996)

b) Censura Tipo II

São colocados  $n$  unidades em teste, até que se observe  $r$  falhas. Neste momento (tempo  $T$ ) o teste é encerrado. Assim, a censura é feita pelo número de falhas observadas. Este tipo de censura é chamado de Tipo II (Elsayed, 1996).

c) Censura Tipo Aleatória

É o tipo de censura utilizada quando  $n$  unidades colocadas em teste em diferentes tempos  $T$  de duração, e não há um número esperado de unidades falhas ou de duração dos testes (Ribeiro & Fogliatto, 1998).

A estimação dos parâmetros de distribuições modeladas a partir de dados censurados segue um procedimento distinto da estimação para dados normais (não-truncados). Uma apresentação bastante extensa sobre estimação a partir de dados censurados pode ser encontrada no trabalho de Mann *et al.* (1974).



### ***3 METODOLOGIA PARA RETROALIMENTAÇÃO DO CICLO DE DESENVOLVIMENTO DE PRODUTOS COM DADOS DE CONFIABILIDADE ORIUNDOS DA UTILIZAÇÃO DO PRODUTO EM CAMPO***

Como pode ser visto no sistema apresentado capítulo 2, o sistema de desenvolvimento de produtos previsto pela QS-9000 prevê a opinião do cliente como ponto de partida para o início das atividades do desenvolvimento do projeto. O cliente, todavia, pode mudar de opinião ao longo da utilização do produto devido a vários fatores: tais fatores podem incluir baixa durabilidade, frequência excessiva de manutenções, manutenção excessivamente demorada, enfim, deficiências no projeto que surgem somente após o regime de utilização imposto pelo próprio cliente. Estas deficiências podem levar o cliente ao descrédito pelo produto. Este fato pode fazer com que o cliente não venha a adquirir outros produtos produzidos pelo fabricante, associando o fabricante aos problemas encontrados no produto previamente adquirido.

Neste capítulo propõe-se uma metodologia para retroalimentação do projeto do produto, utilizando-se dados de estudos simplificados de confiabilidade do produto. Os dados utilizados são dados de campo, que representam a real utilização do produto nas condições submetidas pelo cliente. Estas condições podem ser diferentes das condições laboratoriais onde o produto foi desenvolvido. Deste modo, o produto pode apresentar modos de falha diferentes daqueles encontrados durante o seu desenvolvimento.

O elemento motivador do desenvolvimento da metodologia aqui proposta teve sua gênese em um trabalho de redução de falhas em clientes (e conseqüente melhoria da qualidade do produto) em uma montadora de motores Diesel. A necessidade de uma metodologia estruturada para correção do projeto do produto levou o autor deste documento a buscar alternativas mais consistentes do que apenas corrigir as falhas apontadas pelos clientes.

Dentre as informações disponíveis nos bancos de dados da empresa acima referida há informações bastante consistentes a respeito das falhas ocorridas nos produtos fabricados durante todo o período de garantia. Atualmente estes dados são compilados em planilhas e analisados criticamente por todo o corpo técnico da empresa. Destas informações são elaboradas ações corretivas no produto, seja no projeto, no processo de fabricação, ou em seus fornecedores.

A proposta de metodologia apresentada neste documento utiliza-se das ferramentas recomendadas pela QS-9000 para tratamento preventivo de falhas, ou seja, o DFMEA e o PFMEA (ver seções 2.2.2.1 e 2.2.3.2, respectivamente). Estas ferramentas são usadas em estudos realizados pela equipe multidisciplinar que está desenvolvendo o produto, utilizando como embasamento o conhecimento técnico e a experiência de cada um de seus integrantes.

As atividades desenvolvidas seguindo-se a metodologia aqui proposta são desempenhadas partindo-se de dados oriundos da prática da utilização do produto pelos clientes (dados de campo). Pressupõe-se a disponibilidade de dados coletados, por exemplo, em um Serviço de Atendimento ao Consumidor (SAC), para alimentar um banco de dados, que guarda informações sobre cada falha apresentada, durabilidade do produto (data da venda e data da falha), região do país onde apresentou a falha, tipo de utilização e particularidades encontradas na análise minuciosa de cada falha. Estes dados, representativos da utilização real do produto desenvolvido anteriormente, mostram o desempenho do produto submetido às condições de utilização impostas pelo consumidor. Falhas ocorridas nestas condições mostram a real condição de projeto que o produto possui. Estas informações (de falha em campo) serão a base para a retroalimentação do ciclo de desenvolvimento do produto.

A metodologia proposta, descrita nas seções que seguem, é implementada em sete etapas, descritas a seguir, e resumidas na Figura 20: *(i)* coleta de dados, *(ii)* estratificação dos dados de reclamações no SAC, *(iii)* estimação da função de confiabilidade, *(iv)* retroalimentação do QFD, *(v)* retroalimentação do DFMEA, *(vi)* retroalimentação do PFMEA e *(vii)* avaliação dos resultados.

### ***3.1 Coleta de dados***

O Serviço de Atendimento ao Consumidor (SAC), ou outro serviço semelhante, monta um banco de dados onde o cliente ou empresa que realiza a correção da falha (um representante autorizado, por exemplo) registra a falha ocorrida. O banco de dados é utilizado para registrar as falhas relatadas. Idealmente as falhas são registradas segundo uma estratificação por subsistema, onde os vários subsistemas compõem o produto completo. Deste modo, o banco de dados poderá fornecer informações sobre os tipos de falhas mais comuns, além de indicar o subsistema onde cada falha ocorreu no produto sob análise.

### ***3.2 Estratificação dos dados de reclamações no SAC***

Nesta etapa, as falhas registradas no SAC são analisadas pelo grupo multidisciplinar responsável pela condução do projeto, a fim de determinar a sua origem. A análise crítica sobre a falha é de extrema importância para o desenvolvimento da metodologia aqui proposta, pois as falhas classificadas originalmente por atendentes do SAC devem ter pertinência com o subsistema no qual foram classificadas. Falhas na classificação realizada pelo SAC poderão gerar bancos de dados que não representam a realidade do produto sob uso do consumidor.

O grupo multidisciplinar irá, nesta etapa, discriminar as falhas como falhas de produto ou de processo de fabricação. Falhas de produto são aquelas decorrentes de deficiências no projeto original do produto. Por exemplo, uma chave plástica giratória que quebra frequentemente quando submetida a esforços constantes, denotando falha na especificação do material utilizado em sua confecção. Falhas de processo são aquelas decorrentes de deficiências na manufatura do produto. Por exemplo, uma peça plástica que sofre ruptura devido à ocorrência de bolhas de ar decorrente de falhas em seu processo de injeção.

A estratificação descrita acima é necessária nas etapas seguintes da metodologia, pois irá nortear os esforços de melhoria do produto ou do seu processo de manufatura.

### ***3.3 Estimação da função de confiabilidade***

De posse das informações disponíveis no banco de dados, é iniciado o estudo de confiabilidade do produto. As informações do tipo de falha de cada sub-sistema são elencadas juntamente com as respectivas informações de tempo até a falha.

Uma limitação aplicável a este tipo de estudo é referente ao tamanho da amostra. Dados de garantia representam apenas uma parte da vida útil do produto. Desta forma, o estudo de confiabilidade é realizado utilizando-se dados censurados. A censura, para casos em que se tem um elevado número de dados não-censurados, pode comprometer os resultados estimados para os percentis mais altos da distribuição de probabilidade dos tempos-até-falha do produto em estudo. Isto é explicado pelo fato de existirem muitos dados do início da vida do produto, e poucos do final, que auxiliariam na determinação mais precisa dos parâmetros da distribuição, e permitiriam uma estimativa mais eficiente do período correspondente ao final da vida útil do produto.

Partindo-se das informações do banco de dados do SAC, o cálculo dos parâmetros de confiabilidade do produto é iniciado seguindo o roteiro a seguir. São obtidos, inicialmente, histogramas de frequência da função densidade de falha, função de risco (Taxa de falhas) e função confiabilidade para o item que apresentou a falha dentro do subsistema em estudo.

Após a determinação dos histogramas, parte-se para a determinação do modelo a ser utilizado na representação dos dados de tempos-até-a-falha: por exemplo, Exponencial, Weibull, Normal, Log-Normal ou Gama. A determinação é realizada buscando-se uma similaridade visual com as distribuições citadas (ver seção 2.3.3)

A similaridade com cada distribuição é verificada analiticamente por intermédio dos testes de aderência do Qui-Quadrado e Kolmogorov-Smirnov. Basicamente, os testes de aderência são realizados efetuando-se comparações entre as frequências observadas na amostra em estudo e as frequências esperadas para a distribuição de probabilidade hipotetizada. O teste de aderência do Qui-Quadrado é mais apropriado para amostras de tamanho grande ( $n > 40$ ), enquanto o teste de aderência Kolmogorov-Smirnov oferece

melhores resultados quando aplicados a amostras menores. Maiores referências podem ser encontradas em Gibbons & Chakraborti (1992).

A seguir é calculado a Confiabilidade do produto para o parâmetro  $t_{10}$ . O parâmetro  $t_{10}$  é utilizado usualmente na indústria automobilística para determinação do período de garantia dado ao produto, onde no máximo 10% da população apresenta falhas. Da mesma forma, a Taxa de Falhas (Função de Risco) do produto é calculada de acordo com a seção 2.3.2.

### ***3.4 Retroalimentação do QFD***

Procede-se a retroalimentação do QFD através da elaboração da Matriz das Partes. Esta matriz irá relacionar as falhas nas partes registradas no banco de dados com as Características de Qualidade elencadas pelo cliente, conforme listadas e ponderadas no QFD original.

A Matriz das Partes visa relacionar as falhas nas partes, conforme os dados obtidos na estratificação dos dados de reclamações do SAC (etapa 3.2), e classificá-las em importância, a fim de estabelecer prioridades para a solução de cada uma das falhas. Inicialmente é feito o levantamento das falhas mais frequentes encontradas no banco de dados. Os dados serão utilizados para preencher as linhas correspondentes as partes que apresentaram as falhas na Matriz. Após este passo, buscam-se as características de qualidade listadas pelo cliente no QFD feito originalmente para o produto, durante o seu desenvolvimento.

De posse destas informações, a Matriz das Partes é montada de acordo com a Figura 19. Os elementos apresentados naquela figura são descritos na seqüência.

	Característica de qualidade 1	Característica de qualidade 2	Característica de qualidade 3	Característica de qualidade 4	Característica de qualidade ...	Importância $ID_g$	Avaliação Estratégica $E_g$	Avaliação Competitiva $M_g$	Priorização $ID_g^*$
Parte 1	$DQ_{gh}$								
Parte 2									
Parte 3									
Parte 4									
Parte 5									
Parte 6									
Parte 7									
Parte 8									
Parte 9									
Parte ...									
Especificações									
Importância das C.Q. $IQ_h$									
Análise Competitiva $B_h$									
Dificuldade de Atuação $D_h$									
Priorização das C.Q. $IQ_h^*$									

Figura 19. Matriz genérica do desdobramento das partes que apresentaram falha.

- Importância ( $ID_g$ ): A avaliação da importância da  $g^{ésima}$  parte é realizada levando-se em conta a frequência com que a falha da parte foi observada em campo. Pode-se atribuir à taxa de falhas uma classificação com três categorias: falhas de baixa, média e alta incidência. Assim, falhas de baixa incidência são aquelas cuja frequência de acontecimento da falha não comprometem a satisfação do consumidor; a falhas nesta categoria atribuem-se valores baixos de taxas de falha na escala sugerida na Tabela 15. A classificação na Tabela 15 traz uma analogia com a escala da Ocorrência da Falha do FMEA (Tabela 9), tal que podem-se enquadrar nesta categoria falhas com taxa de ocorrência até 3. Às falhas de média incidência atribuem-se valores intermediários; falhas desta magnitude comprometem a satisfação do consumidor, mas sem comprometer a imagem de robustez do produto. De acordo com a analogia realizada com a Ocorrência da Falha (Tabela 9), enquadram-se nesta categoria taxas de ocorrência com valores entre 4 e 5. Falhas de alta incidência são aquelas que comprometem a satisfação do consumidor, bem como a imagem de robustez do produto: a estas taxas atribuem-se valores elevados

conforme a escala sugerida. Novamente usando-se a analogia com a Ocorrência da Falha (Tabela 9), atribuem-se aqui taxas com ocorrência maior que 6.

Tabela 15. Escala da Importância (atribuída a taxa da falha)

Valor	Descrição
0.5	Taxa baixa (Ocorrência 1 a 3)
1	Taxa média (Ocorrência 4 a 5)
2	Taxa alta (Ocorrência 6 a 10)

- Avaliação estratégica ( $E_g$ ): A avaliação estratégica da  $g^{ésima}$  parte é realizada de acordo com as metas definidas previamente pela empresa em seu planejamento estratégico. Em se tratando de falhas, deve-se analisar o quanto a ocorrência da falha pode afetar (ou tem afetado) negativamente a imagem do produto junto ao cliente. Da mesma forma que no QFD original, deve-se considerar nesta avaliação (i) a satisfação dos usuários do produto em desenvolvimento, (ii) a imagem da empresa junto a seus clientes e fornecedores, (iii) a sobrevivência da empresa no médio e longo prazo, etc. A escala para avaliação está apresentada na Tabela 4.
- Avaliação competitiva ( $M_g$ ): A avaliação competitiva da  $g^{ésima}$  parte é realizada em uma comparação com a concorrência, do ponto de vista comercial. Deve-se levar em conta na avaliação o quanto a falha da parte apresentada pode afetar a posição do produto no mercado. O julgamento deve ser realizado com isenção, a fim de realmente avaliar como o produto, com a falha apresentada, está posicionado relativamente à concorrência. Pode-se chegar a conclusão, por exemplo, que a incidência de um determinado tipo de falha não afetaria sua posição relativamente à concorrência, que apresenta o mesmo tipo de falha em seus produtos. A escala para avaliação está apresentada na Tabela 5.
- Priorização das partes ( $ID_g^*$ ): O índice de importância corrigido para a  $g^{ésima}$  parte levará em consideração e a avaliação da empresa, segundo suas metas (avaliação estratégica) e sua concorrência (avaliação competitiva), acrescidas da parcela de informação trazida do campo, ou seja, as falhas apresentadas pelo produto. O índice de importância da parte corrigido será calculado segundo a equação:

$$ID_g^* = ID_g \times \sqrt{E_g} \times \sqrt{M_g} \quad (10)$$

Da mesma forma que no QFD original, os novos valores de Priorização da Partes irão formar um *ranking*, que irá classificar as partes (e, conseqüentemente, os itens de falha) em ordem de importância, priorizando os itens que tem maior impacto na opinião do cliente a respeito do produto desenvolvido.

- Relacionamento da parte com as características de qualidade ( $DQ_{gh}$ ): A relação das partes que apresentaram falhas com as características de qualidade é estabelecida através de uma quantificação do nível da correlação entre a parte com cada característica de qualidade. O relacionamento entre os elementos nas linhas e colunas da matriz é mensurado, e classificado segundo a escala apresentada na Tabela 6.

Terminada a etapa de preenchimento da matriz das partes, pode-se agora dar início a nova etapa de priorização das características de qualidade.

Assim como no QFD original, agora cada característica de qualidade será quantificada quanto à (i) Importância, (ii) Avaliação Competitiva e (iii) Dificuldade de Atuação. A priorização das características de qualidade será o resultado desta atividade. Uma descrição de cada critério e das escalas utilizadas em sua medição vem apresentada abaixo.

- Importância das características de qualidade ( $IQ_h$ ): A avaliação da importância do  $h^{\text{ésimo}}$  item de característica de qualidade é realizada de acordo com a equação:

$$IQ_h = \sum_{g=1} ID_g^* \times DQ_{gh} \quad (11)$$

- Avaliação competitiva ( $B_h$ ): Neste momento, será novamente feita uma avaliação comparativa com a concorrência, mas agora de acordo com os parâmetros técnicos de cada característica de qualidade. A avaliação deverá apresentar coerência com a avaliação comercial ( $M_g$ ) realizada anteriormente. Para mensurar a avaliação, pode-se utilizar a escala apresentada na Tabela 5.
- Dificuldade de atuação ( $D_h$ ): A dificuldade de atuação sobre a característica de qualidade, no intuito de eliminar as falhas que a afetam, será aqui mensurada segundo a escala apresentada na Tabela 7.



- Priorização das características de qualidade ( $IQ_h^*$ ): As características de qualidade, após o conhecimento das partes que apresentaram falhas, terão seu índice de importância corrigido utilizando-se os dados de classificação definidos na avaliação da dificuldade de atuação ( $D_h$ ) e avaliação competitiva ( $B_h$ ), segundo a equação:

$$IQ_h^* = IQ_h \times \sqrt{D_h} \times \sqrt{B_h} \quad (12)$$

O índice calculado acima irá formar um *ranking* das características de qualidade, reavaliado sob a ótica do cliente, com a informação trazida do campo, ou seja, das falhas. No QFD inicial foram identificadas quais as reais necessidades dos clientes, e o produto foi desenvolvido com base nestas informações, assessorado por técnicas como FMEA's, Planos de Controle, Projeto do Fluxo de Processo, etc. Agora avalia-se uma nova matriz de QFD que trata exclusivamente das partes que apresentaram falhas durante a sua utilização. O *ranking* formado nesta nova matriz irá priorizar as ações corretivas no produto a fim de obter a satisfação total do cliente, buscando a eliminação das deficiências do projeto que o cliente detectou. Essas deficiências no projetos serão corrigidas no processo de melhoria do produto em estudo ou no projeto de um novo produto, que virá a suceder o atual, auxiliado novamente pelas técnicas dos FMEA's, conforme apresentado na seqüência.

### **3.5 Retroalimentação do DFMEA**

A retroalimentação do DFMEA é realizada de acordo com a estratificação dos dados de reclamações no SAC. As falhas encontradas no SAC, após a estratificação e elaboração da matriz de falhas, são agora reavaliadas pelo grupo multidisciplinar de desenvolvimento do projeto, de acordo com a ocorrência da falha e sua severidade.

A taxa de falha é a informação básica para que se obtenha o valor estimado para a ocorrência. Com a nova taxa de falhas, agora trazendo uma informação importante, do campo, será reavaliada a ocorrência (Tabela 9) do DFMEA, agora com dados representativos da realidade do produto.

A Severidade da falha será também reavaliada pelo grupo multidisciplinar que irá promover melhorias no produto em estudo ou desenvolver o produto sucessor. A severidade de cada falha apontada na estratificação de dados do SAC será realizada utilizando-se a escala de severidade apresentada inicialmente (Tabela 8).

Conseqüentemente, o RPN do DFMEA terá novo valor para o modo de falha. Assim, o *ranking* de priorização inicial será alterado, construindo-se um novo *ranking* para definição das prioridades nas ações de melhoria do produto.

Este novo *ranking*, representativo da realidade e da real condição de utilização do produto, será utilizado para correção do produto original e servirá de referência para o desenvolvimento de um produto semelhante.

### **3.6 Retroalimentação do PFMEA**

O PFMEA terá sua retroalimentação feita da mesma forma que o DFMEA, mas com base na Tabela 11 (severidade) e na Tabela 12 (ocorrência). A reavaliação da severidade da falha ocorrerá a fim de atualizar o PFMEA com a realidade do produto e, principalmente, a cada vez que a severidade do DFMEA for alterada, uma vez que o PFMEA utilizou as informações do DFMEA em sua elaboração. O RPN e o *ranking* originados na elaboração do PFMEA serão alterados de acordo com as novas informações obtidas nesta metodologia.

Da mesma forma como no DFMEA, no PFMEA o novo *ranking* servirá de referencial para a correção do produto através da melhoria do processo de fabricação e, principalmente, para o desenvolvimento de um produto novo mais robusto e menos suscetível a falhas de processo do tipo que foram encontradas pelos consumidores.

### **3.7 Avaliação dos resultados**

Após a retroalimentação do QFD, através da elaboração da Matriz das Partes, e da retroalimentação do DFMEA e PFMEA, temos agora três *rankings* que estabelecem priorizações a respeito da correção do projeto, a fim de aumentar o grau de robustez do

produto sucessor em desenvolvimento. A utilização destes *rankings*, irá proporcionar uma ferramenta de grande valia ao grupo multidisciplinar responsável pelo novo projeto.

As informações obtidas na estimação da função de confiabilidade (seção 3.3) servirão de subsídio para o grupo multidisciplinar, responsável pelo novo projeto. Os histogramas de frequência da função densidade de falha, a função de risco, e função de confiabilidade de cada falha existente no *ranking* irão auxiliar o grupo multidisciplinar incumbido da solução do problema.

No final das atividades propostas por esta metodologia é realizada uma análise crítica sobre os resultados de cada etapa descrita anteriormente. Os resultados de cada etapa devem ter coerência com os históricos de falhas do componente ou do produto original e com o novo produto que será desenvolvido. É recomendado que sejam analisados todos os obstáculos encontrados no desenvolvimento do produto original e das falhas durante o projeto, para que não se repitam nesta etapa.

A Figura 20 representa o esquema genérico da retroalimentação do projeto segundo a metodologia proposta.

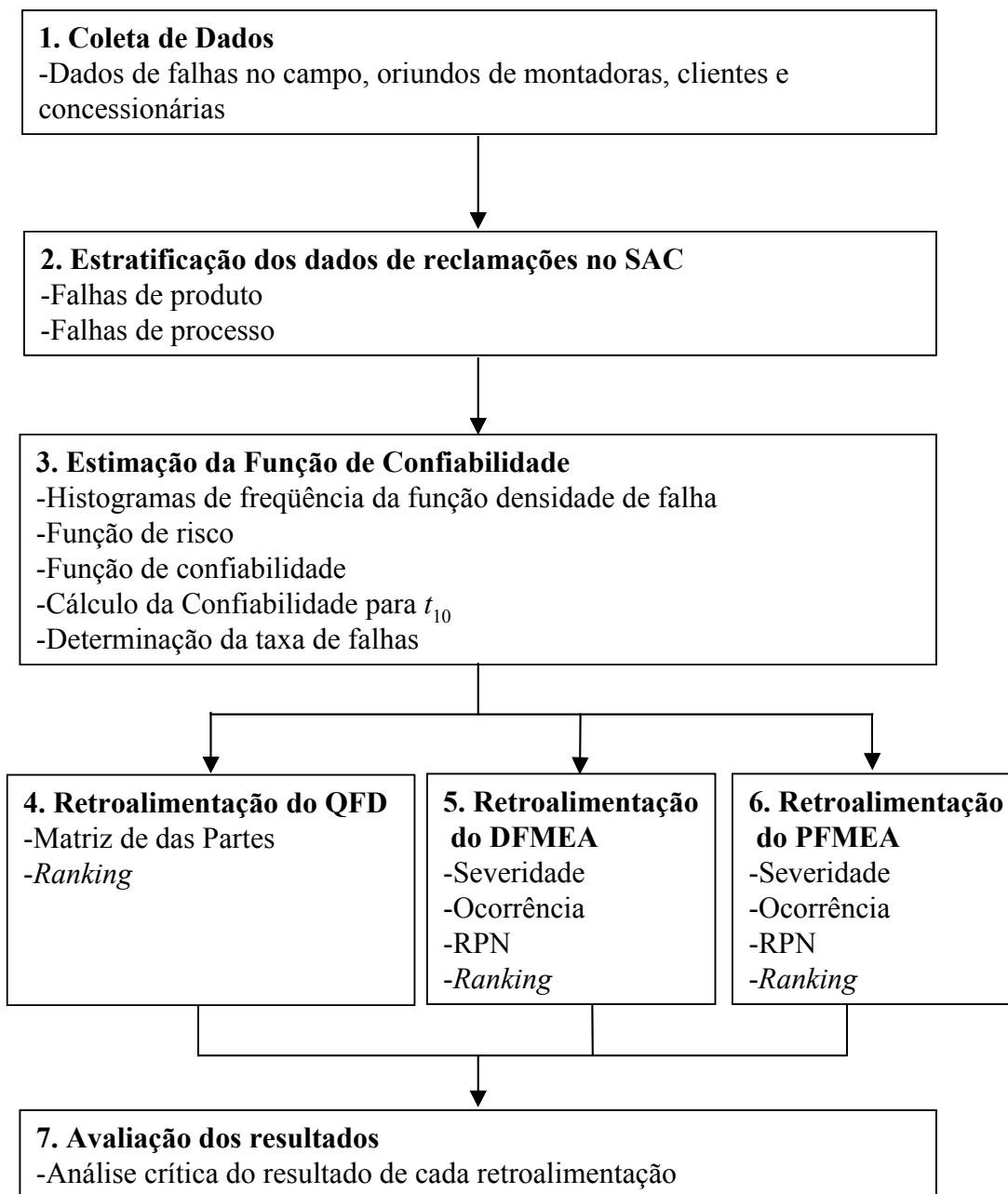


Figura 20. Esquema genérico da metodologia proposta

#### ***4 CASO PRÁTICO: RETROALIMENTAÇÃO DO PROJETO DO SISTEMA DE BOMBA HIDRÁULICA EM UM VEÍCULO MOVIDO COM UM MOTOR DIESEL***

O estudo de caso apresentado a seguir descreve a utilização da metodologia proposta nesta dissertação como ferramenta auxiliar na melhoria de um componente mecânico. Seguindo-se o princípio da melhoria contínua e da redução de custo, a metodologia proposta foi utilizada para avaliar o desempenho de um componente de fundamental importância em um veículo: a bomba hidráulica.

O exemplo apresentado na seqüência usando a bomba hidráulica como objeto de estudo foi utilizado de acordo com a orientação da Empresa. O caso da bomba hidráulica tem sua relevância justificada pela taxa de falhas apresentada pelo componente. A taxa de falhas é maior que a média dos outros componentes montados no motor. Por outro lado, o banco de dados disponível na Empresa mostra-se bastante organizado no que diz respeito a este componente.

A reprodução dos dados utilizados no estudo de caso não foi autorizada pela empresa, estando disponíveis mediante solicitação direta junto ao autor deste trabalho.

O propósito da aplicação parcial da metodologia ao estudo de caso não resume-se apenas ao auxílio na melhoria do produto, pois a evolução deste em uma empresa líder de mercado é algo imprescindível nos dias atuais de concorrência acirrada. A metodologia servirá para auxiliar a solução de um problema e, em conjunto, fornecer subsídios para que o produto possa ser aprimorado com base em fatos oriundos da sua utilização em campo.

A bomba hidráulica faz a transformação de uma pequena parcela da potência de um motor em energia para auxiliar no sistema de direção do veículo. Ao fazer uma curva, o motorista gira o volante de acordo com a direção a ser seguida. Este movimento, de esterçamento das rodas, faz com que o veículo em movimento mude a sua direção de deslocamento.

O ato de esterçar as rodas de um veículo exige certa dose de força exercida pelo motorista. Neste ponto, entra em ação a bomba hidráulica. Este componente, acionado pelo motor do veículo, comprime óleo hidráulico a uma pressão suficiente para movimentar um pequeno cilindro, que atua no conjunto de rodas e executa o esterçamento, utilizando uma pequena parcela de força do motorista, e outra maior oriunda do motor do veículo.

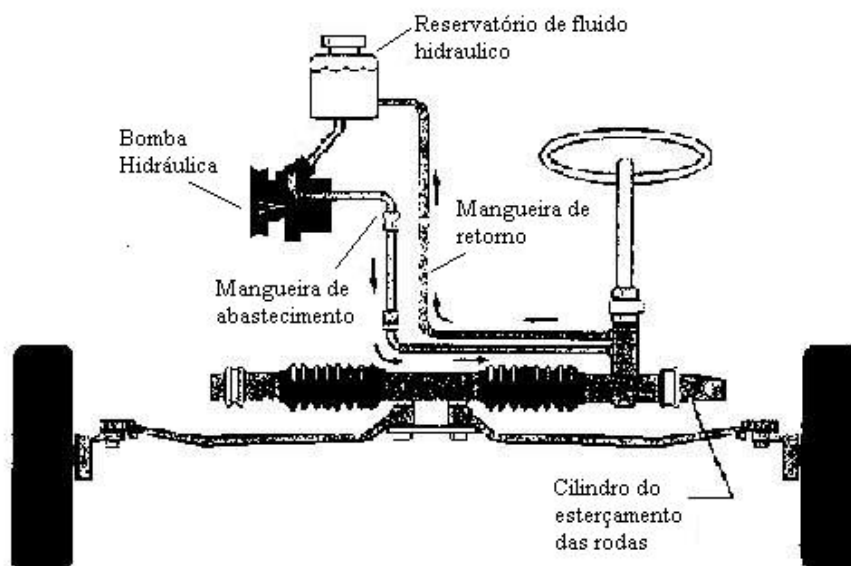


Figura 21 - Sistema Bomba Hidráulica

O conceito da bomba hidráulica foi desenvolvido para que se possa agregar uma parcela maior de conforto aos veículos comercializados. Deste modo, o motorista necessita fazer um menor esforço físico para conduzir veículos de qualquer porte.

A empresa analisada, por questões de sigilo, não autorizou a divulgação de seu nome. Os clientes que utilizam seus produtos não serão nomeados aqui também por questões de sigilo, mas situam-se entre os maiores fabricantes mundiais de veículos.

A bomba hidráulica em estudo não é fabricada pela empresa, mas sim adquirida de um fornecedor externo. O produto é utilizado pela empresa em uma versão dos motores que fabrica.

Este estudo de caso consiste na avaliação do projeto da bomba hidráulica no que diz respeito a sua durabilidade. O tipo de bomba hidráulica analisada pertence a um único cliente, e suspeita-se que o projeto subestimou o componente denominado Eixo Principal. A empresa dispõe de histórico de falhas em campo em uma escala mais elevada do que as metas existentes para os outros componentes do motor.

A metodologia proposta no Capítulo 3 será agora aplicada neste estudo. As sete seções a seguir são devotadas a cada uma das etapas propostas no Capítulo 3.

#### ***4.1 Coleta de dados***

Para a aplicação da metodologia é necessária a obtenção da especificação da durabilidade do produto. Neste caso específico, a garantia dada ao produto é de dois anos, ou 50000 km (o primeiro evento que ocorrer).

Da mesma forma, é necessário coletar os dados de falhas do componente em campo. Esta informação é fornecida ao fabricante do motor pelo cliente (montadora), de acordo com seus registros armazenados em bancos de dados alimentados pelas concessionárias espalhadas pelo país, e pelo Serviço de Atendimento ao Cliente (SAC).

Para o caso em estudo, foram obtidos dados de 126 falhas, no período de fabricação de motores compreendido entre fevereiro de 1999 até fevereiro de 2000. Neste período foram fabricados 16000 motores.

A Tabela 16 apresenta os dados de falhas da bomba hidráulica.

Tabela 16. Dados de falha da bomba hidráulica

Data fabricação	km falha	Data fabricação	km falha	Data fabricação	km falha	Data fabricação	km falha	Data fabricação	km falha
Abr/99	16000	Jul/99	10000	Ago/99	18000	Set/99	16000	Out/99	14000
Abr/99	29000	Jul/99	13000	Ago/99	18000	Set/99	16000	Out/99	14000
Mai/99	15000	Jul/99	16000	Ago/99	19000	Set/99	17000	Out/99	15000
Mai/99	15000	Jul/99	16000	Ago/99	21000	Set/99	17000	Out/99	16000
Mai/99	16000	Jul/99	16000	Ago/99	21000	Set/99	17000	Out/99	17000
Mai/99	16000	Jul/99	17000	Ago/99	22000	Set/99	17000	Out/99	17000
Mai/99	22000	Jul/99	19000	Ago/99	23000	Set/99	17000	Out/99	17000
Mai/99	25000	Jul/99	19000	Ago/99	24000	Set/99	18000	Out/99	18000
Mai/99	25000	Jul/99	19000	Ago/99	25000	Set/99	19000	Out/99	18000
Mai/99	29000	Jul/99	20000	Ago/99	26000	Set/99	19000	Out/99	20000
Mai/99	32000	Jul/99	22000	Ago/99	28000	Set/99	21000	Nov/99	6000
Mai/99	33000	Jul/99	24000	Ago/99	29000	Set/99	22000	Nov/99	11000
Mai/99	44000	Jul/99	25000	Ago/99	33000	Set/99	22000	Nov/99	18000
Jun/99	7000	Jul/99	32000	Ago/99	37000	Set/99	23000	Dez/99	1000
Jun/99	10000	Jul/99	33000	Ago/99	40000	Set/99	24000	Dez/99	5000
Jun/99	11000	Jul/99	39000	Ago/99	44000	Set/99	25000	Dez/99	9865
Jun/99	16000	Jul/99	46000	Set/99	5000	Set/99	27000	Dez/99	10000
Jun/99	17000	Ago/99	6000	Set/99	8000	Set/99	29000	Dez/99	13000
Jun/99	19000	Ago/99	6000	Set/99	8000	Set/99	29000	Dez/99	16000
Jun/99	19000	Ago/99	8000	Set/99	8000	Set/99	1000	Dez/99	23000
Jun/99	24000	Ago/99	9000	Set/99	8000	Out/99	3000	Jan/00	5000
Jun/99	24000	Ago/99	14000	Set/99	9000	Out/99	5000	Fev/00	12000
Jun/99	25000	Ago/99	15000	Set/99	14000	Out/99	8000		
Jun/99	25000	Ago/99	16000	Set/99	15000	Out/99	9000		
Jun/99	34000	Ago/99	16000	Set/99	15000	Out/99	13000		
Jul/99	8000	Ago/99	17000	Set/99	15000	Out/99	13537		

#### 4.2 Estratificação dos dados de reclamações no SAC

As falhas apresentadas na Tabela 16 associam-se a um único modo de falha: soltura do eixo da bomba hidráulica. Esta falha ocorre quando o eixo da bomba desprende-se do seu alojamento, fazendo com que a bomba hidráulica deixe de operar e o veículo perca a assistência hidráulica originalmente proposta, deixando o esterçamento das rodas “pesado” (ou seja, fazendo com que a operação da direção do veículo fique pesada).

O modo de falha encontrado é único, ou seja, é a única manifestação de falha que se tem registros em bombas hidráulicas deste tipo.

Como as causas do modo de falha são complexas, faz-se necessário o estudo completo dos FMEA's de produto e processo, a fim de robustecer o projeto e o processo de fabricação, para eliminar o modo de falha encontrado.



### 4.3 Estimação da Função de Confiabilidade

A estimação da Função Confiabilidade da bomba hidráulica foi feita com o auxílio do *software* Proconf (1999). O *software* foi desenvolvido por pesquisadores do Programa de Pós-Graduação em Engenharia de Produção da Universidade Federal do Rio Grande do Sul.

Foi utilizado o truncamento dos dados em 46000 km para bombas que não apresentaram falha. Esta quilometragem corresponde à maior quilometragem atingida por uma bomba hidráulica que apresentou falha no período de estudo.

Um primeira análise é realizada avaliando-se o histograma de frequência da função de densidade de falha. Uma rápida análise visual mostra que a forma da distribuição assemelha-se a uma Log-Normal, ou a uma Weibull. O gráfico é apresentado na Figura 22.

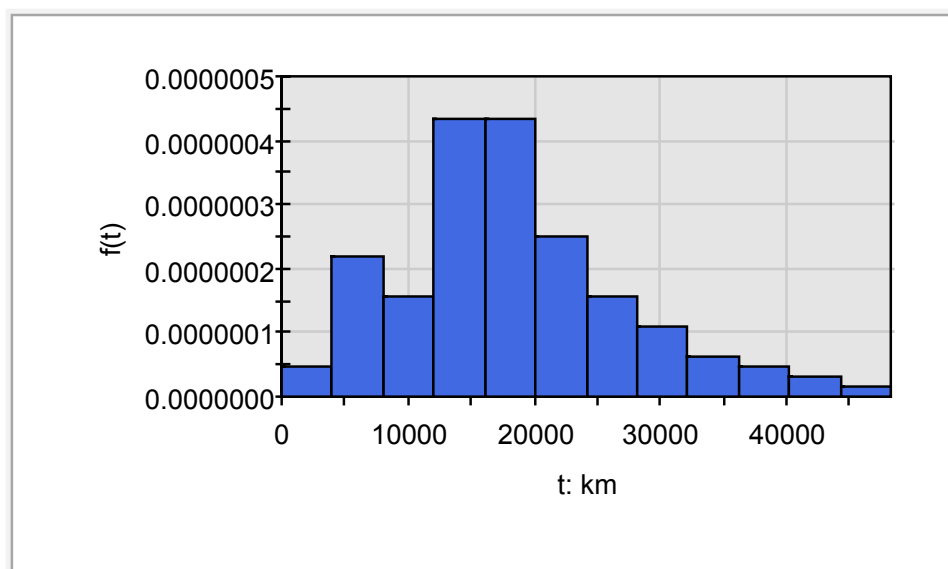


Figura 22 – Histograma de falhas da bomba hidráulica.

Inicialmente, verificou-se a possibilidade de modelar os dados utilizando uma distribuição de probabilidade Log-Normal. Para tanto, o primeiro passo na modelagem é a determinação dos parâmetros  $\mu$  e  $\sigma$  da distribuição. Estes parâmetros são determinados pelas equações 15 e 16 apresentadas abaixo (Elsayed, 1996):

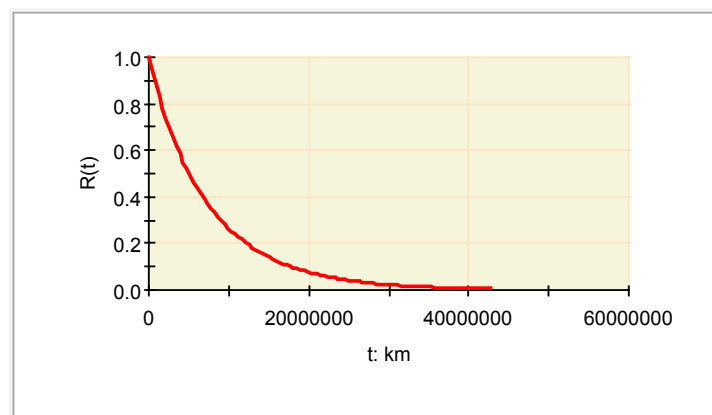
$$\hat{\mu} = \sum_{i=1}^r a_i \ln t_i \quad (15)$$

$$\hat{\sigma} = \sum_{i=1}^r b_i \ln t_i \quad (16)$$

Para a determinação dos parâmetros nas equações acima é necessária a utilização dos coeficientes de Sarhan e Greenberg (Elsayed, 1996). Estes coeficientes são tabelados para amostras com censura com  $n \leq 20$  (onde  $n$  é o tamanho total da amostra). Como estamos trabalhando com  $n = 16000$ , estes coeficientes não encontram-se disponíveis. Alternativamente, optou-se por modelar os dados utilizando uma distribuição de Weibull.

Modelando os dados na Tabela 16 por uma distribuição de Weibull, obtêm-se os valores  $\beta = 0.9525$  e  $\theta = 7,4016 \times 10^6$  para os parâmetros de forma e escala. No período de garantia (50000 km), espera-se que, no máximo, 10% de falhas sejam verificadas (ou seja, o período de garantia deveria corresponder ao tempo associado ao 10º percentil da distribuição dos tempos-até-falha). No caso da bomba hidráulica, obteve-se uma confiabilidade de 0,9915, ou seja, 99,15% das bombas hidráulicas não devem apresentar falhas durante o período de garantia.

Considerando-se as informações acima, pode-se afirmar que o projeto das bombas é satisfatório, pois apresenta uma vida esperada bastante acima do mínimo tolerado. O gráfico da função de confiabilidade ajustada aos dados de tempos-até-falha vem apresentado na Figura 23.



O coeficiente de confiabilidade  
representado  
decrece com

Figura 23 – Gráfico da Função de Confiabilidade

o tempo, vem  
inicialmente  
de aproximadamente  
em  $1 \times 10^7$ .

Analisando-se a taxa de falhas, observam-se 126 falhas em uma população de 16000, o que corresponde a uma falha em cada 126 unidades fabricadas.

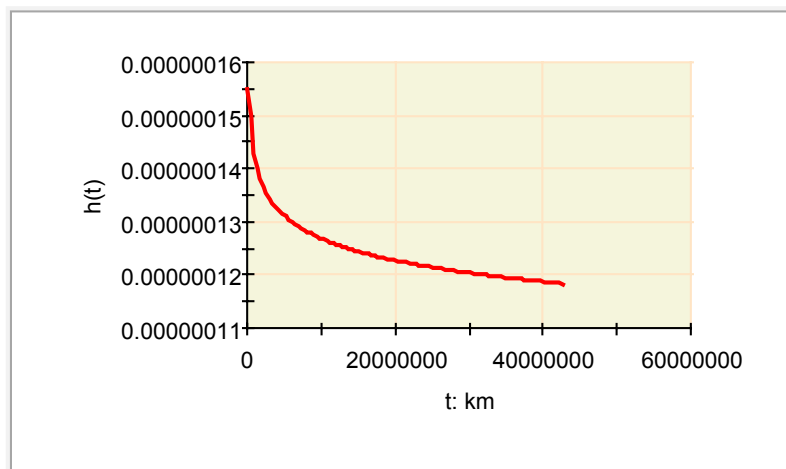


Figura 24 - Gráfico da Função Taxa de Risco

A confiabilidade calculada para o período de garantia do veículo indica uma durabilidade bastante elevada, pois um veículo tipo *sport-utility*, como o que recebe este tipo de motor, percorre de 20000km a 25000km anuais. Logo, ao final de dois anos ou 50000 km (período equivalente a garantia do produto), a durabilidade esperada é de 697052 km.

Analisando-se a quilometragem das falhas (Tabela 16), pode-se concluir que as falhas registradas em campo situam-se no início da vida útil do produto (falha prematura), o que dificulta a análise de confiabilidade. Uma grande quantidade de dados censurados, e uma pequena quantidade de falhas observadas, pode fazer com que a modelagem estatística fique comprometida. Inferências sobre a vida útil em tempos elevados necessitam de mais dados de falhas ou menores quantidades de dados censurados, fornecendo assim mais informações para a modelagem da curva que mais se ajusta a distribuição.

De acordo com os cálculos de confiabilidade, ao período de garantia de 50.000 km corresponde uma confiabilidade de 99,15%. Este índice está razoavelmente adequado aos encontrados no restante do sistema. Por outro lado, a taxa de falhas encontrada (uma falha a cada 126 unidades fabricadas) é bastante elevada.

Pode-se concluir que o produto fabricado, após o período conhecido por “Mortalidade Infantil”, ou seja, o período onde ocorrem falhas prematuras, tem uma durabilidade que excede os requisitos estabelecidos. Uma possível causa para falhas prematuras estaria associada a problemas com o processo de fabricação da bomba. O grupo multidisciplinar responsável pelo produto deve fortalecer suas atividades no estudo dos parâmetros do processo de fabricação, uma vez que as falhas prematuras podem estar ligadas a falhas na definição destes parâmetros.

#### **4.4 Reavaliação do QFD**

A reavaliação do QFD foi realizada utilizando-se apenas uma parte como base, ou seja, a bomba hidráulica. Nesta parte, conforme relatado anteriormente, o único modo de falha registrado é a Soltura do Eixo.

O QFD foi realizado utilizando-se o modo de falha da Soltura do Eixo como base para avaliação dos critérios apresentados em 3.4. A Figura 25 exemplifica o estudo de QFD realizado.

De acordo com o QFD, o *ranking* gerado mostra que a assistência hidráulica é uma característica que realmente mantém o produto em uma posição de destaque no mercado, pois foi o item de maior grau obtido no *ranking*. Como segunda observação, o *ranking* prioriza ações do grupo multidisciplinar com o objetivo de aumentar a confiabilidade do sistema. Na seqüência, o *ranking* mostra que os esforços do grupo devem ser direcionados na melhoria da resistência da parte, ou seja, a bomba hidráulica. Por último, o *ranking* mostra que o número de subsistemas da parte em estudo merece ser retrabalhado no seu projeto, objetivando uma redução no número de componentes que compõem o subsistema.

O estudo realizado pode ser bem mais aprofundado, trabalhando-se com o QFD das partes que compõem o subsistema bomba-hidráulica. Mas, conforme relatado anteriormente, a parte em estudo é um item fornecido com o seu projeto sendo de responsabilidade do fabricante, o que impede que este estudo seja realizado dentro da Empresa, por esta não possuir a tecnologia do subsistema bomba-hidráulica.

	Torque elevado	Litragem baixa	Confiabilidade	Resistente	Volume (tamanho)	Numero de subsistemas	Pressão do turbo	Assistência hidráulica	Importância $ID_i$	Avaliação Estratégica $E_i$	Avaliação Competitiva $M_i$	Priorização $ID_i^*$
Bomba hidráulica			9	9		3		9	2,0	2,0	1,5	3,464
Especificações	48mkgf mínimo	2,5L máximo	2500h mínimo	2500 h mínimo	0,25 m <sup>3</sup>	20 máximo	1 a 4 bar	Item de série				
Importância das C.Q. $IQ_i$	0,0	0,0	31,2	31,2	0	10,4	0	31,2				
Análise Competitiva $B_i$	0,0	0,0	1,5	1,0	0,0	1,0	0,0	1,5				
Dificuldade de Atuação $D_i$	0,0	0,0	1,0	1,0	0,0	0,5	0,0	1,5				
Priorização das C.Q. $IQ_i^*$	0,0	0,0	38,2	31,2	0,0	7,3	0,0	46,8				

Figura 25. Exemplo de QFD das partes (Empresa, 1999)

#### 4.5 Reavaliação do DFMEA

A reavaliação do DFMEA é feita com base na taxa de falhas e na tabela de ocorrência da falha (Tabela 9).

A taxa de falhas encontrada para a soltura do eixo (uma falha a cada 126 unidades fabricadas) equivale a um índice de ocorrência 6, ou seja, uma probabilidade de falha moderada. Analisando o DFMEA apresentado na Figura 8, constata-se que a causa potencial do modo de falha de “soltura do eixo da bomba” corresponde à causa “projeto da bomba sub-dimensionado”. Esta causa recebeu inicialmente o índice 1 em sua avaliação de ocorrência (Figura 8).

A alteração do índice de 1 para 6, para o item “projeto da bomba sub-dimensionado”, eleva o RPN inicial de 18 para 108 (Figura 26). Este índice, que anteriormente era o menor, agora é o mais elevado do *ranking* do DFMEA, devendo receber atenção total do grupo de projeto para que seja minimizado.

<p style="text-align: center;"><b>FMEA DE PROJETO</b> <b>ANÁLISE DO MODO E EFEITO DE FALHAS</b></p>													<p>NÚMERO DO FMEA : <b>1000</b> PÁGINA 01 DE 02</p>			
<b>SISTEMA: Motor HS</b>								<b>DATA: 11/11/99</b> <b>REVISÃO: 03</b>								
<b>SUBSISTEMA: Bomba hidráulica</b>								<b>ELABORADO POR (TIME): A.M.B.; R.T.; L.R.; R.R.</b>								
<b>COMPONENTE: T Bba hidráulica</b>																
<small>DESCRIÇÃO DO SUBSISTEMA E OBJETIVO DO SUBSISTEMA</small>	<b>MODO DA FALHA POTENCIAL</b>	<b>EFEITO POTENCIAL</b>	<b>S E V E R</b>	<b>C L A S S</b>	<b>CAUSA POTENCIAL</b>	<b>O C O R</b>	<b>CONTROLE</b>	<b>D E T E C</b>	<b>R P N</b>	<b>AÇÕES RECOMENDADAS</b>	<b>RESPONSÁVEL E CRONOGRAMA</b>	<b>AÇÕES TOMADAS E DATA</b>	<b>S E V E R</b>	<b>O C O R</b>	<b>D E T E C</b>	<b>R P N</b>
Bomba Hidráulica	Aquecimento	Direção fica "pesada"	5		Aquecimento do líquido hidráulico	4	Testes do fornecedor da bomba / Validação do produto	3	60							
	Soltura do eixo	Veículo fica sem direção (direção fica muito "pesada")	9	▽	Projeto da bomba sub-dimensionado	6	Tecnologia do fornecedor Testes de homologação	2	108							
	Perda de eficiência da bomba	Veículo fica sem direção (direção fica muito "pesada")	9	▽	Vazamento interno	3	Teste de homologação da aplicação	2	54							

Figura 26 – DFMEA após retroalimentação

As ações para solução do problema e diminuição do RPN obtido para o modo de falha identificado serão lideradas pelo time multidisciplinar do projeto, que deverá buscar alternativas como novos materiais, novos sistemas para lubrificação do eixo, nova especificação para o processo de fixação do mesmo ao seu mancal, enfim, novas formas de prevenir a ocorrência indevida deste modo de falha.

#### **4.6 Reavaliação do PFMEA**

Da mesma forma que no DFMEA, o PFMEA tem sua ocorrência de falha reavaliada de acordo com a taxa de falhas encontrada. Esta taxa, de uma unidade em cada 126 unidades fabricadas, corresponde a um índice de ocorrência igual a 6, uma taxa de falhas moderada, associada a processo prévio com falhas ocasionais.

No caso específico, o PFMEA elaborado na fábrica e exemplificado na Figura 9 refere-se a montagem da bomba hidráulica no motor. O modo de falha apresentado, soltura do eixo da bomba, refere-se a um problema interno da bomba. Como esta peça é montada pelo fabricante da bomba hidráulica, o PFMEA elaborado na empresa não irá contemplar este modo de falha.

Como a bomba hidráulica é um componente tratado como *black-box* (fornecedor é o detentor da tecnologia do componente) pela empresa, esta não tem acesso ao PFMEA do produto, sob alegação de sigilo e confidencialidade do projeto do componente.

Deste modo, a recomendação é da formação de um regime de parceria com o fornecedor, a fim de robustecer o projeto através da interação entre fornecedor e empresa. As informações obtidas neste estudo devem ser repassadas ao fornecedor no momento do desenvolvimento do novo produto, para que este possa compatibilizar seu produto com o novo projeto em desenvolvimento.

Da mesma forma, um novo estudo do PFMEA deve ser conduzido dentro da empresa, a fim de verificar se o modo de falha encontrado pode ter uma causa potencial durante o

processo de montagem da bomba hidráulica no motor. O estudo foi realizado utilizando-se os conceitos da multidisciplinaridade da equipe, tendo como base o PFMEA original. O PFMEA após a retroalimentação pode ser visto na Figura 27.

Após a realização do estudo, constatou-se que uma vulnerabilidade possível para o processo de montagem da bomba hidráulica no motor seria um desalinhamento entre as polias que são acionadas por uma mesma correia. O desalinhamento poderia exercer uma tração no eixo no sentido radial no momento do seu funcionamento. Como não há certeza absoluta sobre a causa raiz do modo de falha em estudo, atribuiu-se aqui todas as falhas como originadas por esta deficiência, resultando em uma ocorrência 6. O RPN gerou um novo *ranking*, agora com esta deficiência citada como a de maior valor. O grupo multidisciplinar propôs a elaboração de um gabarito para auxílio na montagem, a fim de eliminar esta possível falha, reduzindo assim seu valor de ocorrência e conseqüentemente o RPN.



<b>FMEA DE PROCESSO</b> <b>ANÁLISE DO MODO DE FALHA E EFEITO</b>												NÚMERO DO FMEA : PÁGINA 1 DE 3 .					
<b>SISTEMA : PROCESSO DE MONTAGEM DO MOTOR HS MAXION</b>										ARQUIVO NOME : <b>FFSMBH</b> DATA : 23/09/96 REVISAO : 4 - (17/01/01)							
<b>SUBSISTEMA : SUB - MONTAGEM DA BOMBA HIDRÁULICA E SUPORTE AUXILIAR DA Bba D'ÁGUA</b> <b>FIXAÇÃO DOS PARAFUSOS DO SUPORTE E DA BOMBA HIDRÁULICA.</b>										ELABORADO POR (TIME) <b>GRUPO TÉCNICO HS</b>							
<b>COMPONENTE: Parafusos de Fixação da Bomba Hidráulica e do Suporte.</b>										<b>OPERAÇÃO Nº : SM - 120</b>							
DESCRIÇÃO DO SUBSISTEMA E OBJETIVO DO SUBSISTEMA	<b>MODO DA FALHA            POTENCIAL</b>	<b>EFEITO            POTENCIAL</b>	<b>S            E            V            E            R</b>	<b>C            L            A            S            S</b>	<b>CAUSA            POTENCIAL</b>	<b>O            C            O            R            R</b>	<b>CONTROLE</b>	<b>D            E            T            E            C</b>	<b>R            P            N</b>	<b>AÇÕES            RECOMENDADAS</b>	<b>RESPONSÁVEL            E CRONOGRAMA</b>	<b>AÇÕES            TOMADAS            E DATA</b>	<b>S            E            V            E            R</b>	<b>O            C            O            R            R</b>	<b>D            E            T            E            C</b>	<b>R            P            N</b>	
*Fixação dos parafusos do suporte e da bomba hidr.	*Baixo torque de fixação dos parafusos	*Soltura do suporte da bba hidráulica. *Bba hidraulica para de funcionar *Dirigibilidade do veiculo afetada (dura).	9	▽	*Apertadeira reg fora da especificação (Calibração externa)	3	*Calibração pe *Folha de Processos *Auditoria de torque-aperto *Auditoria de desmontagem após teste	2	54								
	*Montar os parafusos de fixação do suporte da Bba Hid. sem a aplicação de Loctite 271.	*Desprend. dos paraf. do suporte *Desprend. Da bba hidraulica *Bba hidr. para de funcionar.	9	▽	*Montagem incompleta pelo operador	3	*Auditoria de desmontagem após teste *Auditoria de Embarque *Folha de Processo *Auxilio Visual.	4	108	*Re- treinamento dos operadores	*RR (10/08/96)	*Treinamento concluido em 01/08/96.	9	3	3	81	
	*Alinhamento da polia da bba hidraulica com as demais polias	*Correia força radialmente o eixo da bomba	9	▽	*Montagem incorreta pelo operador	6	*Ruido no teste dinamometrico	3	162	*Confecção de gabarito para montagem	*RGS (12/04/01)	*Em confecção	9	3	3	81	

Figura 27 – PFMEA após retroalimentação

#### ***4.7 Avaliação dos resultados***

Devido a análise realizada em uma única parte, o *ranking* originado pela Matriz das Partes do QFD apresentou poucas informações neste documento. Deste modo apenas foram trabalhados os *rankings* originados pelo DFMEA e pelo PFMEA, conforme apresentado nas etapas 4.5 e 4.6. As informações obtidas neste estudo mostram que o projeto necessita de um amadurecimento em relação ao original.

O desenvolvimento do estudo de QFD, bem como o DFMEA e o PFMEA a serem realizados no fornecedor da bomba hidráulica necessitarão de um forte trabalho em conjunto da equipe, juntamente com fornecedores e clientes, a fim de buscar a excelência do projeto.

O caso da soldura do eixo da bomba hidráulica é apenas um exemplo para este tipo de estudo. Todos os modos de falha encontrados no campo devem ser avaliados segundo esta metodologia, a fim de assegurar a evolução do produto, da tecnologia e do conhecimento da empresa.

Novamente aqui fica reforçado o conceito do projeto desenvolvido segundo os princípios da Engenharia Simultânea, ou seja, uma equipe de projeto constituída multidisciplinarmente, com integrantes oriundos dos diversos setores (projeto, processo, qualidade, clientes, fornecedores, etc.), a fim de maximizar as chances de êxito do produto, atendendo a todos os requisitos com o desempenho máximo.

## ***5 COMENTÁRIOS FINAIS***

### ***5.1 Conclusões***

O desenvolvimento deste estudo possibilitou o aprimoramento da utilização de uma metodologia ordenada para o projeto de um produto completo, incluindo as etapas de entrada de informações de clientes e de desenvolvimento de processo. O estudo possibilitou também a utilização dados oriundos de campo, informações estas de vital importância na avaliação das decisões tomadas pela equipe no desenvolvimento do produto.

A durante a revisão bibliográfica foi possível observar que algumas etapas do desenvolvimento do produto nem sempre são seguidas adequadamente, conforme recomendado pela norma QS-9000. Também permitiu observar que alguns assuntos relacionados ao texto não foram de fácil acesso, por serem de muito baixa utilização, mas de vital importância para esta metodologia. Por exemplo, o material sobre elaboração de Planos de Controle foi encontrado apenas em referências bibliográficas pertinentes ao assunto QS-9000.

A utilização conjunta de ferramentas como Desdobramento da Função Qualidade (QFD), Análise dos Modos e Efeitos de Falha de Produto (DFMEA) e de Processo (PFMEA) e técnicas de estudo de confiabilidade possibilitaram a visualização da complexidade do desenvolvimento de um produto nos dias atuais. Em meio a concorrência fortíssima e à volatilidade dos mercados, o desenvolvimento de um produto utilizando-se de todas as ferramentas abordadas neste trabalho consome uma boa parcela de tempo, fator hoje limitado em função de custos e da diminuição dos ciclos de desenvolvimento de produtos demandada por um mercado cada vez mais competitivo.

Usando-se todas estas ferramentas, além de pesquisa em bibliografias afins, formulou-se a metodologia proposta neste trabalho, composta por sete etapas: *Coleta de Dados*, *Estratificação de Dados de Reclamações no SAC*, *Estimação da Função de Confiabilidade*, *Retroalimentação do QFD*, *Retroalimentação do DFMEA*, *Retroalimentação do PFMEA* e *Avaliação dos Resultados*.

Tendo como base a metodologia proposta, foi dado início ao processo de retroalimentação do projeto do sistema de bomba hidráulica de um motor Diesel. Algumas das etapas propostas já foram implementadas no estudo de caso, tendo como resultado ações já iniciadas para melhoria do produto e do processo de fabricação, como a criação de um gabarito para auxiliar o processo de montagem da bomba, garantindo o alinhamento das polias.

## ***5.2 Sugestões para trabalhos futuros***

A implementação da metodologia proposta pode ser explorada em tópicos além do proposto nesta dissertação. Ao desenvolver a metodologia, sempre voltada para a utilização de ferramentas já consolidadas no meio da indústria automotiva, foi possível perceber a possibilidade de se inserir outras formas de incrementar a retroalimentação, a saber:

- Implementação de metodologia ordenada para que a voz do cliente, traduzida pelos vendedores que lidam com o público, possa vir a ser mais uma fonte de informação para o amadurecimento do projeto;
- Aprofundamento do tratamento sobre variáveis financeiras, pois o item custo, ausente na metodologia, atualmente define a tomada de decisão de um cliente no momento de fechar um negócio;
- A adaptação desta metodologia em empresas que não utilizam-se da metodologia para desenvolvimento de produtos apresentada na norma QS-9000.

**REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS**

AKAO, Y.; OHFUJI, T.; TANAKA, K. **QFD towards product development management**. In: PROCEEDINGS OF THE INTERNATIONAL SYMPOSIUM ON QUALITY FUNCTION DEPLOYMENT, 5., 1999, Belo Horizonte. **Anais...** [S.l.], 1999.

AKAO, Y. **Quality function deployment: integrating customer requirements into product design**. Cambridge: Productivity Press, 1990.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS **Planos de amostragem e procedimentos na inspeção por atributos: NBR 5426**. Rio de Janeiro, 1985. 71p.  
Origem: NB309/01/75

AUTOMOTIVE INDUSTRY ACTION GROUP. **Advanced product quality planning and control plan: Reference Manual**. Michigan, 1995. 114p.

AUTOMOTIVE INDUSTRY ACTION GROUP. **Potential failure mode and effect analysis (FMEA): Reference Manual**. Michigan, 1995, 64p.

AUTOMOTIVE INDUSTRY ACTION GROUP. **Quality system requirements: QS-9000**. 3rd Ed., Michigan, 1998. 142p.

CHEDIER, P. M.; NAVEIRO, R. M. **A contribuição do projeto orientado a montagem para melhoria da eficiência produtiva**. In: ENCONTRO NACIONAL DE ENGENHARIA DE PRODUÇÃO, 19, 1999, Rio de Janeiro. **Anais...** Rio de Janeiro, 1999.

- DIBAN, D. O. N.; GONTIJO, L. A. **Nova abordagem no projeto do produto:** as perspectivas caótica e fractal. In: ENCONTRO NACIONAL DE ENGENHARIA DE PRODUÇÃO, 19., 1999, Rio de Janeiro. **Anais...** Florianópolis, 1999.
- ELSAYED, Elsayed A. **Reliability engineering.** Reading, MA: Addison Wesley Longman, 1996. 737p.
- EUREKA, W.E. & RYAN, N.E. **QFD - Perspectivas Gerenciais do Desdobramento da Função Qualidade.** São Paulo: Qualitymark Editora, 1993, 105 p.
- FABRÍCIO, M. M.; BAÍÁ, J. L.; MELHADO, S. B. **Estudo da seqüência de etapas do projeto na construção de edifícios:** cenários e perspectivas. In: ENCONTRO NACIONAL DE ENGENHARIA DE PRODUÇÃO, 19., 1999, Rio de Janeiro. **Anais...** São Paulo, 1999.
- FERREIRA, A. M., **Desdobramento da qualidade em serviços: O caso da biblioteca da Escola de Engenharia da UFRGS.** Dissertação de Mestrado em Engenharia de Produção (Engenharia da Qualidade) – Programa de Pós-Graduação em Engenharia de Produção, UFRGS. Porto Alegre, 1997.
- FOGLIATTO, F. S.; GUIMARÃES, L. B. M. **Design macroergonômico de postos de trabalho.** Porto Alegre, 1999.
- FUNDAÇÃO PREMIO NACIONAL PARA A QUALIDADE (FNPQ), **Crítérios de excelência.** São Paulo, 2000. Disponível na Internet. <http://www.fnpq.org.br/download.htm>, 2000.
- GIBBONS, J. D.; CHAKRABORTI, S. **Nonparametric Statistical Inference.** 3ª Ed., New York: Marcel Dekker, 1992. 544p.
- HOYLAND, A.; RAUSAND, M. **System Reliability Theory: models and statistical methods.** New York: John Willey & Sons, 1994. 518p.

- KAPUR, K. C.; LAMBERSON, L. R. **Reliability in engineering design**. New York: John Willey & Sons, 1977. 586p.
- KRAJEWSKI, L. J.; RITZMAN, L. P. **Operations management: strategy and analysis**. 5th Ed., MA: Addison Wesley Longman, 1999.
- KUME, H. **Métodos estatísticos para melhoria da qualidade**. São Paulo: Gente, 1993.
- LAW, A. M.; KELTON, W. D. **Simulation modeling and analysis**. 3<sup>rd</sup> Ed., New York: McGraw Hill, 2000.
- LEEMIS, L. M. **Reliability: probabilistic models and statistical methods**. New York: John Willey & Sons, 1995. 319p.
- MANN, N.R., SCHAFER, R.E. & SINGPURWALLA, N.D. **Methods for statistical analysis of reliability and life data**. New York: John Wiley & Sons, 1974. 555 p.
- MAZUR, G. H. **Service QFD: State of the art update**. In: PROCEEDINGS OF THE INTERNATIONAL SYMPOSIUM ON QUALITY FUNCTION DEPLOYMENT, 5., 1999, Belo Horizonte. **Anais...** Michigan, 1999.
- MENEGON, N. L.; ANDRADE, R. S. **Projeto do produto em engenharia de produção**. In: ENCONTRO NACIONAL DE ENGENHARIA DE PRODUÇÃO, 18, 1998 Rio de Janeiro. **Anais...** Rio de Janeiro, 1998.
- MONTGOMERY, D. C.; PECK, E. A. **Introduction to linear regression analysis**. 2nd Ed., New York: John Willey & Sons, 1992. 522p.
- MONTGOMERY, D. C. **Introduction to statistical quality control**. New York: John Willey & Sons, 1985

- OSBORN, A. F. **Applied imagination**; principles and procedures of creative problem solving. 3rd Ed., New York: Scribner, 1963.
- RELIASOFT CORPORATION **The mean life function**. [S.l.] 2000. Disponível na Internet. [http://www.weibull.com/LifeDataWeb/mean\\_life\\_function.htm](http://www.weibull.com/LifeDataWeb/mean_life_function.htm), 2000.
- RIBEIRO, J. L. D.; FOGLIATTO, F. S.; **Confiabilidade de componentes e sistemas**. Apostila de Curso. Programa de Pós-Graduação em Engenharia de Produção. Porto Alegre: UFRGS, 1998.
- RIBEIRO, J. L. D.; DANILEVICZ, A. M. F.; ECHEVESTE, M. *et al.* **Desdobramento da função qualidade: QFD**. Apostila de Curso. Programa de Pós-Graduação em Engenharia de Produção. Porto Alegre: UFRGS, 1998.
- ROESCH, S.M.A. **A dissertação de mestrado em Administração: proposta de uma tipologia**. Série Documentos para Estudo 14/94. Programa de Pós-Graduação em Administração, UFRGS, Porto Alegre, 1994.
- RUTKOWSKI, J. E. **Refletindo sobre QFD**. In: ENCONTRO NACIONAL DE ENGENHARIA DE PRODUÇÃO, 17., 1996, Belo Horizonte. **Anais...** Piracicaba, 1996.
- SANTOS, J. A.; SANTOS, R. C. **Desenvolvendo produtos competitivos: exemplo de um modelo para a integração das fases do planejamento e do projeto do produto**. In: ENCONTRO NACIONAL DE ENGENHARIA DE PRODUÇÃO, 16., 1997, Gramado. **Anais...** São Paulo, 1997.
- SHINGO, S. **O sistema toyota de produção do ponto de vista da engenharia de produção**. Porto Alegre: Bookman, 1996. 291p.
- SPALL, N. R. **Confiabilidade: Estimativas do tempo de vida de motores Diesel**. Porto Alegre, UFRGS, 1999. 104p.



STAMATIS, D. H. **Failure mode and effect analysis: FMEA from theory to execution.** Milwaukee, Quality Press, 1995.

TORRES, M. S.; LEITÃO, F. B.; JUNIOR, A. A. P. **Benefícios da manufatura sincronizada:** um caso prático de implantação de m sistema de planejamento fino da produção. In: ENCONTRO NACIONAL DE ENGENHARIA DE PRODUÇÃO, 19., 1999, Rio de Janeiro. **Anais...** Porto Alegre, 1999

WERKEMA, M. C. C.; **Seis sigma:** treinamento para black belts sessão 1. Belo Horizonte: Fundação de Desenvolvimento Gerencial, 2000.

YIN, R.K. **Case study research – design and methods**, 2<sup>a</sup> Ed. Stage Publications, London, 1994.