

**FABYO AJONA MARCIANO MARQUES**

**MARCIO LUIS DE SOUZA**

**Aplicação do estudo de confiabilidade para obtenção do aumento  
da disponibilidade operacional de uma motocicleta de baixa  
cilindrada e de um reator químico**

São Paulo  
2006

**FABYO AJONA MARCIANO MARQUES**

**MARCIO LUIS DE SOUZA**

**Aplicação do estudo de confiabilidade para obtenção do aumento  
da disponibilidade operacional de uma motocicleta de baixa  
cilindrada e de um reator químico**

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

Orientador:  
Prof. Dr. Adherbal Caminada Netto

São Paulo  
2006

Eu, Marcio, dedico este trabalho aos meus pais que sempre me incentivaram a dar continuidade nos meus estudos e à minha namorada pelos momentos quando não foi possível eu lhe prestar a atenção merecida.

Eu, Fabyo, dedico este trabalho à minha esposa e filhos, que sentiram a minha ausência durante o período de realização deste trabalho. E também, ao meu falecido pai que sempre me incentivou para seguir a carreira de engenheiro que hoje exerço com muita satisfação.

## **AGRADECIMENTOS**

A todos os nossos professores do PECE/USP que nos proporcionaram um salto de conhecimento, atitude e habilidade muito importante para o prosseguimento da nossa vida profissional. Em especial, ao Prof. Dr. Adherbal Caminada Netto e ao Prof. Dr. Gilberto Francisco M. de Souza, pela orientação nos prestada durante o desenvolvimento deste trabalho.

A todos nossos companheiros de curso MBA – Engenharia/Gestão da Qualidade e também a todos os demais que, diretamente ou indiretamente, colaboraram com a execução do nosso trabalho.

## RESUMO

Atualmente, não basta um produto com alto grau de qualidade, outro fator adicional que é bastante considerado é o quanto este produto é confiável. Assim, mais importante do que se considerar o simples atendimento a requisitos do projeto, é considerar se este atendimento refletirá num desempenho dentro do que se espera, em determinadas condições de utilização, sejam ambientais ou temporais. Em conseqüência, torna-se muito importante saber a confiabilidade dos produtos e equipamentos. Em convergência a esta nova realidade, os estudos buscam traduzir o desempenho de dois produtos de bastante aceitação e importância para o mercado por intermédio do estudo de suas confiabilidades. Para isto, parte-se dos históricos de garantia e manutenção destes equipamentos e de seus componentes mais problemáticos, ou seja, aqueles que afetam de modo mais significativo os seus desempenhos e, conseqüentemente, as suas disponibilidades operacionais. O trabalho passa pela importância e descrição dos mercados em que estes equipamentos estão inseridos, pelos modelos estatísticos utilizados para a obtenção de suas confiabilidades, pelo estudo de melhorias propostas e pela simulação da reflexão da implantação destas melhorias propostas no desempenho dos equipamentos abordados, visando obter como resultados uma melhoria de suas confiabilidades, e por conseqüência, um ganho de competitividade para as empresas que os manufaturam.

Palavras-chave: Confiabilidade, disponibilidade operacional.

## **ABSTRACT**

Nowadays, it is not enough to have a high quality level product, another factor which is to be considered is how reliable this product is. Therefore, more important than complying with specifications conformity, it is to consider whether this conformity will result in the expected performance, under specific use conditions, such as environmental or temporal ones. As a consequence, it becomes very important to know the reliability of products and equipment. Within this new reality, the studies will try to translate the performance of two highly accepted and important products in the market, by studying their reliability. To achieve this objective, the guarantee and maintenance records of these pieces of equipment will be analyzed and most relevant components of these products, the ones which affect their performances and their operational availability more meaningfully, will be segregated. The study will approach the importance and description of the markets in which these pieces of equipment are traded, according to the statistical methods used to obtain their reliability, by studying the improvement suggested in the performance of the pieces of equipment mentioned, in order to obtain, as a result, the clear determination of their reliability, to provide an increase in their operational availability and, therefore, in the competitiveness of the companies which manufacture them.

**Keywords:** Reliability, operational availability.

# SUMÁRIO

## LISTA DE FIGURAS

## LISTA DE TABELAS

## LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

1. INTRODUÇÃO.....	1
1.1 Considerações sobre o equipamento motocicleta de baixa cilindrada.....	1
1.2 Considerações sobre o reator destinado à produção do “ <i>Corante Anil</i> ”.....	3
1.3 Motivação para implantar o estudo.....	5
1.4 Objetivo do trabalho.....	5
2. FUNDAMENTOS TEÓRICOS.....	6
2.1 Conceito de confiabilidade.....	6
2.2 Funções de confiabilidade e taxa de falha.....	7
2.3 Curva da banheira.....	11
2.4 Distribuição de probabilidade Weibull.....	14
2.5 Teste de Aderência.....	16
2.6 Censura.....	19
2.7 Análise dos Modos e Efeitos das Falhas (FMEA).....	21
3 . ESTUDO DE CASO: ESTUDO DE CONFIABILIDADE NUMA MOTOCICLETA DE BAIXA CILINDRADA.....	30
3.1 Análise da Confiabilidade do Regulador Tensor da Corrente do Comando.....	34
3.2 Análise da Confiabilidade do Retentor Tampa Lateral Direita Motor.....	39
3.3 Análise da Confiabilidade do Cilindro “Aletado” do Motor.....	40
3.4. Análise e Solução de Problemas.....	42
4 . ESTUDO DE CASO: ESTUDO DE CONFIABILIDADE NUM REATOR QUÍMICO.....	48
5 . CONCLUSÃO.....	60

## REFERÊNCIAS

## ANEXOS

## LISTA DE FIGURAS

Figura 1 – Indicadores da economia (SELIC, IPCA, Banco do Brasil e IBGE, 2005)..2	
Figura 2 – Comparação de vendas – automóveis e motocicletas de baixa cilindrada (ABRACICLO; ANFAVEA, 2005).....2	
Figura 3 – Função de probabilidade acumulada $F(t)$ (MARTHA SOUZA, 2003).....8	
Figura 4 – Função de confiabilidade $R(t) = 1 - F(t)$ (MARTHA SOUZA, 2003).....9	
Figura 5 – Curva da banheira.....11	
Figura 6 – Função densidade de probabilidade da distribuição de Weibull (MARTHA SOUZA, 2003).....15	
Figura 7 – Custo de uma modificação durante o ciclo de um projeto (PALADY, 2002).....22	
Figura 8 – Formulário FMEA (PALADY, 2002).....23	
Figura 9 – Quantidade produzida da referida motocicleta de baixa cilindrada (ABRACICLO, 2006).....30	
Figura 10 – Gráfico de Pareto dos itens mais crônicos em ocorrências de garantia..31	
Figura 11 – Distribuição da quilometragem para veículos que não apresentaram falhas durante o período de garantia, mas que foram revisadas.....33	
Figura 12 – Croqui aplicação regulador tensor corrente.....34	
Figura 13 – Tela de entrada dos dados para um ensaio censurado com dados agrupados.....35	
Figura 14 – Distribuição Weibull obtida a partir do software "Reliasoft Weibull ++"...36	
Figura 15 – Tela que demonstra a confiabilidade para a quilometragem correspondente a um ano de garantia.....36	
Figura 16 – Tela que demonstra o teste de aderência.....37	
Figura 17 – Gráfico da função densidade de probabilidade da distribuição.....38	
Figura 18 – Gráfico evolução taxa de falha.....38	
Figura 19 – Croqui aplicação retentor tampa lateral direita motor.....39	
Figura 20 – Gráfico função densidade de probabilidade para os dados de falha do retentor da tampa lateral direita motor.....40	
Figura 21 – Croqui aplicação cilindro motor.....41	
Figura 22 – Gráfico função densidade probabilidade para os dados de falha no cilindro do motor. ....42	
Figura 23 – Gráfico de Pareto – reclamações de garantia regulador tensor corrente comando.....42	
Figura 24 – Gráfico de Pareto – reclamações de garantia retentor tampa lateral direita motor.....43	
Figura 25 – Gráfico de Pareto – reclamações de garantia cilindro motor.....43	

Figura 26 – Regulador tensor corrente – 5W1H ruído excessivo motor.....	44
Figura 27 – Retentor tampa lateral direita motor – 5W1H vazamento óleo.....	44
Figura 28 – Cilindro – 5W1H fumaceamento excessivo motor.....	44
Figura 29 – Regulador tensor corrente – “5 porquês”.....	45
Figura 30 – Retentor tampa lateral direita – “5 porquês”.....	45
Figura 31 – Cilindro – “5 porquês”.....	46
Figura 32 – Formulário de análise do tipo FMEA, mostrando a análise dos modos e efeitos das falhas dos itens crônicos abordados neste estudo.....	46
Figura 33 – Efeito dos resultados após a conclusão do estudo.....	47
Figura 34 – Fluxograma de identificação de sistemas críticos.....	49
Figura 35 – Pareto por custo da manutenção.....	50
Figura 36 – Desenho do reator simplificado.....	51
Figura 37 – Estrutura do reator.....	52
Figura 38 – Gráfico de Pareto, recursos gastos por subsistema.....	53
Figura 39 – Tabela de análise do tipo FMEA.....	54
Figura 40 – Tempo até a falha da válvula de fundo.....	55
Figura 41 – Confiabilidade x Tempo da válvula de fundo.....	56
Figura 42 – Confiabilidade x Tempo do motor.....	57
Figura 43 – Confiabilidade x Tempo do sistema de gaxeta.....	57
Figura 44 – Confiabilidade x Tempo do queimador.....	58
Figura 45 – Confiabilidade x Tempo do redutor.....	58
Figura 46 – Confiabilidade antes x após implementação parcial (sistema de gaxeta).....	59

## LISTA DE TABELAS

Tabela 1 – Evolução e previsão do mercado de motocicletas no Brasil (ABRACICLO, 2006).....	1
Tabela 2 – Produtores de corantes e pigmentos no Brasil (GARANTINI; ZANONI, 1999).....	4
Tabela 3 – Causas de falhas nas etapas da curva da banheira (LANFRAIA, 2001).....	14
Tabela 4 – Critério da avaliação de severidade sugerido (PALADY, 2002).....	26
Tabela 5 – Critério de probabilidade de detecção sugerido (PALADY, 2002).....	27
Tabela 6 – Critério da probabilidade de falha sugerido (PALADY, 2002).....	28
Tabela 7 – Demonstração da obtenção da quilometragem dos casos em que as motocicletas não passaram por revisão.....	33
Tabela 8 – Comparação confiabilidades anterior e após tomada de ação.....	47
Tabela 9 – Confiabilidade dos sub sistemas críticos.....	55
Tabela 10 – Intervalos ótimos entre as intervenções preventivas.....	56

## LISTA DE SÍMBOLOS

$t$	tempo decorrido
$P(.)$	função probabilidade
$f(t)$	função densidade probabilidade de falha
$F(t)$	função de probabilidade acumulada
$R(t)$	função de confiabilidade
$h(t)$	função taxa de falha
$N$	número de elementos em análise
$t_i$	tempo em que se observa-se a falha do $i$ -enésimo elemento da amostra
$n_i$	número de itens sobreviventes no tempo $t_i$
$f_i$	número de falhas no tempo $t_i$
$CV$	coeficiente de variação
$\alpha$	tempo médio de vida – parâmetro de distribuição exponencial
$\beta$	parâmetro de forma da distribuição de Weibull
$\eta$	parâmetro de escala da distribuição de Weibull
$X^2$	função qui-quadrado
$R$	coeficiente de correlação
$R^2$	coeficiente de determinação
$\Sigma t$	somatória do tempo de vida de todas as amostras

## LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

FMEA	Failure Mode, Effects and Analysis
QFD	Quality Function Deployment
ABIT	Associação Brasileira de Indústria Têxtil

## 1 . INTRODUÇÃO

Os equipamentos envolvidos neste estudo possuem grande importância para as empresas que os manufaturam, seja pela participação direta ou indireta que possuem nos resultados das organizações, seja pela importância da sua aceitação por parte dos seus usuários. E também vale ressaltar, o cenário atual dos mercados em que estas empresas estão inseridas que se mostra em fase de expansão, o que mostra a importância de se obter estes equipamentos com uma confiabilidade adequada para preservar ou aumentar a satisfação de seus usuários.

### 1.1 Considerações sobre o equipamento motocicleta de baixa cilindrada

O mercado de motocicletas no Brasil se encontra em grande expansão, como mostra a Tabela 1.

Tabela 1 – Evolução e previsão do mercado de motocicletas no Brasil  
Fonte: ABRACICLO, 2006

* Previsão	VENDAS			
ANO	PRODUÇÃO	M.INTERNO	EXPORTAÇÃO	TOTAL
2006†	1.335.000	1.160.000	175.000	1.335.000
2005	1.214.568	1.024.987	184.592	1.208.795
2004	1.057.333	911.717	157.400	1.069.117
2003	954.620	848.377	100.440	948.817
2002	861.469	792.424	68.050	860.474
2001	753.159	692.096	60.190	752.286
2000	634.984	574.149	60.260	634.409
1999	473.802	441.536	32.607	474.143
1998	475.725	460.122	20.374	480.496
1997	426.547	407.430	16.415	423.845
1996	288.073	275.668	14.913	290.581
1995	217.327	200.592	12.930	213.522
1994	141.140	127.395	14.334	141.729
1993	83.458	67.997	15.805	83.802
1992	86.194	53.450	35.596	89.046

Com boas expectativas do mercado de um modo geral, evidenciados neste estudo na Figura 1 por intermédio do desempenho favorável dos indicadores da

economia, como a queda da taxa de juros, do índice de preços no atacado, da taxa de desemprego e a estabilidade da taxa cambial, o crescimento das vendas de motocicletas no Brasil poderá alcançar patamares ainda muito maiores do que os já alcançados.

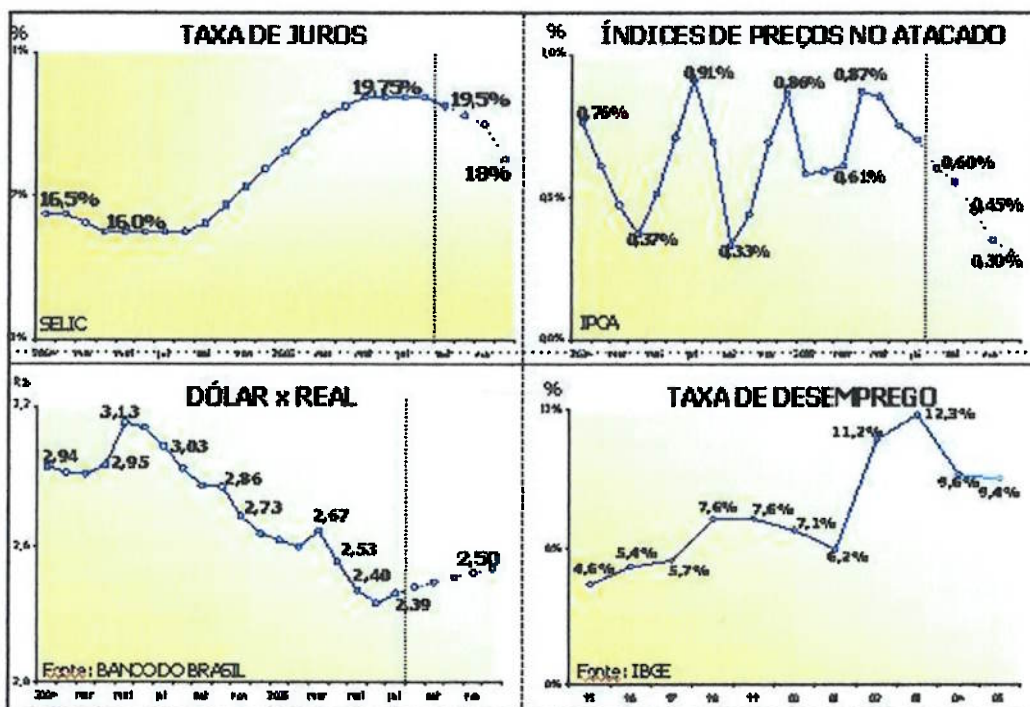


Figura 1 – Indicadores da economia  
 Fonte: SELIC, IPCA, Banco do Brasil e IBGE, 2005

Na Figura 2, observa-se que, atualmente, uma motocicleta de baixa cilindrada é simplesmente o veículo mais vendido no Brasil.

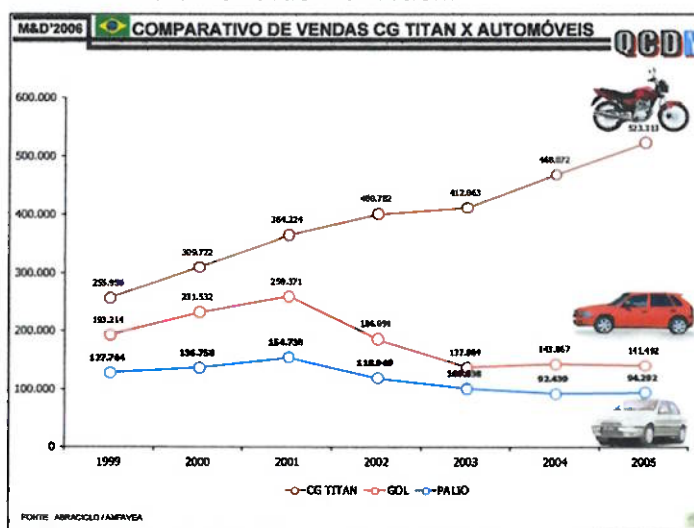


Figura 2 – Comparação de vendas - automóveis e motocicleta de baixa cilindrada  
 Fonte: ABRACICLO;ANFAVEA, 2005

Por outro lado, devido a este panorama bastante atrativo, a concorrência entre as organizações que comercializam e/ou fabricam motocicletas vem se apresentando numa magnitude tão expressiva quanto o crescimento esperado para o seu mercado.

Logicamente nesta nova situação, de expansão do mercado e da concorrência, a obtenção da confiabilidade do produto ofertado, evidenciando causas e apresentando propostas concretas para a eliminação destas causas que mais afetam esta confiabilidade, é de extrema importância para se conseguir um produto mais competitivo e muito mais atrativo.

## **1.2 Considerações sobre o reator destinado à produção do “Corante anil”**

Até a metade do século XIX, todos os corantes eram derivados de folhas, ramos, raízes, frutos ou flores de várias plantas e de substâncias extraídas de animais. O primeiro corante sintético foi descoberto apenas em 1856 na Inglaterra. Com a intensa inovação tecnológica ao redor de 1915, a Alemanha manteve o monopólio sobre a produção de corante sintético até a Segunda Guerra Mundial. Hoje a indústria de corantes dos Estados Unidos é a maior fonte exportadora destes produtos, colocando no mercado aproximadamente 2.000 tipos diferentes de corantes sintéticos.

O equipamento em estudo é destinado à produção do corante *anil*, usado para tingir fios de algodão empregados na manufatura de tecido conhecido como *jeans*. É um composto azul, insolúvel em água e conhecido desde longa data. O *jeans* é um dos setores mais ativos do mercado brasileiro e, das indústrias têxteis ao grande varejo, do atacado às exportações, o segmento está em alta.

De acordo com os dados oficiais da Associação Brasileira da Indústria Têxtil e de Confecção de 2004, o Brasil é o segundo maior produtor de *jeans* do mundo, perdendo apenas para a China. Atualmente, a produção mensal brasileira de *jeans* é de 45 milhões de metros, dos quais 10 milhões são exportados.

É impossível mensurar o total de produtos *jeans* feitos no país, pois os itens são muito diversificados, tais como vestidos, camisas, saias, calças, jaquetas etc., e as empresas não têm dados precisos. Contudo, estima-se que foram fabricadas 204.207.000 calças *jeans* no país em 2004 (ABIT, 2006). O maior pólo de produção de todo o segmento é o estado de São Paulo.

A Tabela 2 ilustra as principais empresas produtoras de corantes no Brasil. Com pequenas exceções, estas indústrias localizam-se basicamente no eixo Rio de Janeiro - São Paulo e a maioria é dependente de produtos intermediários importados, tais como, derivados de benzeno, naftaleno e tolueno.

Tabela 2 – Produtores de Corantes e Pigmentos no Brasil  
Fonte: Guaratini; Zanoni, 1999

Empresa	Localização	Tipo de Produto
BANN	SP	corantes a cuba.
BASF	SP	corantes ácidos, corantes básicos, corantes diretos, corantes dispersos, corantes reativos, corantes à cuba, corantes solventes, corantes pré-metalizados, pigmentos orgânicos.
BAYER	RJ	corantes ácidos, corantes diretos, corantes pré-metalizados.
BRACOTEX	SP	corantes ácidos.
CHIMICAL	SP	corantes ácidos, corantes básicos, corantes diretos, corantes pré-metalizados.
CIBA	RJ	corantes ácidos, corantes básicos, corantes diretos, corantes dispersos, corantes reativos, corantes pré-metalizados.
CLARIANT	SP/RJ	corantes ácidos, corantes básicos, corantes diretos, corantes dispersos, corantes mordentes, corantes reativos, corantes sulfurosos, corantes à cuba, corantes pré-metalizados.
DYSTAR	SP	corantes ácidos, corantes azóicos, corantes dispersos, corantes reativos.
ENIA	SP	corantes ácidos, corantes azóicos, corantes diretos, corantes dispersivos, corantes reativos, corantes sulfurosos, corantes à cuba, corantes solventes, corantes pré-metalizados.
HOESCHT	SP	corantes ácidos, corantes solventes, corantes pré-metalizados.

Além de satisfazer questões referentes à qualidade e ao atendimento ao cliente, manter o equipamento em boas condições de uso é um item fundamental para o atendimento das normas ambientais e de produção do corante.

### **1.3 Motivação para implantar o estudo**

Exigência de maior confiabilidade em sistemas que estão inseridos em mercados bastante competitivos;

- Necessidade de otimização dos custos de manutenção, redução de índices de falhas e aumento da segurança;
- Suporte à reestruturação das tarefas e procedimentos de manutenção;
- Suporte à atualização de procedimentos operacionais;
- Estabelecimento de uma manutenção inteligente;
- Expectativa da obtenção de resultados importantes gerando uma possibilidade de redução na reserva destinada a custos de falhas que compõem os custos dos produtos envolvidos.

### **1.4 Objetivo do trabalho**

Este trabalho visa obter a confiabilidade dos reatores químicos e dos componentes crônicos de uma motocicleta de baixa cilindrada e, a partir daí, oferecer aos seus usuários uma proposta de aumento da disponibilidade operacional destes equipamentos a fim de torná-los mais competitivos.

## 2 . FUNDAMENTOS TEÓRICOS

### 2.1 Conceito de confiabilidade

O conceito de confiabilidade foi introduzido para debelar as falhas em equipamentos eletrônicos de uso militar nos anos 50 nos Estados Unidos da América. A tarefa foi conduzida por um grupo de estudos da “*Federal Aviation Administration*”, cujas conclusões deram uma nova orientação aos procedimentos de manutenção no sentido de que se um item não possui um modo predominante e característico de falha, revisões programadas afetam muito pouco o nível de confiabilidade do item e assim, para muitos itens, a prática de manutenção preventiva não é eficaz (MOUBRAY, 1996).

Equipamentos, como os que serão abordados neste estudo, são conjuntos de partes que formam sistemas reparáveis. Um sistema reparável pode ser plenamente restaurado após uma perda de desempenho em uma das suas funções, a sua restauração pode ocorrer por qualquer método que não seja a troca total do sistema, podendo se dar por trocas parciais ou por reparos em partes. Após a intervenção, a operação do sistema é retomada em um nível de desempenho tal como se a falha não houvesse ocorrido (1984, LINDQVIST; ASCHER, H. e FEINGOLD, 2003).

O conceito de confiabilidade considerado neste estudo foi o contido na norma ABNT NBR 5462, que conceitua confiabilidade de um item como sendo a probabilidade de que este item desempenhe a função requerida, por um intervalo de tempo estabelecido, sob condições definidas de uso (ABNT, 1994).

Encontra-se ainda outras definições de confiabilidade, como a que define confiabilidade como sendo a probabilidade de um item executar a sua função sob condições pré definidas de uso e manutenção por um período de tempo específico (MANUAL MILITAR DOS ESTADOS UNIDOS DA AMÉRICA, 1970, apud MARTHA DE SOUZA, 2003). Porém, apesar de haver diferentes definições de confiabilidade, vale ressaltar alguns elementos fundamentais, comuns e necessários contidos nestas definições (LAFRAIA, 2001):

- estabelecimento das funções para as quais o produto foi projetado;
- definição do que se entende por um desempenho satisfatório (especificação de desempenho, definição de falha);
- estabelecimento das condições de operação (temperatura, vibração, altitude, etc.);
- definição do período de tempo durante o qual o produto deve desempenhar suas funções do modo desejado e planejado (isto é, número de horas, ciclos, etc.). Este período também é chamado de tempo de missão.

## 2.2 Funções de confiabilidade e taxa de falha

Outra forma de conceituar confiabilidade é: “ a probabilidade de que um sistema ou equipamento sobreviva por um período de tempo específico”.

Expressando este conceito em termos da variável aleatória  $t$ , o tempo até ocorrer a falha, e da correspondente função densidade de probabilidade ( $fdp$ ) de ocorrência de falha  $f(t)$ , tem-se que a probabilidade de falha, em um intervalo de tempo específico, pode ser definida pela relação (2.1) (MARTHA DE SOUZA, 2003):

$$f(t) \Delta t = P\{t < t < t+ \Delta t\} \quad (2.1)$$

Sendo  $F(t)$  a função de probabilidade acumulada, vem:

$$F(t) = P\{t < t\} \quad (2.2)$$

$F(t)$  expressa a probabilidade de ocorrer falha até um tempo  $t$ .

Esta função  $F(t)$  é crescente com o tempo, atingindo um valor unitário quando  $t$  tende a  $\infty$ , tal como indicado na Figura 3:

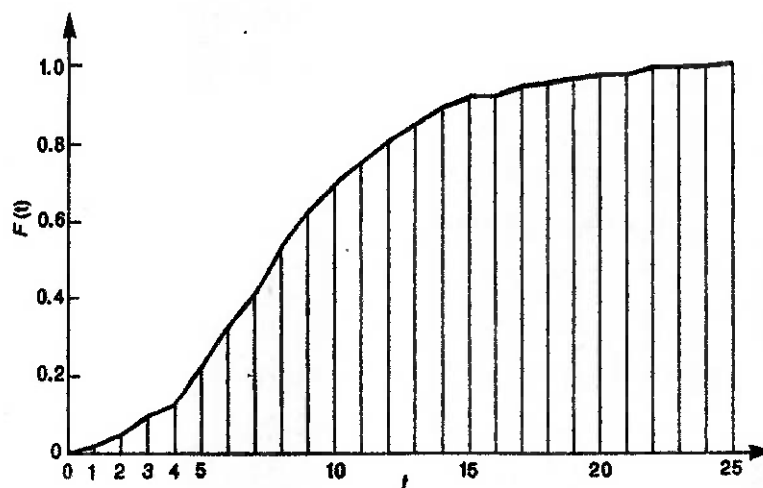


Figura 3 – Função de probabilidade acumulada  $F(t)$   
Fonte: MARTHA DE SOUZA, 2003

Como, sob o ponto de vista da lógica de sua operação, um componente ou equipamento ou está operando adequadamente, conforme previsto no projeto, ou está no estado de falha, portanto eventos mutuamente excludentes, a confiabilidade pode ser, probabilisticamente, expressa pela relação (2.3):

$$R(t) = P\{t > t\} \quad (2.3)$$

ou seja,

$$R(t) = 1 - F(t) \quad (2.4)$$

A função de confiabilidade está mostrada na Figura 4:

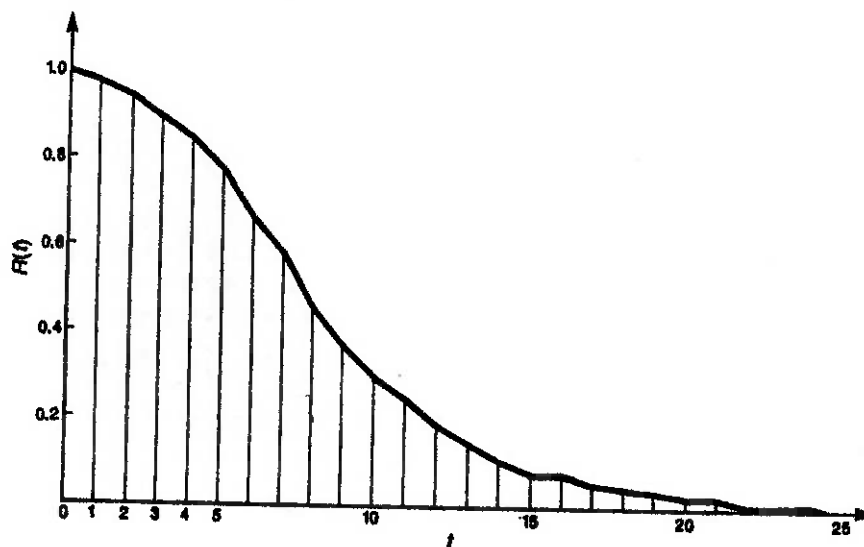


Figura 4 – Função de confiabilidade  $R(t) = 1 - F(t)$   
Fonte: MARTHA DE SOUZA, 2003

Como decorrência da própria definição da função distribuição acumulada, tem-se:

$$R(t = 0) = 1$$

$$R(t = \infty) = 0$$

Verifica-se assim, que a confiabilidade de um produto ou sistema apenas decai ao longo do tempo. Ou seja, quanto maior o tempo de operação do mesmo, maior será a probabilidade de apresentar falha. Portanto, apenas no instante em que o equipamento é colocado em operação, sua confiabilidade é de 100%.

Adicionalmente, pode-se afirmar que a confiabilidade não é restaurada, ou seja, não dá saltos ao longo da vida operacional. Logo, sob o ponto de vista do projeto baseado em confiabilidade, a vida operacional do equipamento é definida quando o mesmo atinge certo valor de confiabilidade. Este valor é selecionado pelo

próprio projetista, em função da responsabilidade do sistema, ou seja, quanto maiores os prejuízos associados à falha, maior é a confiabilidade exigida para o equipamento (MARTHA DE SOUZA, 2003).

O comportamento de determinado produto com relação à falha é melhor compreendido pelo exame do comportamento de sua taxa de falha.

Esta taxa de falha, representada neste estudo por  $h(t)$ , pode ser definida em termos da própria confiabilidade, como segue:

Sendo  $h(t) \Delta t$  a probabilidade de que o sistema falhará em um tempo  $t < t + \Delta t$ , dado que ainda não falhou até o tempo  $t = t$ , tem-se que  $h(t) \Delta t$  é a probabilidade condicional (MARTHA DE SOUZA, 2003):

$$h(t) \Delta t = P(t < t + \Delta t / t > t) \quad (2.5)$$

Para dois eventos quaisquer A e B, sendo  $P(B) > 0$ , define-se a probabilidade condicional de A, dado B, como sendo:

$$P(A/B) = \frac{P(A \cap B)}{P(B)} \quad (2.6)$$

Onde interseção de A e B reflete que os eventos ocorrem simultaneamente.

Assim, com base na definição de probabilidade condicional, tem-se:

$$P(t < t + \Delta t / t > t) = \frac{P\{(t > t) \cap (t < t + \Delta t)\}}{P(t > t)} \quad (2.7)$$

Como o numerador da equação é a própria  $f(t) \Delta t$  e o denominador é a  $R(t)$ , vem:

$$h(t) = f(t) / R(t) \quad (2.8)$$

ou seja,  $h(t)$  expressa a taxa de falha instantânea, com:

$f(t)$  = função densidade de probabilidade de falha;

$R(t)$  = função de confiabilidade.

### 2.3 Curva da banheira

O comportamento da taxa de falha  $h(t)$  em relação ao tempo  $t$  é indicador das causas de falha. A curva da banheira, apresentada na Figura 5, representa graficamente esta relação para um sistema sem redundância ou um componente específico.

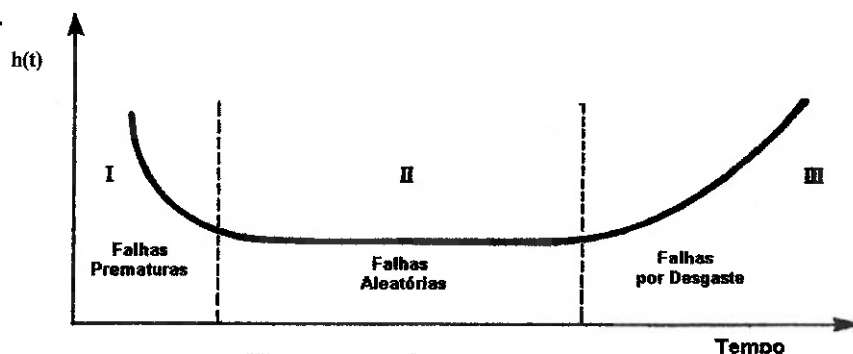


Figura 5 – Curva da Banheira  
Fonte: MARTHA DE SOUZA, 2003

Na curva da banheira, pode-se perceber que um componente apresenta três períodos de vida característicos. O relativamente curto intervalo de tempo indicado por "I" na Figura 5 é uma região de altas taxas de falha, que decrescem a partir de  $t = 0$ . Esta região é conhecida como falha precoce ou ainda em analogia com seres humanos, por mortalidade infantil. Sob este parâmetro de comparação, as mortes neste período, são causadas por defeitos congênitos ou fraquezas, e portanto a taxa de mortalidade decresce com o tempo. Normalmente, as falhas precoces ou prematuras estão relacionadas com problemas de fabricação, de montagem ou

mesmo com o material empregado na fabricação do componente. Muitas vezes a falha precoce é contornada através da especificação de um período de tempo durante o qual o equipamento realiza um pré teste. Durante este tempo o carregamento e a utilização do produto são controlados de tal maneira que os problemas são detectados e os componentes são reparados. Estes problemas de falha precoce não são usuais, ou seja, ocorrem esporadicamente, muitas vezes por alguma razão não específica. No caso de montagem é bastante comum a falha estar relacionada a algum erro humano do responsável pela montagem (MARTHA DE SOUZA, 2003).

O intervalo de tempo intermediário da curva da banheira, indicado por "II" na Figura 5, é caracterizado por constantes e menores taxas de falhas. É o período de vida útil, o de operação do produto, e as falhas que ocorrem nesta fase são denominadas de falhas aleatórias. Normalmente são originárias de carregamentos inevitáveis e inesperados, sendo pouco frequentes as falhas devido a defeitos inerentes ao equipamento em si. Fazendo-se uma analogia com a população humana, as mortes nesta parte da curva da banheira são decorrentes de acidentes ou doenças infecciosas. Nos equipamentos, podem-se citar como exemplos de causa de falha aleatória, impactos mecânicos e flutuações de temperatura e de umidade.

No período de desgaste, indicado pela fase "III" na figura 5, observa-se que a taxa de falha é crescente com origem no próprio desgaste do equipamento que estará na fase final de sua vida útil. Nesta fase, as falhas tendem a ter defeitos cumulativos, tais como; desgaste por atrito, trincas de fadiga, corrosão, dentre outros. O aumento muito rápido da taxa de falha, normalmente fundamenta o critério

de decisão de quando as peças devem ser substituídas, além de determinar a vida útil do produto ou sistema.

A curva da banheira pode ser considerada genérica, pois nem todos os tipos de componentes ou sistemas apresentam sempre todos os períodos, uma vez que cada um deles apresenta uma curva característica.

Para equipamentos eletro-eletrônicos, por exemplo, a curva da banheira apresenta tipicamente as regiões "I" e "II", ou seja, há a presença da falha precoce e durante a vida operacional, os mesmos apresentam falhas aleatórias, sem as características de desgaste. Já para componentes mecânicos, pode-se afirmar que a curva da variação temporal da taxa de falha apresenta as regiões "I" e "III", onde a falha precoce está associada a problemas de fabricação, montagem ou de materiais, que induzem a falha no início da vida operacional. Durante o uso, os equipamentos mecânicos falham normalmente por desgaste, corrosão ou fadiga, que são mecanismos de falha nos quais o dano é cumulativo ao longo do tempo de operação, até que atinja um valor crítico, precipitando a falha. Deste modo, a probabilidade de falha do equipamento é crescente ao longo do tempo e, associada a esta, tem-se um aumento da taxa de falha representando um envelhecimento ou desgaste do produto.

Possíveis causas de falhas para cada fase da curva da banheira podem ser vistas na tabela 3 a seguir.

Tabela 3 – Causas de falhas nas etapas da curva da banheira  
 Fonte: LAFRAIA, 2001

<b>FALHAS PRECOSES</b>	<b>FALHAS ALEATÓRIAS</b>	<b>FALHAS POR DESGASTE</b>
Processos de fabricação deficientes	Interferência indevida tensão/resistência	Envelhecimento
Controle de qualidade deficiente	Fator de segurança insuficiente	Desgaste / abrasão
Mão de Obra desqualificada	Cargas aleatórias maiores que as esperadas	Degradação de resistência
Amaciamento insuficiente	Resistência menor que a esperada	Fadiga
Pré-teste insuficiente	Defeitos abaixo do limite de sensibilidade dos ensaios	Fluência
Depuração ( <i>debugging</i> ) insuficiente	Erros humanos durante uso	Corrosão
Materiais divergentes com a especificação	Aplicação indevida	Deterioração mecânica, elétrica, química ou hidráulica
Componentes não especificados	Abusos	Manutenção insuficiente ou deficiente
Componentes não testados	Falhas não detectáveis pelo melhor programa de manutenção preventiva	Vida de projeto muito curta
Componentes que falham devido estocagem / transporte indevido	Falhas não detectáveis durante o melhor <i>debugging</i>	
Sobrecarga no primeiro teste	Causas inexplicáveis	
Contaminação	Fenômenos naturais imprevisíveis	
Erro humano		
Instalação imprópria		

## 2.4 Distribuição de probabilidade Weibull

A distribuição de Weibull foi proposta originalmente pelo pesquisador sueco Waloddi Weibull em 1939 com estudos referentes ao tempo de falha devido à fadiga de metais. Exposta posteriormente em outro estudo datado de 1951 e denominado “*A Statistical Distribution Function of Wide Applicability*”, o modelo foi aplicado para tipos distintos de amostras, tais como: resistência à deformação e fadiga de aços, comprimento de fibras de algodão, estatura de homens adultos, entre outras (WEIBULL, 1951).

O modelo de Weibull é amplamente utilizado para descrever o tempo de vida de sistemas formados por vários componentes cuja falha ocorre quando um primeiro componente falhar, ou ainda, como uma corrente que falha como um todo se um de seus elos falhar (WEIBULL, 1951).

Outro motivo pela preferência por este modelo em aplicações práticas, é o fato da distribuição de Weibull ser bastante flexível na descrição de processos aleatórios e permitir grande variedade de formas, sendo que todas apresentam uma propriedade básica, que é a função da taxa de falha monotônica, podendo ser decrescente, constante ou crescente, sendo a única distribuição de probabilidade que pode ser utilizada na descrição de processos que correspondem aos três períodos da curva da banheira.

A função de densidade da distribuição de Weibull é dada por:

$$f(t) = (\beta / \eta^\beta) t^{\beta-1} \exp[-(t/\eta)^\beta] \quad , t \geq 0 \quad \square$$

(2.9)

E sua representação gráfica na Figura 6. Tanto o parâmetro de forma  $\beta$  como o de escala  $\eta$  são positivos, contudo  $\eta$  apresenta a mesma unidade de  $t$ , enquanto o  $\beta$  não tem unidade.

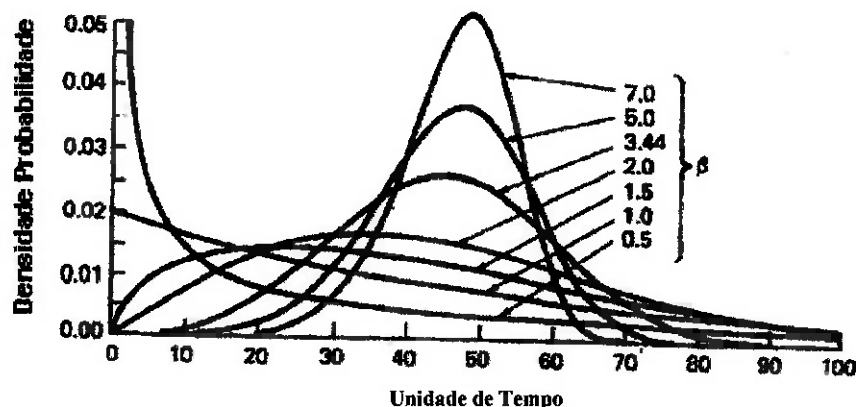


Figura 6 – Função densidade de probabilidade da distribuição de Weibull  
Fonte: CARTER, apud MARTHA DE SOUZA, 2003

Observa-se na representação gráfica da distribuição de Weibull, que:

- Para valores de  $\beta < 1$  a função densidade de probabilidade é decrescente para um aumento da magnitude de  $t$ ;
- Para valores de  $\beta = 1$  a distribuição de Weibull é a própria distribuição exponencial, com taxa de falha constante para um aumento da magnitude de  $t$ ;
- Para valores de  $\beta > 1$  a curva da função densidade de probabilidade apresenta picos bem definidos, com taxa de falha crescente para um aumento da magnitude de  $t$ ;
- Para valores de  $\beta = 3,44$  a distribuição de Weibull aproxima-se da distribuição normal (mediana = média).

A função de confiabilidade é dada por:

$$R(t) = \exp[-(t/\eta)^{\beta}] \quad (2.10)$$

## 2.5 Teste de Aderência

A aderência dos dados utilizados para o cálculo da confiabilidade com o tipo de distribuição admitida pode ser testada estatisticamente através de três métodos; qui-quadrado ( $\chi^2$ ), Kolmogorov – Smirnov (K-S) e coeficiente de correlação ( $R$ ).

O qui quadrado, ou  $X^2$ , é um teste de aderência muito versátil e utilizado para dados agrupados. Para sua maior credibilidade, é desejável que se tenha pelo menos três classes, sendo cada uma delas formada por pelo menos cinco dados da amostra, entretanto, pode ser dividida em  $n$  classes, de acordo com a necessidade

que os valores impõem, para que se possa assumir uma correta distribuição (O'Connor, 1991).

A fórmula de cálculo para  $X^2$  é:

$$\chi^2 = \sum_i \frac{(x_i - E_i)^2}{E_i} \quad (2.11)$$

onde:

$x_i$  = classificação do valor acumulado;

$E_i$  = classificação do valor estimado acumulado para a distribuição assumida.

A definição de elevado valor para  $X^2$ , tende a resultar em hipótese duvidosa, que é rejeitada quando o valor de  $X^2$  apresenta grau de confiança inferior ao desejado. Se  $X^2$  for inferior a este valor, a informação é insuficiente para rejeitar a hipótese de uma suposta distribuição de dados.

Outro teste de aderência, é o Kolmogorov-Smirnov, também conhecido como K-S. Sua utilização é tão simples quanto o teste  $X^2$ , e pode trazer melhores resultados com menor quantidade de informações.

É adequado no uso em conjunto com curvas probabilísticas, desde que baseado em uma classificação acumulada das informações, procedendo da seguinte forma:

1. Tabular a classificação dos intervalos de dados (calculando os valores de  $|x_i - E_i|$ );
2. Determinar o valor máximo;
3. Comparar o valor com o valor apropriado de K-S.

O método dos mínimos quadrados é utilizado para medir a correlação linear da informação com a equação da reta com melhor aderência aos dados inseridos. A linha mais próxima à distribuição apresentada pelos dados é chamada de linha de retorno, e a aderência obtida pelo método dos mínimos quadrados é chamada de coeficiente de correlação é:

$$R = \frac{S_{xy}}{S_x S_y} \quad (2.12)$$

onde:

$$S_x^2 = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n (x_i - \bar{x})^2 \quad (2.13)$$

$$S_y^2 = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n (y_i - \bar{y})^2 \quad (2.14)$$

$$S_{xy} = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n (x_i - \bar{x})(y_i - \bar{y}) \quad (2.15)$$

Sendo  $x_i$ ,  $y_i$  coordenadas de inserção de dados.

A linha de retorno de inserção de dados é dada por:

$$(y - \bar{y}) = \frac{S_{xy}}{S_x^2} (x - \bar{x}) \quad (2.16)$$

- Se  $R > 0$ , indicará uma correlação de dados positivos com a reta de retorno crescente;
- Se  $R < 0$ , indicará uma correlação negativa com reta de retorno decrescente;

- Se  $R = 1$ , indicará uma perfeita correlação com todos os pontos inseridos na linha de retorno;
- Se  $R = 0$ , as variáveis não serão correlacionadas linearmente.

O coeficiente de determinação  $R^2$ , é frequentemente usado em substituição ao  $R$  para indicar a correlação, apresentando uma indicação mais precisa, particularmente na inserção probabilística de dados. Este valor determina o quanto a variação do fenômeno em estudo é explicada pelo modelo linear, ou seja, por uma equação de reta.

A regressão linear pode ser usada para informações de correlações não lineares se  $x$  for transformado para tornar linear a equação. Portanto, o método pode ser utilizado para estimar a aderência dos dados inseridos em papéis de probabilidade.

## 2.6 Censura

A censura à direita, em referência ao fato de que o tempo normalmente é indicado no eixo horizontal em representações gráficas (Lewis, 1994), ocorre quando em análises de confiabilidade deseja-se que o teste seja encerrado antes da falha de todos os elementos, ou então se necessita de análises intermediárias do teste.

A censura aleatória ocorre quando algum elemento da amostra é removido antes da ocorrência da falha ou quando a falha ocorre por um mecanismo não relevante para a análise que está sendo efetuada.

Um método amplamente utilizado para tratamento de dados com censura aleatória, principalmente na área médica, é o baseado no trabalho "*Nonparametric Estimation From Incomplete Observations*" (E. KAPLAN; P. MEIER, 1958).

O procedimento sugerido por Kaplan-Meier (K-M) estima a probabilidade de sobrevivência ou a confiabilidade a cada tempo de falha na amostra, utilizando uma análise básica de probabilidade. Uma vez calculada, a confiabilidade estimada pode ser utilizada para determinar os parâmetros de um modelo de distribuição, por exemplo, utilizando o método de regressão linear.

O método K-M é uma adaptação da função de confiabilidade empírica, que na ausência de censura, é definida como:

$$R(t) = n^{\circ} \text{ de itens em operação até o tempo } t / n^{\circ} \text{ de itens sob teste} \quad (2.17)$$

Sendo que  $R(t)$  é uma função escada com degraus nos tempos observados de falha.

O método K-M mantém a mesma forma da função de confiabilidade da equação (2.8) onde todas as censuras ocorrem no final do acompanhamento.

O estimador de Kaplan-Meier da função de confiabilidade  $R(t)$  é definido como:

$$R(t \geq t_n) = \prod_i^n ((n_i - f_i) / n_i) \quad (2.18)$$

Onde:

$f_i$  = número de falhas no tempo  $t_i$

$n_i$  = número de elementos sob risco (não falhou e não foi censurado) em  $t_i$

Ocorrendo censuras e falhas simultâneas, convencionou-se que os tempo de censura ocorram imediatamente após os tempos de falha.

## **2.7 Análise dos Modos e Efeitos das Falhas (FMEA)**

A análise do tipo FMEA é um método qualitativo de análise de confiabilidade que envolve o estudo dos modos de falhas que podem existir para cada item. Esta ferramenta determina os efeitos de cada um dos modo de falha que podem existir para cada sub item e a determinação dos efeitos de cada modo de falha sobre os outros sub itens e sobre a função requerida do item (ABNT, 1994). O modo de falha é a expressão utilizada para caracterizar o processo e o mecanismo de falha que ocorre nos itens. O efeito é como o modo de falha se manifesta.

Utilizado para identificar as falhas potenciais devido às deficiências do processo de manufatura ou projeto do produto, a análise FMEA pode ser dividida de duas maneiras, a de processo, que deve ser feita durante a execução do projeto do processo de manufatura, e a de projetos, geralmente feita durante a execução do projeto do produto. Sua aplicação se estende a componentes isolados, subconjuntos principais e ao próprio produto.

A análise do tipo FMEA a ser utilizada nos estudos de caso será a de projetos, sendo adaptada para elaboração de planos de manutenção e aumento da confiabilidade dos equipamentos em estudo.

De forma mais precisa, uma análise FMEA é um resumo dos pensamentos da equipe responsável, de como um componente, subsistema ou sistema é projetado. Isto inclui uma análise dos itens que poderiam falhar baseados na experiência e nos problemas passados. Desta forma, a análise FMEA formaliza e documenta a linha de pensamento que é normalmente percorrida durante o desenvolvimento de um projeto.

A análise do tipo FMEA:

- Identifica os tipos de falha potencial relativos ao produto;
- Avalia os efeitos potenciais da falha sobre o cliente;
- Identifica causas potenciais do projeto do produto nas quais se focalizarão controles para redução de ocorrências ou melhoria da detecção;
- Identifica necessidades de teste;
- Desenvolve uma lista ordenada de tipos de falha potencial, estabelecendo então um sistema de prioridades para consideração de ações corretivas;
- Considera os requisitos de manufatura e montagem no projeto inicial.

Tudo isto que envolve a análise FMEA é de significativa importância para o lançamento de um produto, pois deve-se identificar a necessidade de mudanças no produto o mais próximo possível da fase de concepção do projeto, porque, conforme Figura 7, quanto mais esta necessidade de mudança for identificada próximo à fase na qual o produto já se encontra no campo, muito mais onerosa se tornará esta modificação. Infelizmente, os equipamentos abordados nos estudos de caso deste trabalho se encontram justamente nesta fase.

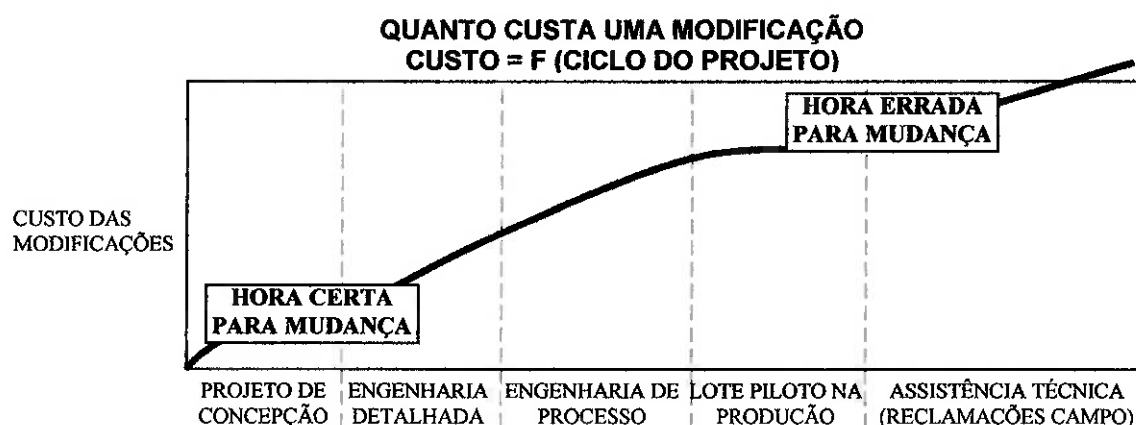


Figura 7 – Custo de uma modificação durante o ciclo de um projeto  
Fonte: PALADY, 2002

Para o desenvolvimento da análise do tipo FMEA, deve-se entender o que se espera do equipamento, em relação ao que ele desempenhará e ao que ele não desempenhará.

Quanto melhor for a definição das características do equipamento, mais fácil será a identificação dos tipos de falhas potenciais e a definição de ações corretivas. As necessidades e as expectativas do cliente poderão ser determinadas através de ferramentas, tais como: desdobramento da função qualidade (QFD), desenhos e normas para referências, *lay out* de montagem, manuais de qualidade do cliente, outros requisitos conhecidos do equipamento e principalmente, histórico de manutenção e garantia dos equipamentos.

Na análise do tipo FMEA raciocina-se de “baixo para cima”, procura-se determinar modos de falha dos componentes mais simples, as suas causas e de que maneira eles afetam os níveis superiores do sistema.

Essa análise é basicamente dedutiva, oriunda dos históricos de falhas, e não necessita de cálculos mais sofisticados. Os resultados da análise do tipo FMEA são registrados num formulário padronizado, como exemplificado na Figura 8.

FMEA		FMEA - Análise do Modo e do Efeito de Falhas										Folha de						
N. FMEA:		Projeto:				Área envolvidas:				Data elaboração:								
ITEM FUNÇÃO	MODO DE FALHA POTENCIAL	EFEITO(S) POTENCIAL (ais) DE FALHA	S E V	C I A	CAUSA MECANISMO(S) POTENCIAL(AIS) DE FALHA	O C O	CONTROLE(S) DE PROJETO ATUAL(AIS)	D E T	N P R	AÇÕES RECOMENDADAS	RESPONSÁVEL E PRAZO	RESULTADOS DA AÇÃO						
												AÇÕES TOMADAS	S E V	O C I A	D E T	N P R		
Severidade		Probabilidade de ocorrência			Detecção			Risco = SevXProXDet										
Apenas perceptível =1		Improável =1			Alta =1			Baixo =1 a 135										
Pouca importância =2 a 3		Muito pequena =2 a 3			Moderada =2 a 3			Médio =135 a 800										
Moderadamente Grave =4 a 6		Moderada =4 a 6			Pequena =4 a 6			Alto =801 a 1000										
Grave =7 a 8		Alta =7 a 8			Muito Pequena =7 a 8													
Extremamente Grave =9 a 10		Alarmante =9 a 10			Improável =9 a 10													

Figura 8 – Formulário FMEA  
Fonte: PALADY, 2002

Para o preenchimento deste formulário há os seguintes campos:

- **Item/função:**

Refere-se ao nome e código do item que está sendo analisado. A função do item deve ser preenchida de forma clara para se possa entender o objetivo do projeto. Podem-se incluir informações relativas ao ambiente no qual o sistema opera. Por exemplo, definir faixas de temperatura, pressão e umidade.

As funções devem ser relacionadas separadamente se houver mais de uma função com diferentes modos de falha potencial.

- **Modo de falha potencial:**

É a maneira pela qual o item pode falhar, ou seja, deixar de cumprir sua função, deixando de atender o objetivo do projeto.

Devem-se listar os tipos de falhas para cada função de cada item. Assume-se que a falha pode ocorrer, mas não necessariamente vai ocorrer. Como exemplos de modos de falha podem-se citar trinca, deformação, curto circuito, vazamento, interferência e folga excessiva.

Deve-se considerar toda a falha que possa ocorrer. É recomendável que se verifique análises anteriores, relatórios de problemas em ensaios de qualidade, de garantia, de durabilidade, de confiabilidade e de pesquisa de mercado, para se considerar todas as falhas em potencial.

Leva-se em conta também os tipos de falhas que ocorrem em condições especiais de ambiente como calor, frio, umidade, ambiente muito seco, poeira e etc. E também quanto ao uso, como condições mais severas e aplicação.

É importante ressaltar que o modo da falha deve ser descrito em termos técnicos sobre a função, e não como o usuário observa.

- **Efeitos potenciais da falha:**

Supondo que aconteceu a falha em questão, é a descrição do que o cliente, seja interno ou externo, sofre. Deve ser considerada a hierarquia entre os componentes, subconjuntos, conjuntos e sistemas. Declarar com clareza se a função poderá ter impacto em aspectos de segurança ou em atendimento à regulamentação governamental. Por exemplo, o produto pode trincar, causando inoperância do subconjunto, e diminuição da performance do conjunto. O sistema perderá eficiência, levando a uma insatisfação do cliente.

Como exemplos de outros efeitos podem-se citar vibração, esforço excessivo, má aparência, difícil operação, difícil montagem, inoperância, consumo excessivo, baixa resistência e desgaste prematuro.

- Causa / mecanismo potencial de falha:

É a deficiência de projeto que pode dar origem ao tipo de falha. Deve-se listar todas as causas possíveis para cada tipo de falha. As causas devem ser claras e listadas de forma a permitir a definição de ações corretivas para cada uma delas.

Um modo de identificar claramente as causas raízes ou reais de um problema, o que nesta análise é caracterizado como um ponto chave, pois se depende desta identificação para se obter ações corretivas definitivas e eficazes, é utilizar as ferramentas da qualidade que possuem esta finalidade como o Diagrama de *Ishikawa* ou a análise dos "5 porquês".

Como exemplos de causas típicas de falhas, pode-se citar: especificação incorreta de material, vida do projeto assumida de forma inadequada, capacidade insuficiente de lubrificação e instrução inadequada de manutenção.

E como exemplos de mecanismos típicos de falhas: fadiga, instabilidade do material, atrito, desgaste e corrosão.

- Controle de projeto atual:

Registram-se as medidas de controle implementadas durante a elaboração do projeto que objetivarem prevenir a ocorrência de falhas ou detectarem falhas ocorridas e impedir que cheguem ao cliente.

Lista-se a validação e a verificação do projeto, ou outra atividade a qual assegure a adequação do projeto para o tipo de falha e/ou causa/mecanismo considerados. Controles atuais são aqueles que são utilizados ou estão começando a ser utilizados neste projeto ou em projetos similares.

Como exemplos destes controles, citam-se: ensaios de rodagem, revisão de projeto, estudos matemáticos, revisão de viabilidade, testes em protótipos e testes com frotas.

- Severidade:

Para a severidade é atribuída uma nota de 0 à 10 e avaliada a gravidade do efeito da falha potencial sobre o componente, subsistema, sistema ou cliente. A severidade aplica-se ao efeito da falha, ou seja, o "quanto" ele pode incomodar o usuário. O índice de severidade só pode ser reduzido através de uma modificação de projeto.

A tabela 4 propõe critérios para os índices de severidade:

Tabela 4 – Critério da avaliação de severidade sugerido  
Fonte: PALADY, 2002

EFEITO	CRITÉRIO	NOTA
Muito Alta	Severidade muito alta quando o tipo de falha afeta a segurança de operação do equipamento e/ou infringe leis ou regulament. Govern.	10 / 9
Alta	Produto deixa de funcionar. Grande descontentamento do usuário, porém s/ afetar sua segurança ou Leis Governamentais	8 / 7
Moderado	Equipamento / item operável, porém c/ item(s) de conforto ou conveniência inoperante. Usuário descontente passa por experiências desconfortáveis.	6 / 5 / 4
Pequena	Equipamento / item operável, porém c/ item(s) de conforto ou conveniência operando c/ nível reduzido ou ligeira deterioração no desempenho. Usuário passa por experiências insatisfatórias.	3 / 2
Mínima	O usuário mal percebe que a falha aconteceu. Defeito notado por uma minoria de usuários. Itens não estão em conformidade.	1

- Detecção

A detecção também é avaliada com notas de 0 à 10 e é o índice que avalia a probabilidade da falha ser detectada antes que o produto seja liberado para a produção. Deve-se assumir que a falha ocorreu, independente do índice de ocorrência. Um índice de ocorrência baixo, não significa que o índice de detecção será também baixo.

A Tabela 5 propõe um critério para avaliação deste quesito:

Tabela 5 – Critério de probabilidade de detecção sugerido  
Fonte: PALADY, 2002

<b>DETECÇÃO</b>	<b>CRITÉRIO: Probabilidade de Detecção</b>	<b>NOTA</b>
Nula	O programa de verificação não detectará a falha	10
Muito Baixa	O programa de verificação provavelmente não detectará a falha	9 / 8
Moderada	O programa de verificação provavelmente detectará a falha	7 / 6 / 5
Alta	O programa de verificação tem grandes chances de detectar a falha	4 / 3
Muito Alta	O programa verificação quase que certamente detectará a falha	2 / 1

- Ocorrências:

É a probabilidade da causa que foi listada na coluna anterior ocorrer e ocasionar o tipo de falha considerado.

A única maneira de reduzi-lo é impedir a ocorrência ou controlar as causas do tipo de falha através de modificações de desenho.

É estimada através de uma escala de 1 a 10. E para avaliar deve-se basear a análise por meio de dados estatísticos ou relatórios de falhas de componentes similares ou etapas similares de um processo, e também por dados obtidos de fornecedores e dados de literatura técnica.

Assim como na severidade e detecção, a Tabela 6 propõe um critério para a avaliação desta probabilidade:

Tabela 6 – Critério de probabilidade de falha sugerido  
Fonte: PALADY, 2002

Probabilidade de Falha	Taxa de Falhas possíveis	Nota
Muito Alta:	$\geq 1$ em 2	10
A falha é praticamente inevitável	1 em 3	9
Alta:	1 em 8	8
Falhas Freqüentes	1 em 20	7
Moderada:	1 em 80	6
Falhas Ocasionais	1 em 400	5
	1 em 2.000	4
Baixa:	1 em 15.000	3
Relativamente Pouca Falha	1 em 150.000	2
Remota: Falha Improvável	$\leq 1$ em 1.500.000	1

- Número de prioridade de risco:

O NPR é o produto das notas de Severidade (S), Probabilidade (P) e Detecção (D).

$$\text{NPR} = S \times P \times D \quad (2.19)$$

Como num diagrama de *Pareto*, este valor deve ser usado para estabelecer as prioridades no projeto. O NPR estará entre 1 e 1000. Para altos valores de NPR, a equipe deve empreender esforços para reduzir o risco calculado, promovendo ações corretivas.

Vale apenas um alerta quanto ao fato de que quando houver uma nota alta de severidade, deve ser dada atenção especial a esta falha, independente do valor do NPR.

- Ações recomendadas:

Quando as prioridades forem estabelecidas para os vários tipos de falha, as ações corretivas devem ser dirigidas às falhas com maior índice de risco. A intenção de qualquer ação recomendada deve ser a redução dos índices de um ou todos os índices de ocorrência, severidade e/ou detecção. A redução no índice de ocorrência só poderá ser obtida evitando-se ou controlando-se a causa da falha através de uma revisão do projeto. Somente a revisão do projeto pode diminuir o índice de severidade.

Como exemplos de ações podem ser citados, delineamento de experimentos, revisão do plano de teste, revisão do projeto, revisão da especificação de material, etc.

- Responsável e prazo:

Refere-se ao nome do responsável pela ação recomendada e a data determinada para conclusão. Recomenda-se a colocação de somente um único responsável e uma data prevista para a implantação muito bem definida.

- Ações tomadas:

Após implementação da ação, inserir uma breve descrição da ação tomada e a data real de implantação da ação.

- NPR resultante:

Depois de definida a ação corretiva, deve-se estimar os novos índices e calcular o NPR. Todos os NPR resultantes devem ser revistos e, se outras ações forem necessárias devido a um NPR resultante ainda elevado, os passos de identificação das causas e mecanismos potenciais de falhas até a estimativa do índice de um novo NPR resultante devem ser repetidos.

### 3 . ESTUDO DE CASO: ESTUDO DE CONFIABILIDADE NUMA MOTOCICLETA DE BAIXA CILINDRADA

Para a aplicação do estudo de confiabilidade no equipamento motocicleta, foram consideradas as motocicletas produzidas de janeiro à abril de 2005, o que é mostrado na Figura 9.

	<b>Quantidade Produzida</b>
jan/05	15.838 motos
fev/05	18.675 motos
mar/05	17.958 motos
abr/05	16.534 motos
<b>total produzido</b>	<b>69.005 motos</b>

Figura 9 – Quantidade produzida da referida motocicleta de baixa cilindrada  
Fonte: ABRACICLO, 2006

Foi apurado que, destas 69.005 motocicletas produzidas no período definido para o estudo, 13.531 apresentaram falhas que levaram os proprietários às concessionárias para reivindicarem o reparo da falha dentro do prazo de garantia, que é de um ano.

Esta informação da quantidade de reclamações em garantia é extraída de um banco de dados que possui detalhes da troca em garantia, como, código e descrição do item reclamado, modelo da motocicleta, codificação do defeito, data da reclamação, mês e ano de fabricação da motocicleta, custo da garantia, quilometragem rodada, chassis e a descrição do defeito. Este banco de dados é demonstrado no anexo A.

Este banco de dados será utilizado para o desenvolvimento do referido estudo. Primeiramente, foram extraídas as ocorrências que apresentavam uma

quilometragem até a falha, inferior à 200 km, o que poderia representar falhas numa condição de mortalidade infantil, ou seja, falhas que não foram oriundas com o uso normal do equipamento e sim já estavam contidas nos sistemas do produto desde sua aquisição.

Uma outra suposição feita sobre este banco de dados é a de que todas as ocorrências são procedentes, ou seja, as falhas realmente ocorreram e os dados contidos na descrição de todas estas ocorrências são verídicos.

A partir da obtenção deste banco de dados de ocorrências de garantia procurou-se determinar quais eram os componentes que impactavam cronicamente no desempenho do produto no campo. Para isto foi elaborado um gráfico de Pareto, conforme Figura 10.

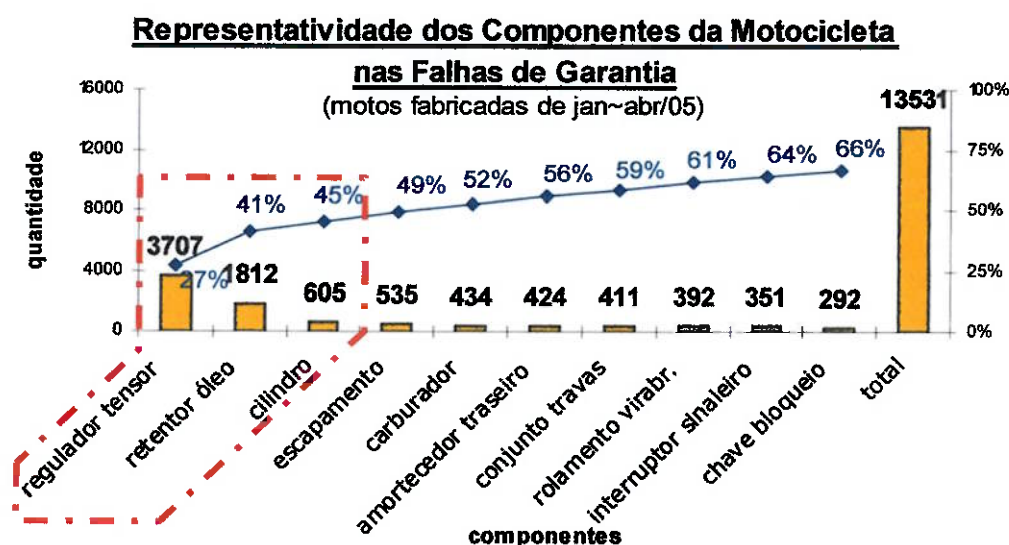


Figura 10 – Gráfico de Pareto dos itens mais crônicos em ocorrências de garantia

Assim, os três componentes grifados no gráfico acima, os quais representam, aproximadamente, metade das ocorrências de garantia deste modelo de motocicleta, passarão pela análise de suas confiabilidades.

Para a análise de suas confiabilidades, o universo de dados será considerado como um ensaio censurado, uma vez que a situação pode ser considerada como se

fossem colocados 69.005 componentes para terem os seus desempenhos avaliados por um ano (tempo de garantia) e assim obtêm-se as informações sobre os componentes que apresentaram falhas, considerados dados não censurados e, por outro lado, as informações daqueles componentes que não apresentaram falhas durante este período, considerados dados censurados.

Para a obtenção dos dados censurados, estes foram classificados em 3 tipos:

- Dados de motocicletas que apresentaram falhas em outros componentes, diferentes do componente em estudo;

- Dados de motocicletas que não falharam em um ano, mas que passaram por alguma revisão na concessionária durante este período;

- Dados de motocicletas que não falharam em um ano, mas que não passaram por qualquer revisão na concessionária.

Para cada um dos tipos de dados acima, a obtenção das quilometragens utilizadas no estudo teve natureza e métodos distintos. Para a obtenção destes dados para as motocicletas que apresentaram falhas em outros componentes, diferentes do componente em estudo, foi utilizado o banco de dados de garantia das motocicletas demonstrado no anexo A, e as suas quilometragens foram extrapoladas para 12 meses, conforme a fórmula (3.1) abaixo.

$$\text{km extrapolada} = (\text{quilometragem de falha} / \text{período de falha em meses}) \times 12 \text{ meses} \quad (3.1)$$

Para a obtenção dos dados das motocicletas que não falharam em um ano, mas que passaram por alguma revisão na concessionária durante este período, recorreu-se ao banco de dados de revisão das motocicletas demonstrado no anexo B e também as quilometragens destes casos foram extrapoladas para um ano.

Quanto aos dados das motocicletas que não falharam em um ano, mas que não passaram por qualquer revisão na concessionária, estes foram obtidos também a partir da extrapolação das quilometragens de revisão do banco de dados do anexo B. E assim, obteve-se a distribuição de frequências destas quilometragens, conforme é demonstrado na figura 11.

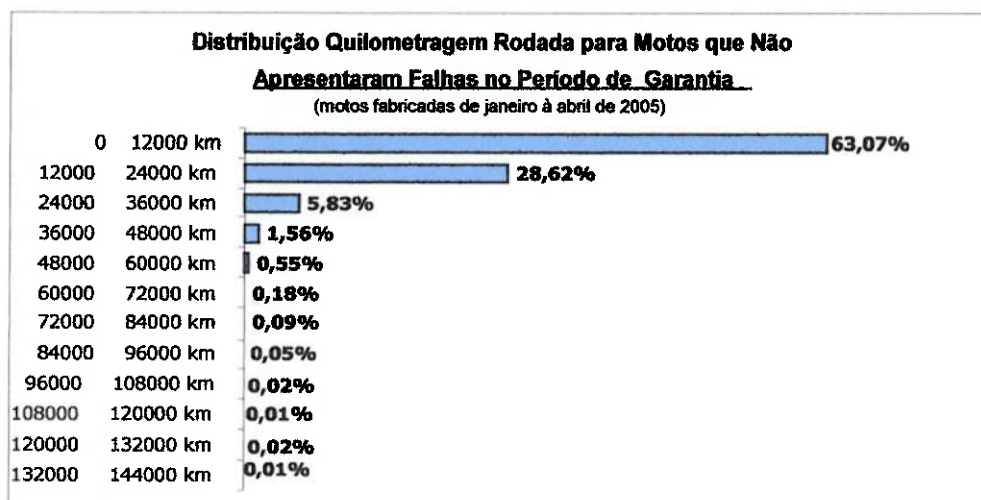


Figura 11 – Distribuição da quilometragem para veículos que não apresentaram falhas durante o período de garantia, mas que foram revisadas

Por fim, obteve-se a tabela 7 onde se demonstra que estas frequências com suas respectivas quilometragens foram expandidas para o universo de motocicletas que não visitaram as concessionárias para efetuar qualquer revisão.

Tabela 7 – Demonstração da obtenção da quilometragem dos casos em que as motocicletas não passaram por revisão

<b>ESTUDO PARA OBTENÇÃO DOS DADOS DE MOTOCICLETAS SEM REVISÃO</b>				
qde.motos s/revisão	km		frequência	expansão qde.motos s/revisão x frequência
7037	0	12000	63,07%	<b>4438</b>
7037	12000	24000	28,62%	<b>2014</b>
7037	24000	36000	5,83%	<b>410</b>
7037	36000	48000	1,56%	<b>110</b>
7037	48000	60000	0,55%	<b>39</b>
7037	60000	72000	0,18%	<b>13</b>
7037	72000	84000	0,09%	<b>7</b>
7037	84000	96000	0,05%	<b>3</b>
7037	96000	108000	0,02%	<b>1</b>
7037	108000	120000	0,01%	<b>0</b>
7037	120000	132000	0,02%	<b>1</b>
7037	132000	144000	0,01%	<b>1</b>

E assim, por intermédio do *software "Reliasoft Weibull ++"* versão 7, obteve-se a confiabilidade de cada componente crítico.

### 3.1 Análise da Confiabilidade do Regulador Tensor da Corrente do Comando

Conforme pode-se observar no croqui da Figura 12, este componente tem a função de tensionar a corrente de transmissão do comando de válvulas.

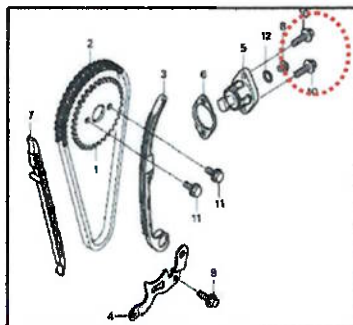


Figura 12 – Croqui aplicação regulador tensor corrente

Analisando o banco de dados do Anexo A, em que constam as informações das motocicletas que obtiveram o reparo dos componentes em garantia, observa-se que o regulador de tensor apresenta como problema o desgaste excessivo que resulta na sua perda ou redução de eficiência, gerando barulho excessivo no motor, mais particularmente na região do cilindro.

Inicialmente verifica-se, por intermédio de uma simples análise das informações do referido banco de dados, que a falha ocorre em média após o cliente ter utilizado a motocicleta por 7.839 km.

Sendo um problema de desgaste, inicialmente foi utilizada a distribuição Weibull com 3 parâmetros, com o parâmetro gama definindo o tempo mínimo em que ocorre a falha. Esta distribuição é típica para modos de falha como, além de

desgaste excessivo, corrosão ou fadiga, por exemplo (Reliasoft, 2005). Porém o referido parâmetro gama resultou num valor de apenas 238 km, o que não representa um sentido físico coerente com o modo de falha abordado.

Deste modo, utilizou-se a distribuição Weibull com 2 parâmetros, sem o parâmetro gama definindo o tempo mínimo em que ocorre a falha, somente com os parâmetros beta e eta.

Para este modo de falha encontrou-se 3.707 ocorrências em garantia, e as informações destas ocorrências serão utilizadas para este estudo de confiabilidade. Neste momento, para cálculo da confiabilidade do tensor, foram inseridas a quilometragem destas ocorrências e a quilometragem dos dados censurados no software "Reliasoft Weibull ++" versão 7. Na Figura 13, de modo ilustrativo, é mostrada a tela de entrada de dados deste software.

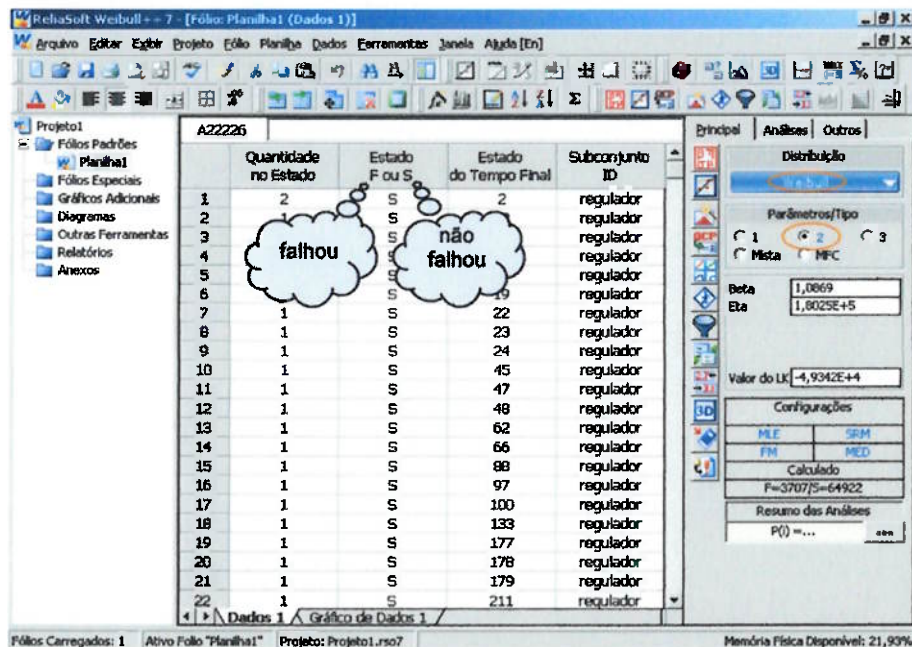


Figura 13 – Tela de entrada dos dados para um ensaio censurado com dados agrupados

A partir daí é obtida a distribuição de Weibull com 2 parâmetros, conforme Figura 14.

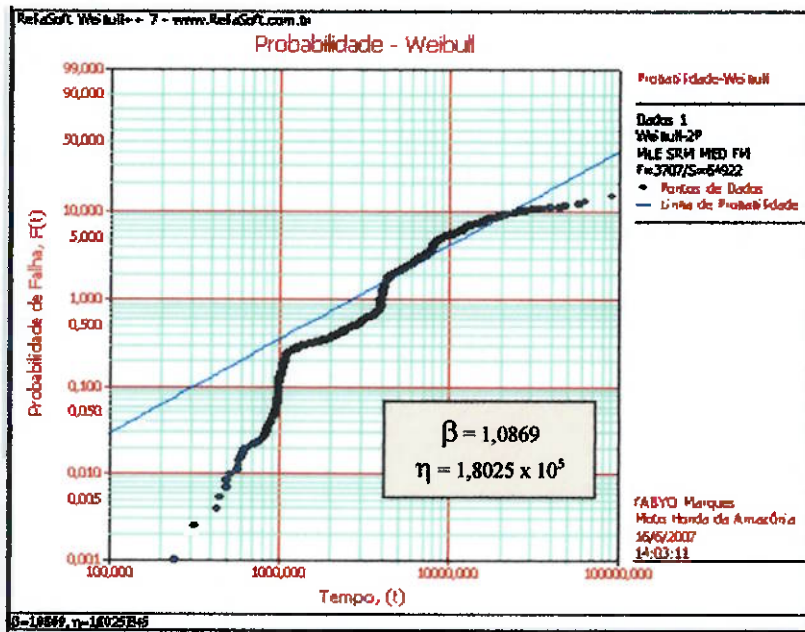


Figura 14 – Distribuição de Weibull obtida a partir do software “Reliasoft Weibull ++”

E finalmente, utilizando o método da máxima verossimilhança para a obtenção da estimativa dos parâmetros da distribuição Weibull, obtém-se a confiabilidade para 12000 km, que é a quilometragem considerada para um ano de utilização do equipamento. E assim, obteve-se  $R(t) = 0,9488$ , conforme Figura 15.

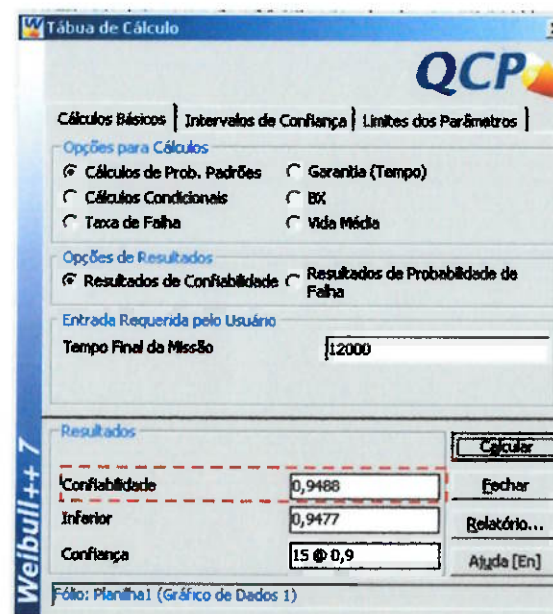


Figura 15 – Tela que demonstra a confiabilidade para a quilometragem correspondente a um ano de garantia

E ainda para confirmar a afinidade da distribuição utilizada com a natureza dos dados de falha explorados, conforme Figura 16, efetuou-se um teste de aderência também utilizando o software “Reliasoft Weibull ++” versão 7.

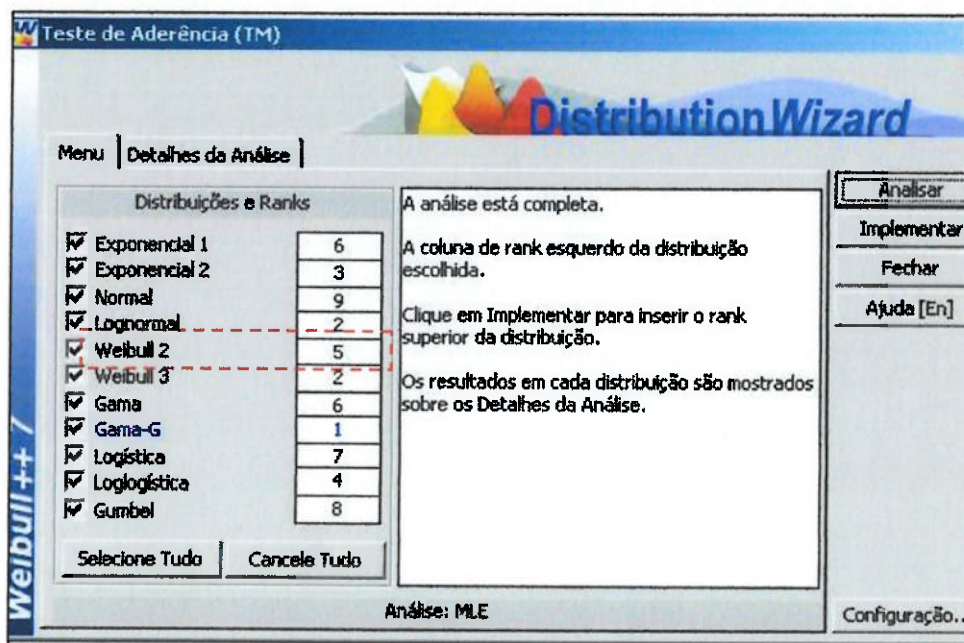


Figura 16 – Tela que demonstra o teste de aderência

Apesar do teste de aderência apontar a distribuição de Weibull dois parâmetros como não sendo a que melhor apresenta afinidade com os dados utilizados, devido ao fato desta distribuição ser bastante flexível e também pelo fato das distribuições mostrarem proximidades entre elas, pois o valor da confiabilidade obtido por intermédio desta distribuição apresenta um desvio de apenas 0,7% se comparado com o valor obtido com a distribuição que apresentou a melhor afinidade com os dados utilizados, Gama-G, a utilização da distribuição de Weibull foi considerada neste estudo como válida.

A seguir obteve-se o gráfico da função densidade de probabilidade, conforme Figura 17 e, o gráfico da taxa de falha em relação ao tempo, conforme Figura 18.

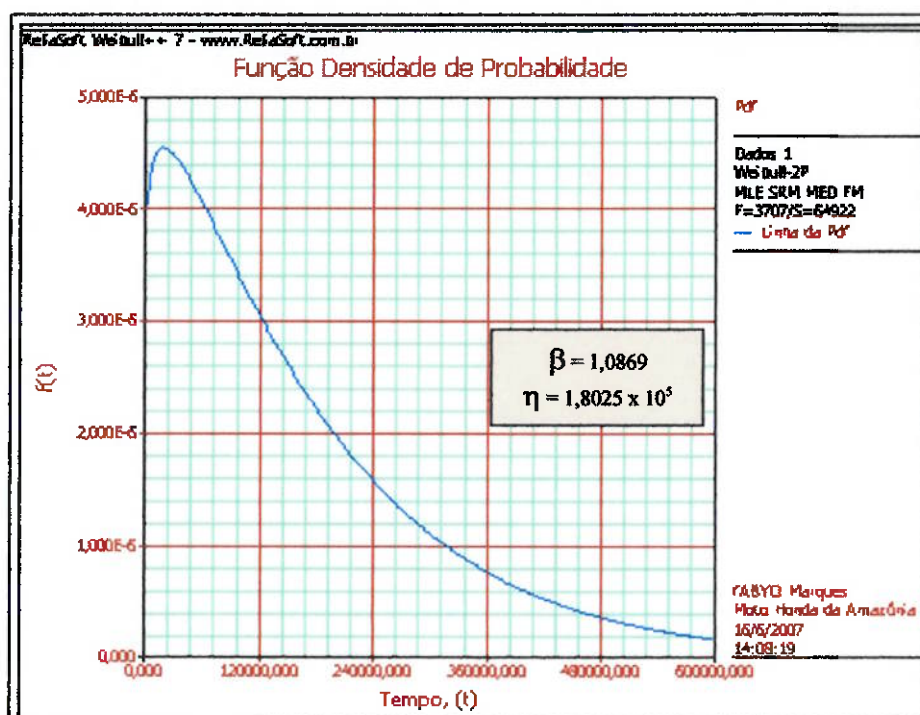


Figura 17 – Gráfico da função densidade de probabilidade da distribuição

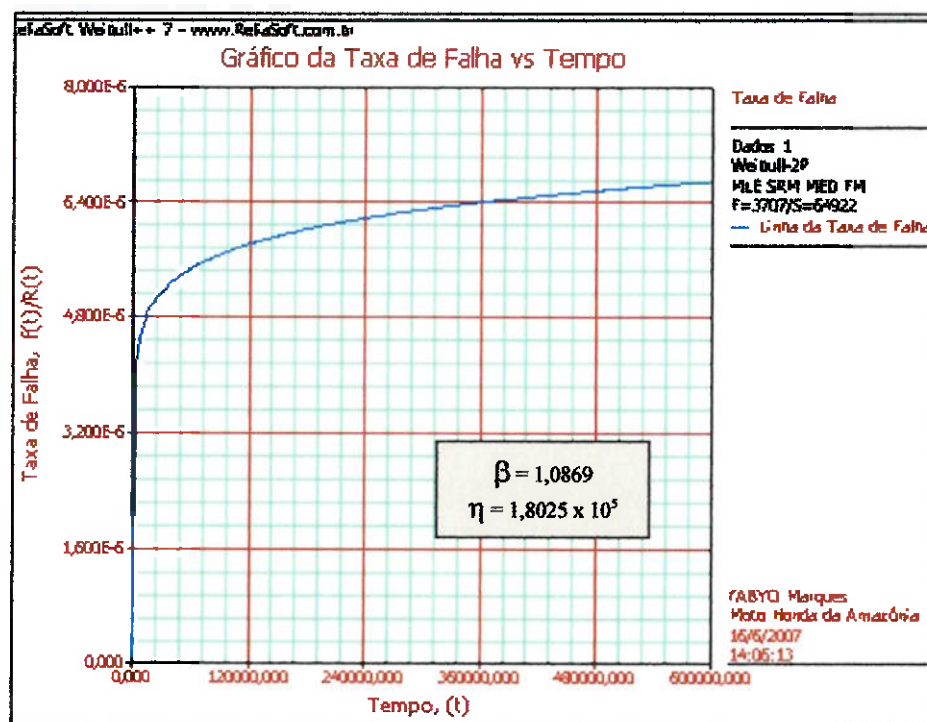


Figura 18 – Gráfico evolução taxa de falha

### 3.2 Análise da Confiabilidade do Retentor Tampa Lateral Direita Motor

Conforme pode-se observar no croqui da Figura 19, este componente tem a função de tencionar a corrente de transmissão do comando de válvulas.

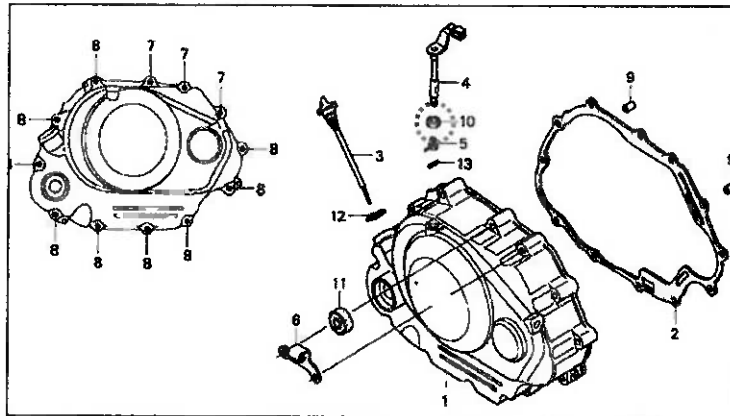


Figura 19 – Croqui aplicação retentor tampa lateral direita motor

Analisando o banco de dados do Anexo A, em que constam as informações das motocicletas que obtiveram o reparo dos componentes em garantia, observa-se que o retentor apresenta deterioração excessiva, resultando em vazamento de óleo do motor entre o referido componente e a alavanca da embreagem.

Inicialmente, verifica-se, por intermédio de uma simples análise das informações do referido banco de dados, que a falha ocorre em média após o cliente ter utilizado a motocicleta por 8.906 km.

Sendo um problema de deterioração, inicialmente também foi utilizada a distribuição Weibull com 3 parâmetros, porém, assim como no caso do regulador tensor da corrente de comando, o parâmetro gama obtido foi de apenas 275 km, o que não representa um sentido físico coerente com o modo de falha abordado.

Deste modo, também utilizou-se a distribuição Weibull com 2 parâmetros com o uso do método da máxima verossimilhança para a estimativa destes parâmetros (Reliasoft, 2005).

Para este modo de falha encontrou-se 1.812 ocorrências em garantia, e as informações destas ocorrências serão utilizadas para este estudo de confiabilidade. Também para este estudo, os dados de garantia e os dados censurados foram inseridos no *software* “Reliasoft Weibull ++” versão 7, obteve-se  $R(t) = 0,9761$  e, conforme Figura 20, o gráfico da função densidade de probabilidades.

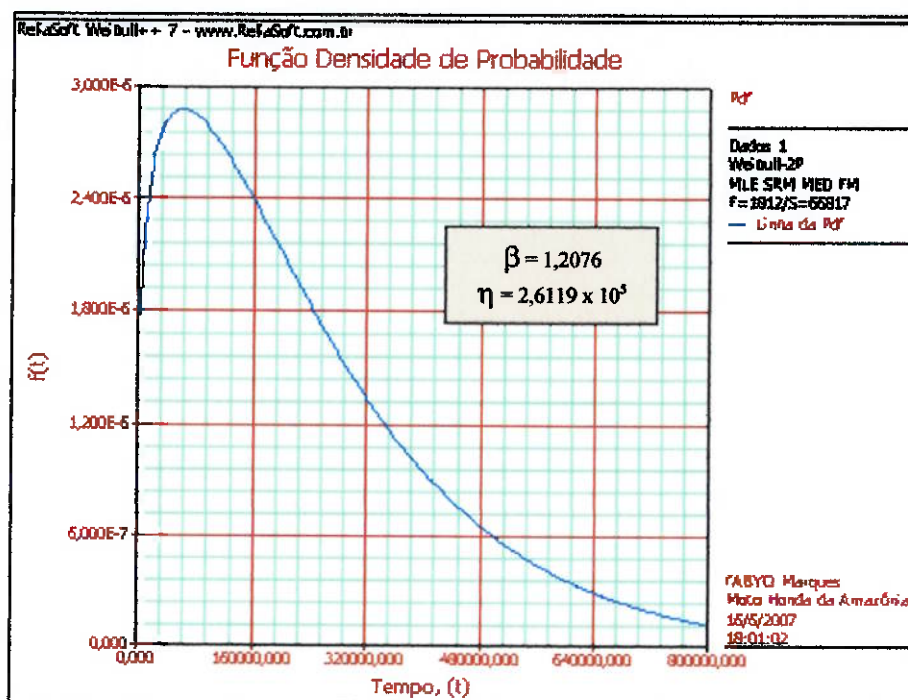


Figura 20 – Gráfico função densidade de probabilidades para os dados de falha do retentor da tampa lateral direita do motor.

E também, a afinidade da distribuição escolhida foi confirmada através da realização de um teste de aderência por intermédio do mesmo “*software*”.

### 3.3 Análise da Confiabilidade do Cilindro “Aletado” do Motor

Este componente é parte integrante e vital do motor da motocicleta, tendo a função principal de arrefecimento e constituição da câmara de combustão deste subsistema. Vide croqui de sua aplicação na Figura 21 a seguir.

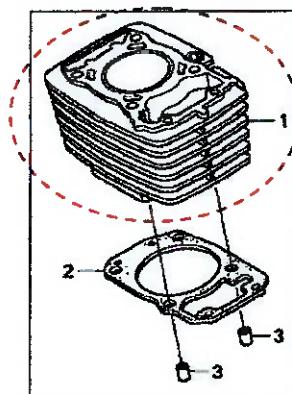


Figura 21 – Croqui aplicação cilindro motor

Analisando o banco de dados do Anexo A, em que constam as informações das motocicletas que obtiveram o reparo dos componentes em garantia, observa-se que o cilindro apresenta como falha, a existência de defeitos superficiais que resultam em queima excessiva de óleo (excessivo “fumaceamento”) ou em vazamento de óleo.

Analisando as informações de garantia, constata-se que, em média esta falha ocorre após 11.139 km de uso.

Como se trata de um problema claramente sem tempo mínimo de incidência, para a análise de confiabilidade do cilindro, prontamente, será utilizada a distribuição Weibull 2 parâmetros (Reliasoft, 2005), que conforme teste de aderência apresentou um resultado bastante satisfatório a considerando como uma boa distribuição para representar tais dados.

Para este modo de falha encontrou-se 605 ocorrências em garantia, e também as informações destas ocorrências serão utilizadas para o estudo de confiabilidade.

De modo análogo ao estudo de confiabilidade dos componentes críticos anteriores, através do software “Reliasoft Weibull ++” versão 7, com a utilização também do método da máxima verossimilhança para a estimativa dos parâmetros da

distribuição, obteve-se  $R(t) = 0,9925$  e o gráfico da função densidade de probabilidades, mostrado na Figura 22.

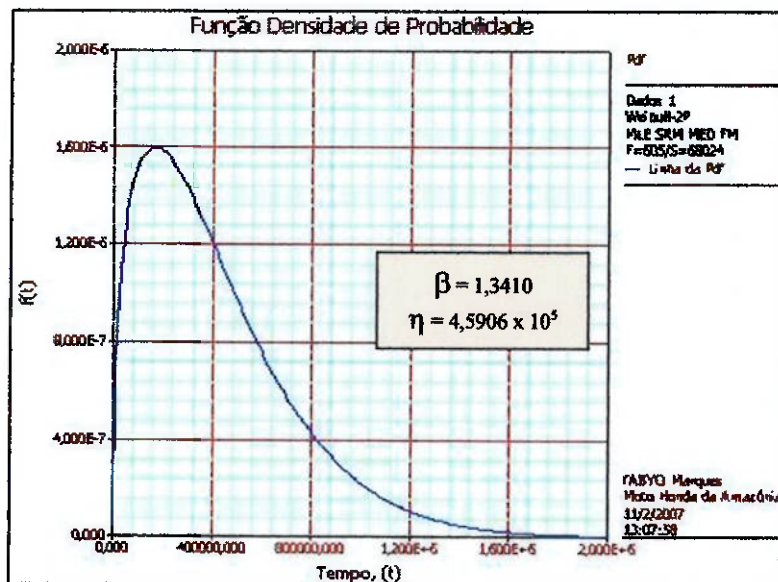


Figura 22 – Gráfico função densidade de probabilidade para os dados de falha no cilindro do motor

### 3.4. Análise e Solução de Problemas

Primeiramente serão observados e mensurados os problemas que ocorrem no campo com os componentes que abrangem este estudo, referentes às motocicletas que foram montadas de janeiro à abril de 2005. Isto é demonstrado nos gráficos de Pareto das Figuras 23 a 25.

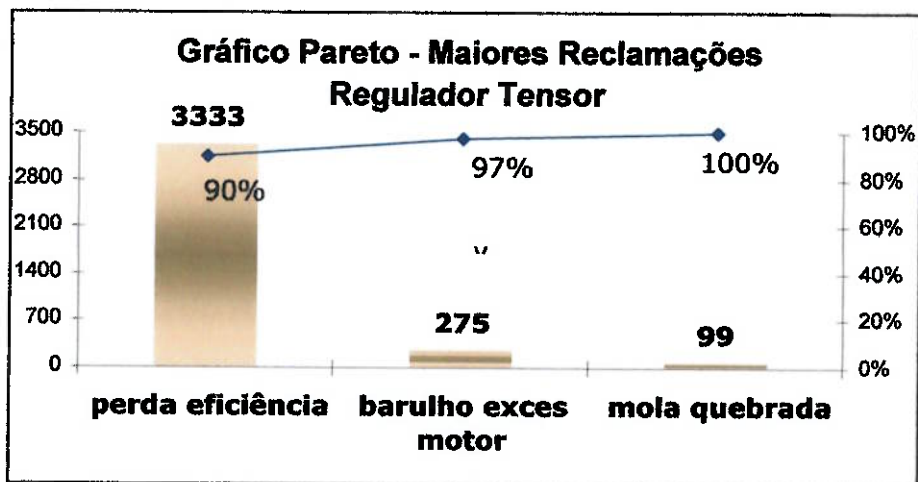


Figura 23 – Gráfico de Pareto - reclamações de garantia regulador tensor corrente comando

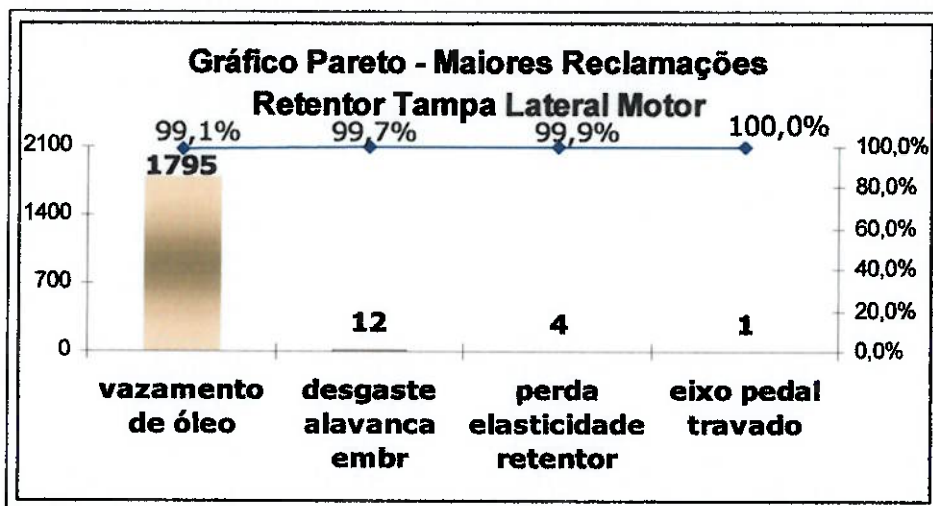


Figura 24 – Gráfico de Pareto - reclamações de garantia retentor tampa lateral direita motor

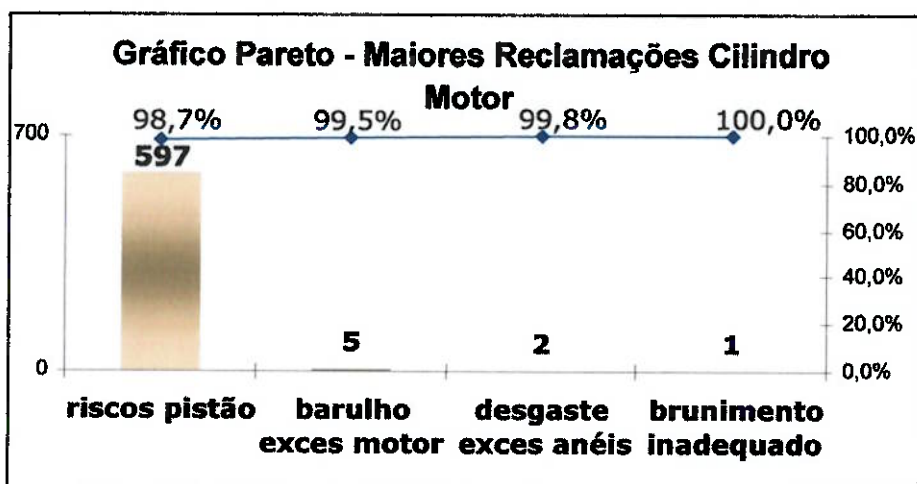


Figura 25 – Gráfico de Pareto - reclamações de garantia cilindro motor

Uma vez observados os gráficos de Pareto, que mostram as incidências das reclamações dentro do período de garantia para as motocicletas produzidas entre janeiro e abril de 2005, o próximo passo será selecionar, para cada componente crônico abordado neste estudo, os seus principais problemas para serem analisados, solucionados e, posteriormente, para se obter o impacto destas melhorias, recalculando a confiabilidade de cada componente.

Assim, para os componentes abordados no estudo há os seguintes problemas que serão explorados:

- Regulador tensor corrente comando – perda ou redução da eficiência;

- Retentor tampa lateral direita motor – vazamento de óleo;
- Cilindro motor – riscos no pistão.

O próximo passo será entender a ocorrência de cada problema, para o quê será usada a ferramenta da qualidade 5W1H, demonstradas na Figuras de 26 a 28.

O QUE ?	QUEM ?	COMO ?	POR QUE ?	QUANDO ?	QUANTO ?	ONDE?
RUÍDO EXCESSIVO	técnico depto. Serviços Pós-Venda	PERDA OU REDUÇÃO DA FUNÇÃO	PROJETO ATUAL NÃO ATENDE EXIGÊNCIAS CONSUMIDOR BRASILEIRO	EM MÉDIA APÓS 7.839 KM	3.608	NO MOTOR

Figura 26 – Regulador tensor corrente - 5W1H ruído excessivo motor

O QUE ?	QUEM ?	COMO ?	POR QUE ?	QUANDO ?	QUANTO ?	ONDE?
VAZAMENTO DE ÓLEO NA TAMPALATERAL DIREITA	técnico depto. Serviços Pós-Venda	VAZAMENTO PELO RETENTOR	AUSÊNCIA DAS BUCHAS DE APOIO DA ALAVANCA NO RETENTOR	EM MÉDIA APÓS 8.906 KM	1.811	NO MOTOR

Figura 27 – Retentor tampa lateral direita - 5W1H vazamento óleo

O QUE ?	QUEM ?	COMO ?	POR QUE ?	QUANDO ?	QUANTO ?	ONDE?
FUMACEAMENTO EXCESSIVO	técnico depto. Serviços Pós-Venda	SEGUNDO ANEL APRESENTA DESGASTE EXCESSIVO	ENTRADA POEIRA E PARTÍCULAS DE CARBONO	EM MÉDIA APÓS 11.139 KM	599	NO MOTOR

Figura 28 – Cilindro - 5W1H fumaceamento excessivo motor

O próximo passo será a identificação da causa real do problema também com a utilização de uma ferramenta da qualidade, a análise dos “5 porquês”, demonstradas nas figuras 29 à 31.

1 - <i>Por que ocorre a reclamação no campo ?</i>
Porque ocorre barulho excessivo no motor.
2 - <i>Por que ocorre barulho excessivo no motor ?</i>
Porque o regulador tensor da corrente de comando não funciona adequadamente.
3 - <i>Por que o regulador tensor da corrente de comando não funciona adequadamente ?</i>
Devido à baixo torque de vibração.
4 - <i>Por que ocorre o baixo torque de vibração ?</i>
Porque o projeto não atende as exigências dos consumidores brasileiros.
5 - <i>Por que o projeto não atende ?</i>
<b>Porque há folga excessiva na rosca do acionador, há folga excessiva também entre o pivô do tensor e o tensor.</b>

Figura 29 – Regulador tensor corrente – “5 porquês”

1 - <i>Por que ocorre a reclamação no campo ?</i>
Porque ocorre vazamento de óleo pela tampa lateral direita do motor.
2 - <i>Por que ocorre vazamento de óleo pela tampa lateral direita do motor. ?</i>
Porque o retentor não veda.
3 - <i>Por que o retentor não veda ?</i>
Porque há folga entre a alavanca da embreagem e os alojamentos da tampa.
4 - <i>Por que há folga entre a alavanca da embreagem e os alojamentos da tampa ?</i>
Porque há falta das buchas de apoio da alavanca no retentor.
5 - <i>Por que há falta das buchas de apoio da alavanca no retentor ?</i>
<b>Porque durante a montagem e checagem da existência das buchas ocorreram falhas.</b>

Figura 30 – Retentor tampa lateral direita – “5 porquês”

1 - Por que ocorre a reclamação no campo ?
Porque ocorre queima excessiva de óleo - fumaceamento.
2 - Por que ocorre fumaceamento ?
Porque há uma combustão inadequada.
3 - Por que há uma combustão inadequada ?
Porque identificou-se poeira e carbono devido à cabonização excessiva na cabeça do pistão.
4 - Por que há a presença de impurezas na câmara de combustão ?
Porque o segundo anel e anel de óleo apresentam desgaste excessivo.
5 - Por que os anéis apresentam desgaste excessivo ?
Porque o projeto prevê revestimentos inadequados.

Figura 31 – Cilindro – “5 porquês”

As observações destas fases anteriores serão integradas numa análise de modos e efeitos de falhas (FMEA do processo) onde as ações corretivas definitivas serão propostas.

Deste modo, para os problemas ou falhas abordadas obtém-se a Figura 32:

ITEM FUNÇÃO	MODO DE FALHA POTENCIAL	EFEITO(S) POTENCIAL (ais) DE FALHA	S E V	C I R	CAUSA MECANISMO(S) POTENCIAL(AIS) DE FALHA	O C O	CONTROLE(S) DE PROJETO ATUAL(AIS)	D E T	N P R	AÇÕES RECOMENDADAS	RESPONSÁVEL E PRAZO	RESULTADOS DA AÇÃO				
												AÇÕES TOMADAS	S E V	O C O	D E T	N P R
REGULADOR TENSOR DA CORRENTE DE COMANDO  - ajustar o tensionamento da corrente de transmissão da árvore de comando	BAIXO TORQUE DE VIBRAÇÃO	PERDA DA FUNÇÃO, CORRENTE TRABALHA SOLTA  RUIDO EXCESSIVO MOTOR	7	-	- FOLGA EXCESSIVA NA ROSCA DO ACIONADOR  - FOLGA EXCESSIVA ENTRE O PIVOT DO TENSOR E O TENSOR	B	-POR AMOSTRAGEM É VERIFICADA A ROSCA POR CALBRADOR  -POR AMOSTRAGEM - SIMULAÇÃO NUM DISPOSITIVO QUE SIMULA O MOTOR	7	392	- ALTERAÇÃO NO PARTE DA ROSCA DO TENSOR - AUMENTO DA ESPESSURA DA PAREDE DO TENSOR	GARANTIA CAMPO 30/06/06	- AUMENTO DA CARGA EM 50% E AUMENTO DA ESPESSURA EM 23%	7	2	2	28
RETENTOR DA TAMPA LATERAL DIREITA DO MOTOR  - VEDAR MOTOR NA REGIÃO DA ALAVANCA DA EMBREGEM	MAU POSICIONAMENTO RETENTOR	VAZAMENTO DE ÓLEO PELA TAMPA LATERAL DIREITA  TRAVAMENTO ALAVANCA EMBREGEM	8	-	- FALHA NA MONTAGEM - NÃO POSICIONAMENTO DAS BUCHAS DE APOIO DA ALAVANCA EMBREGEM NO RETENTOR	B	-VERIFICAÇÃO SOMENTE VISUAL	8	394	- ALTERAÇÃO NA MONTAGEM EM RELAÇÃO À INSERÇÃO DAS BUCHAS DE APOIO	MONTAGEM 30/06/06	- IMPLANTAÇÃO DE NOVO DISPOSITIVO DE PRENSAGEM DO RETENTOR E DAS BUCHAS QUE REALIZA CHÉCAGEM DA PRESENÇA DESTAS AUTOMATICAMENTE	8	1	1	9
CILINDRO DO MOTOR  - GARANTIR A COMBUSTÃO DO MOTOR	ENTRADA NA CÂMARA DE COMBUSTÃO DE POEIRA E PARTÍCULAS DE CARBONO	QUEIMA EXCESSIVA DE ÓLEO NA CÂMARA DE COMBUSTÃO - FUMACEAMENTO EXCESSIVO	7	-	DESGASTE EXCESSIVO DOS ANÉIS DO CILINDRO, DEVIDO À FALHA PROJETO	B	-ESPECIFICAÇÃO INCORRETA	10	420	- ALTERAÇÃO ESPECIFICAÇÃO	ENGENHARIA 30/06/06	- ALTERAÇÃO PROJETO - MUDANÇA DO REVESTIMENTO DOS ANÉIS	7	1	2	14

Figura 32 – Formulário da análise do tipo FMEA, mostrando a análise dos modos e efeitos das falhas dos itens crônicos abordados neste estudo

E finalmente, após a implantação das ações acima, admitiu-se que os efeitos e falhas abordados seriam eliminados e assim, as confiabilidades dos componentes

crônicos foram recalculadas, conforme Tabela 8. Isto será feito pois a implantação das ações corretivas definitivas ainda é muito recente, não permitindo que se use um banco de dados de garantia da data de aplicação da melhoria até uma data atual, pois os dados não serão suficientemente confiáveis e expressivos.

Tabela 8 – Comparação confiabilidades anterior e após tomada de ação

	CONFIABILIDADE ANTES	CONFIABILIDADE DEPOIS
REGULADOR TENSOR	0,9483	~ 1
RETENTOR TAMPA LAT.	0,9758	~ 1
CILINDRO MOTOR	0,9925	~ 1

É importante enfatizar que o método para se efetuar o novo cálculo da confiabilidade, simulando a ação já implantada, obedeceu os mesmos métodos dos cálculos de confiabilidade da situação original.

Para se ter uma real idéia do impacto desta melhoria observa-se na figura 33, base o mesmo período de produção envolvido no estudo, ou seja, as 69.005 motocicletas produzidas de janeiro à abril de 2005, a quantidade de motocicletas que deixaram de falhar com a implantação das ações envolvidas neste estudo.

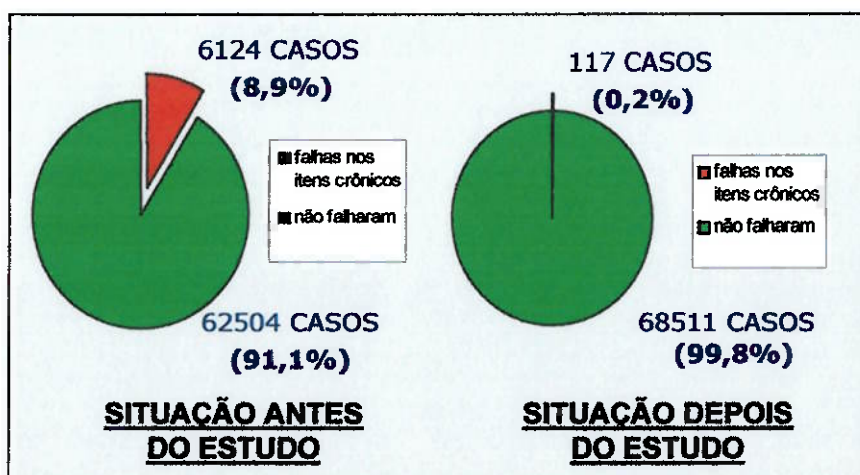


Figura 33 – Efeito dos resultados após a conclusão do estudo

#### **4 . ESTUDO DE CASO: ESTUDO DE CONFIABILIDADE NUM REATOR QUÍMICO**

O objetivo do estudo de caso é testar um método capaz de formular objetivamente uma estratégia de manutenção para os equipamentos da organização, mudando a forma de ação corretiva para uma ação preventiva baseada na confiabilidade, aumentar a credibilidade da manutenção junto à gerência e que possa ser um contraponto às práticas subjetivas observadas na empresa, tanto para qualidade do produto, quanto para a segurança do meio ambiente e de seus colaboradores. Contudo, obter a maior confiabilidade dos equipamentos, levando em consideração que, em equipamentos críticos se faz manutenção preventiva e em equipamentos não críticos e com modo de falhas aleatórias admite-se manutenção corretiva, colocando-se em questão os métodos aplicáveis da manutenção atual e obtendo evidências para a comprovação desses métodos.

Para a definição do equipamento a ser estudado, realiza-se um cruzamento de informações entre o gráfico de Pareto e o fluxograma de identificação de sistemas críticos. A figura 33 mostra que os equipamentos são classificados em A, B e C.

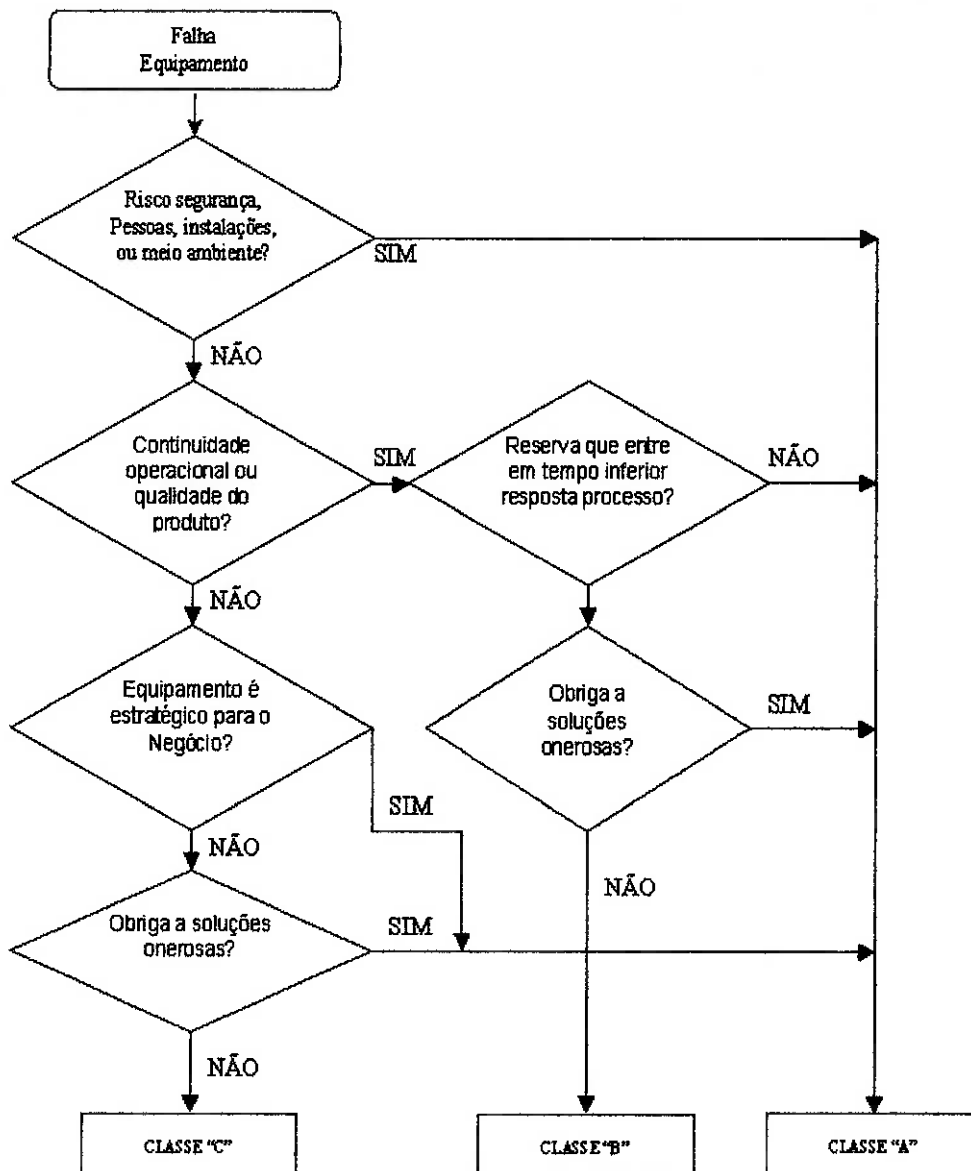


Figura 34 – Fluxograma de identificação de sistemas críticos  
 Fonte: Implantando RCM em Sistemas críticos da ALUMAR, 1980

Definida a classe dos equipamentos e, considerando que o objetivo desse trabalho é a elaboração de planos de manutenção para aumentar a confiabilidade do sistema utilizando dados do histórico de falhas dos equipamentos, prioriza-se o estudo no equipamento de classe A e que dentro destes classificados como A, o que tenha contribuído com o maior consumo de recursos no último ano, sem desconsiderar os impactos que a falha pode provocar tanto ao processo quanto à segurança operacional.

Para definição do sistema de maior impacto e em seguida direcionar o estudo de caso somente a este sistema, foi definida a utilização do diagrama de Pareto, deixando o restante dos sistemas para futuras análises.

É apresentado na figura 34, o Diagrama de Pareto com o percentual de recursos gastos nos últimos doze meses de todos os equipamentos de classe A, apresentando no topo da lista quatro equipamentos idênticos, tanto quanto à estrutura, como na produção do mesmo produto, sendo assim o tipo de equipamento, foco da análise.

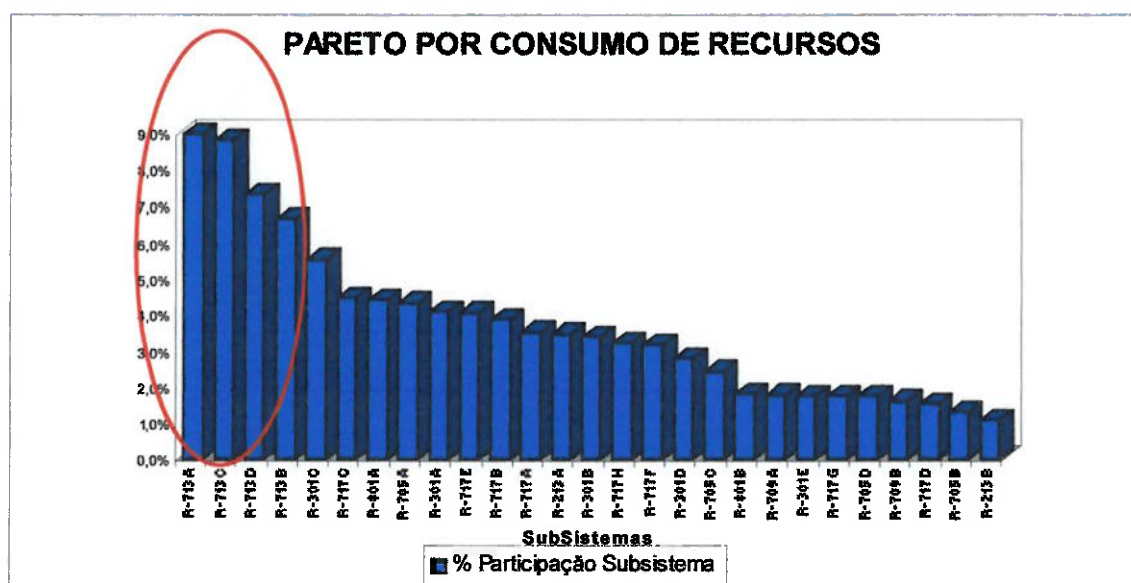


Figura 35 – Pareto por custo da manutenção

O equipamento a ser estudado é um reator químico usado para produção do corante, o “jeans”.

Assim, definido o equipamento, faz-se o desenho simplificado e a estrutura do equipamento, apresentados nas Figuras 35 e 36.

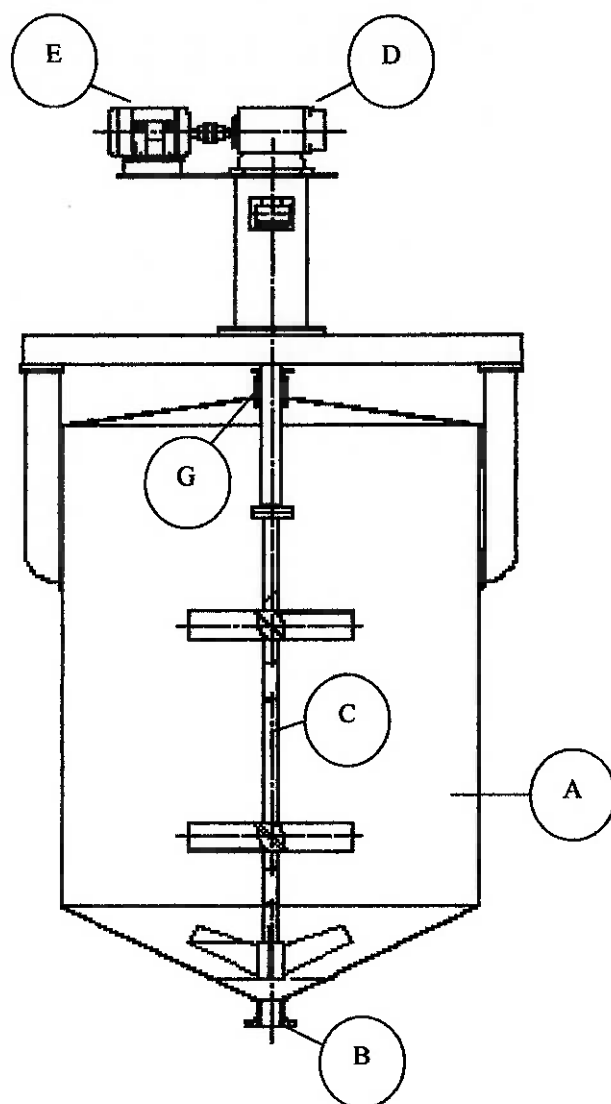
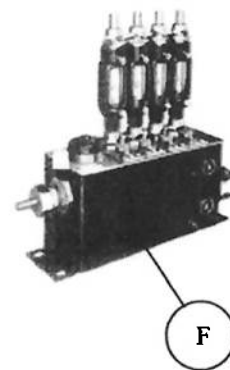


Figura 36 – Desenho do reator simplificado

- A. Vaso
- B. Válvula de Fundo
- C. Conjunto de Agitação
- D. Redutor
- E. Motor do redutor
- F. Sistema de Lubrificação da gaxeta
- G. Sistema da gaxeta



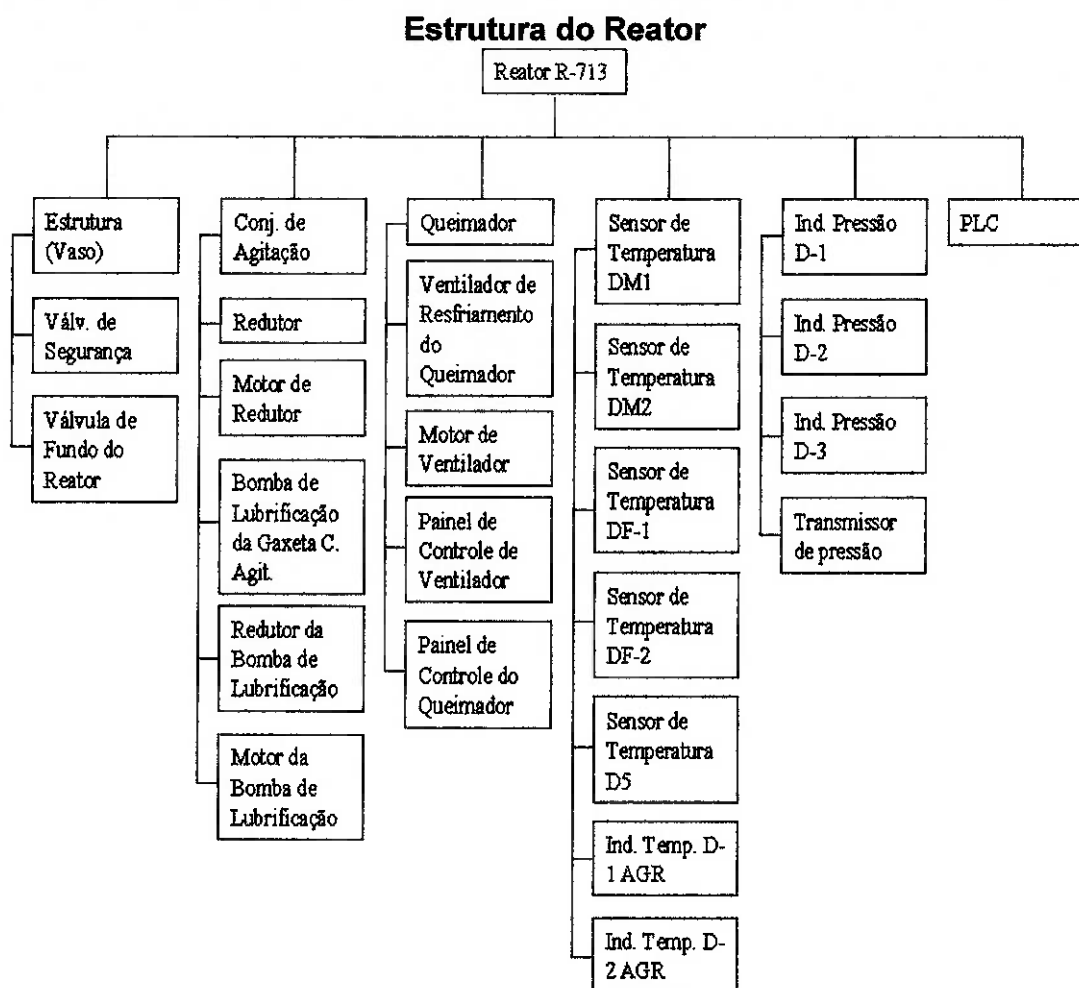


Figura 37 – Estrutura do reator

As informações de campo são recebidas através de um sistema informatizado de manutenção, onde são registradas todas as ocorrências do equipamento e de seus subsistemas, indicando os materiais utilizados, mão de obra e tempos de parada e reparo. O reator pode ser dividido em 26 subsistemas, conforme mostrado na Figura 36.

Faz-se um novo gráfico de Pareto, Figura 37, para identificar o sistema crítico quanto a recursos utilizados e verifica-se que apenas sete subsistemas correspondem a aproximadamente 95% dos recursos gastos no equipamento em geral, subsistemas estes que serão direcionados nos estudos.



Figura 38 – Gráfico de Pareto, recursos gastos por subsistema

Definido o equipamento e subsistemas a serem estudados, foi necessário o estudo dos modos de falhas que ocorrem nos subsistemas utilizando a análise FMEA.

Para a efetivação do método de análise dos modos de falhas e seus efeitos foram elaboradas planilhas para o preenchimento conforme exemplificado na Figura 38. Para um melhor aproveitamento serão considerados apenas os sete subsistemas que consumiram maiores recursos com manutenção corretiva no último ano, desconsiderando os equipamentos que não tiveram nenhuma ocorrência nos últimos doze meses.

A análise do tipo FMEA visa determinar a consequência da falha de um componente para o sistema, nos auxiliando na priorização das manutenções a serem realizadas.

FMEA		FMEA - Análise do Modo e do Efeito de Falhas								
		Projeto: Reator								
Cliente/Ref.: Produção Corante			Aplicação: Manutenção reator				Área envolvidas - Manut			
Item	Tag	Função do componente no processo	Falhas possíveis			Atual				
			Modo	Efeito	Causa	Controle atual	Sev.	Det.	Prob	Risc.
Conjunto de Agitação	M-713	Agitar produto dentro do reator	Conjunto não gira	Afeta qualidade do produto e volume de produção	Quebra do pino do acoplamento	Nenhum	7	7	7	343
			Quebra parcial ou total da turbina	Nenhum agitação ou agitação parcial do produto afeta qualidade do produto e quebra de produção	Desgaste natural	Nenhum	7	6	6	252
			Empenamento do eixo	Ruído anormal	Impacto com produto sólido	Inspeção Visual de impurezas presas no vaso a cada 50 reações	8	7	5	280
Motor do Conjunto de Agitação	MM-713	Transformar energia elétrica em mecânica para girar redutor	Motor não gira	Não gira conjunto de agitação afeta qualidade do produto e volume de produção	Desgaste do rolamento	Nenhum	7	3	8	168

Figura 39 – Tabela de análise do tipo FMEA

Quanto à confiabilidade dos sistemas, os dados de tempo até a falha dos subsistemas foram coletados do sistema informatizado de gestão da manutenção, conforme exemplo da Figura 39. Os tempos entre as falhas são variáveis aleatórias relativos ao processo aleatório de quebra dos equipamentos. Dentre os ajustes obtidos, adotaram-se os modelos de Weibull dois parâmetros, sugerido pelo teste de aderência do software Weibull++ e devido ao fato de o modelo limite possuir muitos modos de falhas quando ocorrem as quebras.

Inserem-se os dados na planilha do software Weibull ++ utilizando a distribuição de Weibull com 2 Parâmetros e a Regressão em X (RRX) para calcular os parâmetros, sendo possível obter os dados de confiabilidade dos subsistemas.

Válvula de Fundo do 713			
Descrição	Data	Nº da Falha	Dias até a Falha
prolongador da valvula	01/06/05	0	0
desajustada	08/07/05	1	37
prolongador da valvula travado	30/08/05	2	90
verificar valv. Não abre	04/09/05	3	95
verificar valv. Não abre	13/09/05	4	104
reparar prolongador da valv. De fundo	06/10/05	5	127
ajustar valv	25/10/05	6	146
verificar valv.	22/11/05	7	174
valvula não fecha	09/12/05	8	191
verificar valv.	17/01/06	9	230
prolongador da valvula	20/02/06	10	264
verificar valv.	24/02/06	11	268
verificar valv.	02/03/06	12	274
prolongador da valvula	14/03/06	13	286
não fecha	15/03/06	14	287
não fecha	25/03/06	15	297
não fecha	27/03/06	16	299
valv não abre	09/04/06	17	312
não fecha	19/04/06	18	322
verificar valv. não abre	24/04/06	19	327

Figura 40 – Tempo até a falha da válvula de fundo

Conforme Tabela 9, observa-se que os componentes de um modo geral estão a caminho do desgaste, justificando uma estratégia de manutenção preventiva.

Tabela 9 – Confiabilidade dos subsistemas críticos

TAG	R(t)	$\beta$	$\eta$	MTBF
VF-713	0,96	2,0565	248,7393	220
RG-713	0,94	1,162	85,6332	81
MM-713	0,90	1,111	183,3755	176
P-713	0,90	1,3081	174,3863	160
Q-713	0,91	1,2895	255,0475	236
RED-713	0,85	1,066	231,79	226

Na Tabela 10, admite-se a confiabilidade limite desejada para cada subsistema utilizando como critério a severidade encontrada no estudo da análise FMEA (anexo C) e, na curva de Confiabilidade x Tempo, Figuras 40, 41, 42, 43 e 44, verifica-se o cruzamento da confiabilidade estimada versus o tempo, para definir o tempo desejado de fazer a manutenção preventiva, considerando que a manutenção seja perfeita e retorne o equipamento à condição de quando era novo.

Tabela 10 - Intervalos ótimos entre as intervenções preventivas

TAG	R(t) mínima	Periodicidade
VF-713	0,98	mensal
RG-713	0,98	semanal
MM-713	0,98	mensal
P-713	0,98	trimestral
Q-713	0,91	semestral
RED-713	0,98	mensal

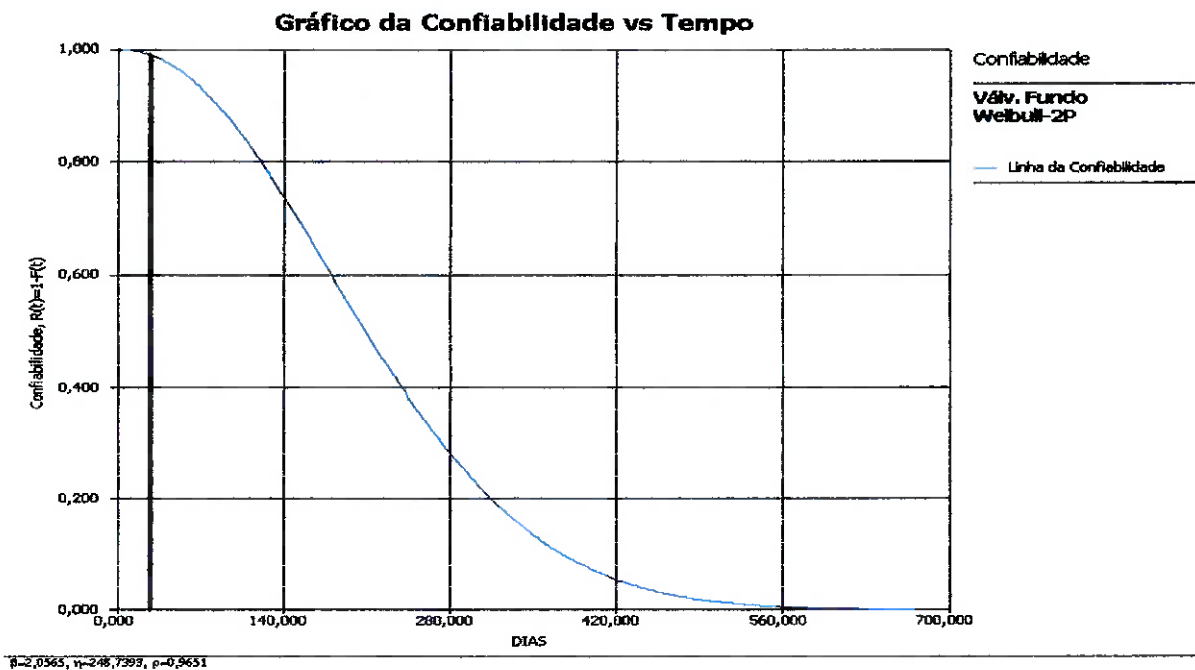


Figura 41 – Confiabilidade x Tempo da válvula de fundo

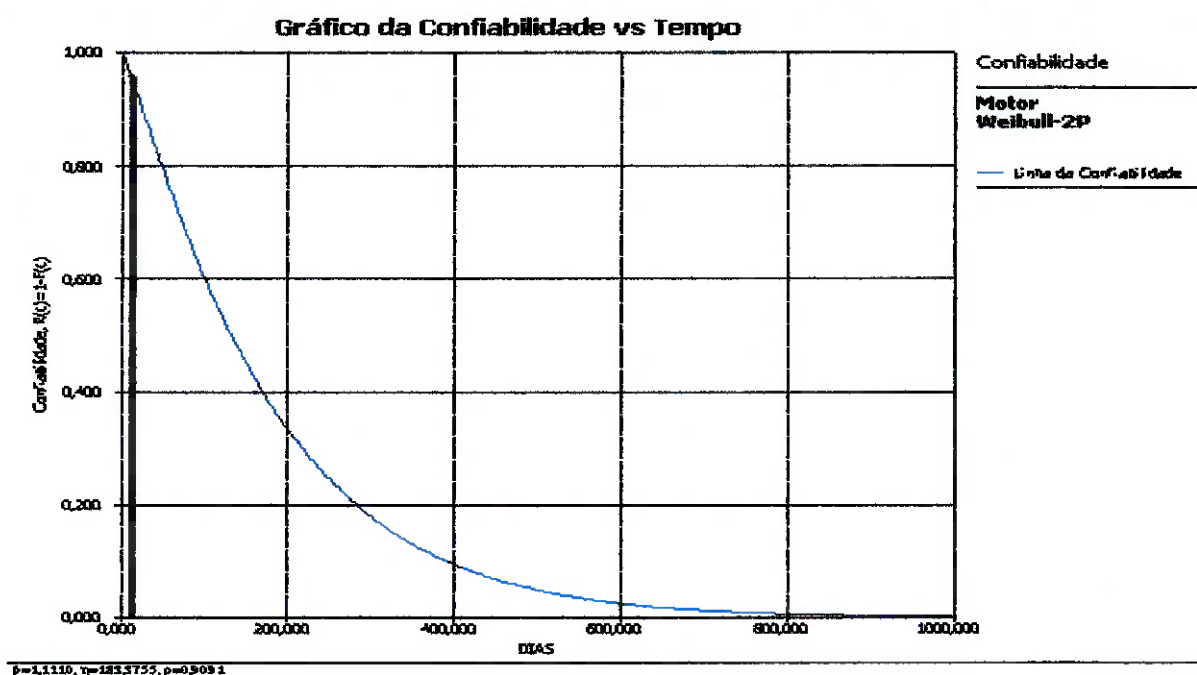


Figura 42 – Confiabilidade x Tempo do motor

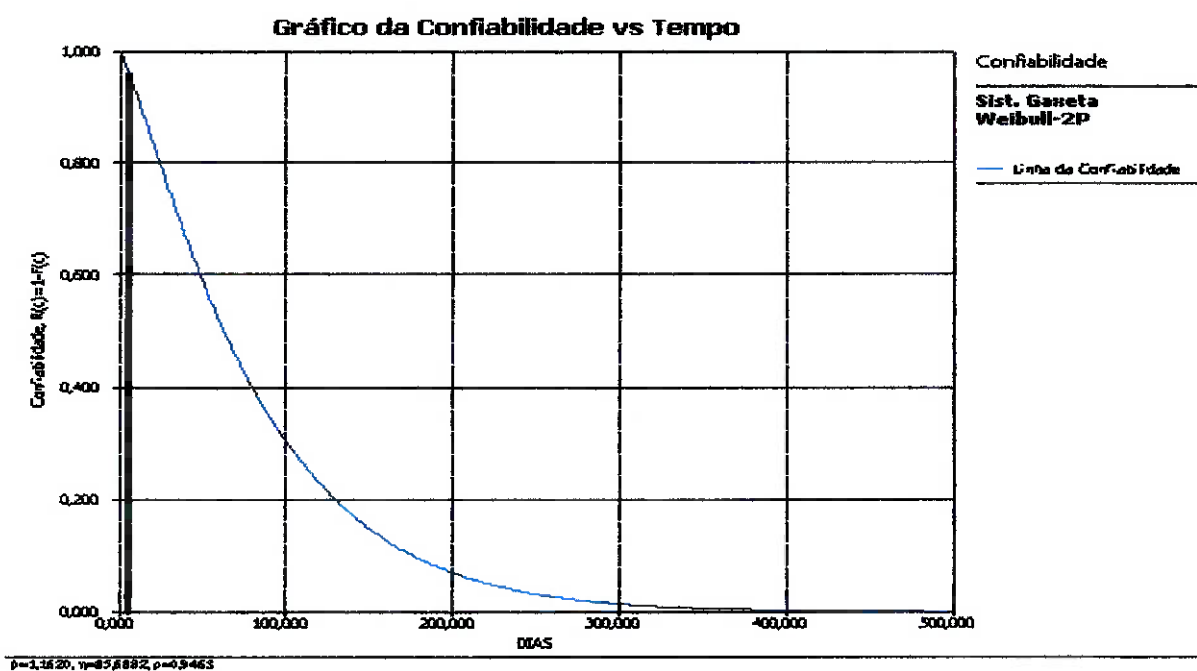


Figura 43 – Confiabilidade x Tempo do sistema de gaxeta

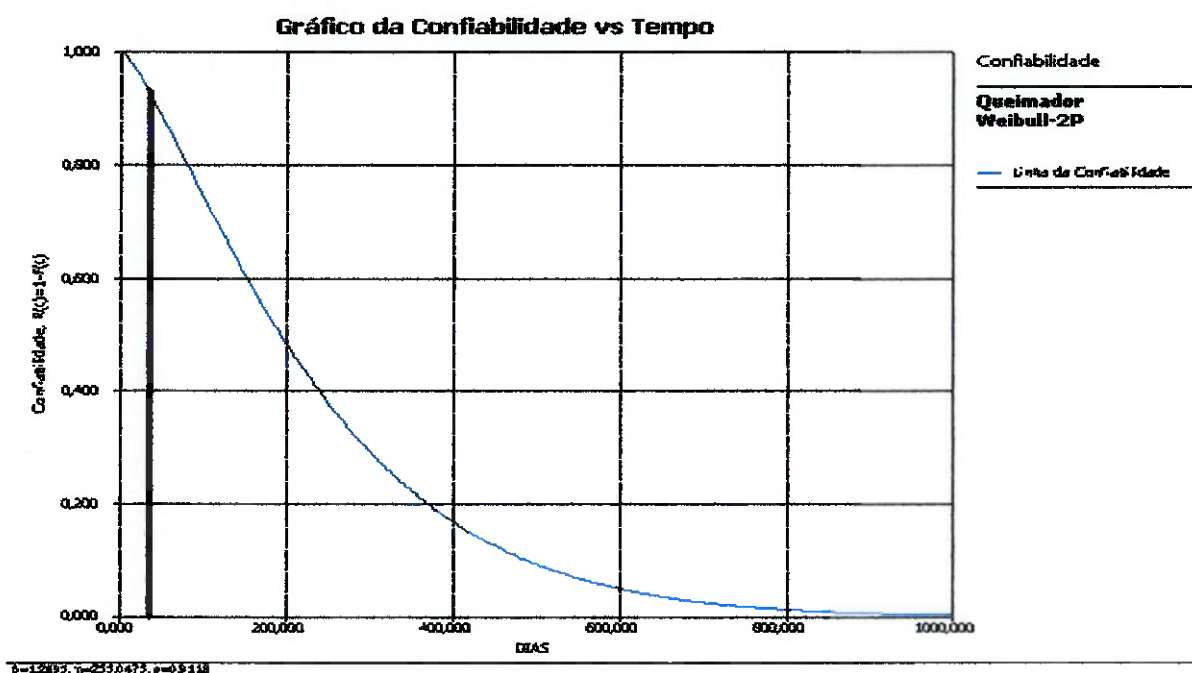


Figura 44 – Confiabilidade x Tempo do queimador

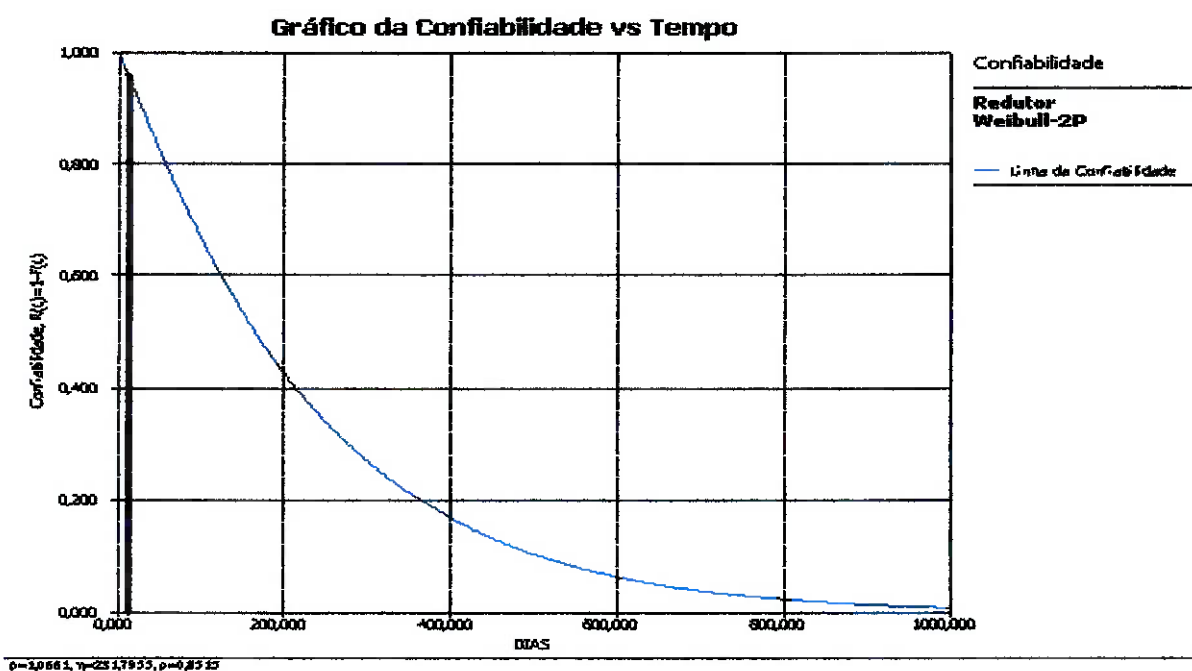


Figura 45 – Confiabilidade x Tempo do redutor

A aplicação do estudo forneceu bases concretas para otimização da manutenção, como planos de manutenção racionalizados, com foco em prevenção de falhas, mudando o conceito que havia na empresa de praticar apenas manutenções corretivas.

No próximo passo, deve-se realizar um ponto de corte a partir da implementação das melhorias, a fim de monitorar a confiabilidade dos itens e certificar se realmente o plano de manutenção adotado foi efetivo para atingir a confiabilidade limite desejada para o tempo estipulado. Coleta-se os dados de falha após a implementação da melhorias e faz-se a comparação da curva de confiabilidade do Sistema de Gaxeta antes dos planos adotados e após a implementação parcial, como mostra a Figura 45, onde nota-se uma melhoria da confiabilidade, atingindo a confiabilidade limite desejada.

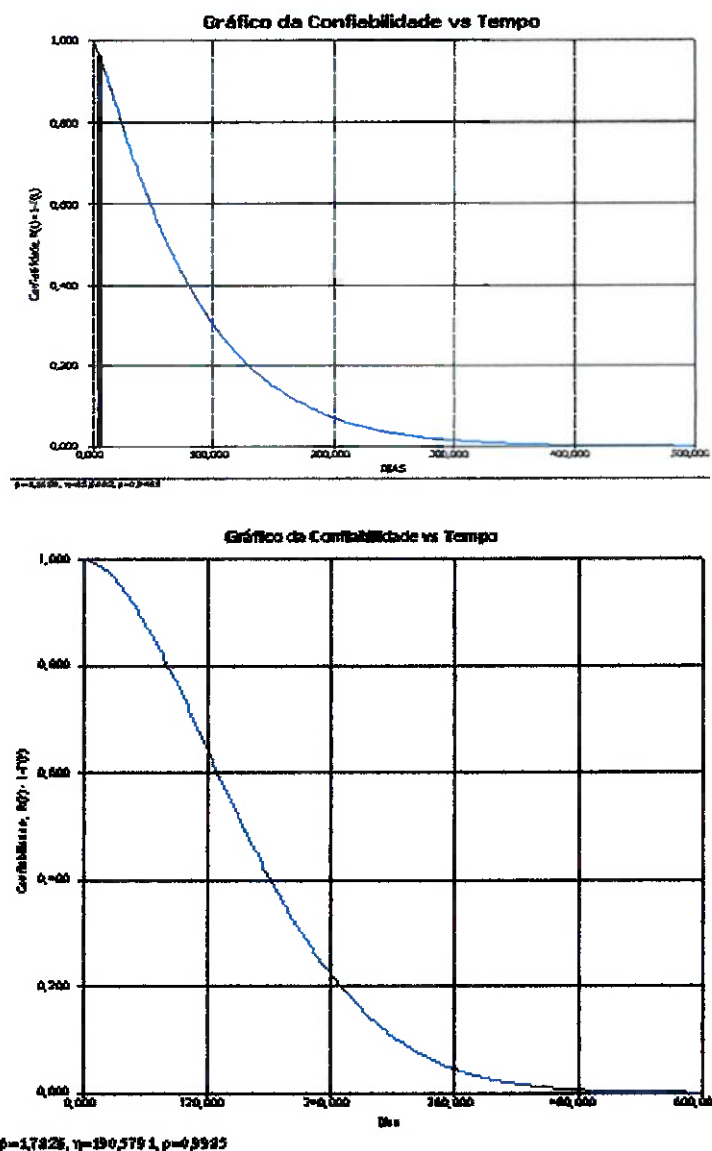


Figura 46 – Confiabilidade antes x após implementação parcial (sistema de gaxeta)

## 5 . CONCLUSÃO

Foram explorados os bancos de dados das falhas de garantia da motocicleta e de manutenção do reator químico e foi obtida a confiabilidade dos equipamentos envolvidos. Através desta análise identificou-se causas que afetavam significativamente as disponibilidades operacionais dos equipamentos. Uma vez identificadas tais causas, estabeleceu-se melhorias e realizou-se uma simulação com o impacto destas melhorias implantadas que confirmaram o aumento nas disponibilidades operacionais dos equipamentos.

No caso do reator químico as manutenções eram realizadas baseadas na experiência e sentimento dos funcionários envolvidos no processo ou através de manuais dos fabricantes. Como consequência deste estudo estas manutenções puderam ser ajustadas considerando o histórico de falhas que possibilitou uma melhoria nos planos de manutenção, um consequente aumento de confiabilidade dos equipamentos e, logicamente, no aumento da disponibilidade da máquina. Todos estes resultados obtidos se tornam fundamentais, uma vez que se trata de um equipamento que oferece risco ao usuário e ao meio ambiente.

Quanto à motocicleta, tinha-se um índice de garantia em torno de 19,6%, o ganho de confiabilidade e o também consequente ganho expressivo operacional refletiram também numa queda deste índice de garantia pela metade. Neste contexto, apesar da atuação do estudo ser exercida sobre os componentes mais críticos e não sobre o sistema motocicleta, o que pode ser continuado por outro trabalho, o resultado em relação ao aumento de satisfação de um consumidor de um mercado cada vez mais expansivo e cada vez mais concorrido é bastante valioso.

Sem contar a economia com o que se despendia em garantia com os 10% de motos fabricadas que retornam às revendas espalhadas por todo Brasil para solicitar reparos ou trocas dos componentes em garantia.

## REFERÊNCIAS

- ABRACICLO 18/02/2006 [on-line]. São Paulo. (2006). <<http://www.abraciclo.com.br>>. Acessado em Fevereiro/2006.
- Anuário da Indústria Automobilística Brasileira. Publicado pela Associação Nacional dos Fabricantes de Veículos Automotores – ANFAVEA, (2005).
- ASCHER, H.; FEINGOLD, H. Repairable systems reliability. Marcel Dekker, New York, (1984).
- ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS (ABNT). Confiabilidade e Manutenibilidade – Terminologia, NBR 5462, Rio de Janeiro, (1994).
- Guaratini, C.C.I ; Zanoni, M.V.B.: Corantes Têxteis. 1999. 78 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Química) – Instituto de Química da Universidade do Estado de São Paulo, 1999.
- Lafraia, R.B.L.: Manual de Confiabilidade, Manutenibilidade e Disponibilidade. Rio de Janeiro: Qualitymark Petrobrás, (2001).
- Lewis, E.E.: Introduction to Reliability Engineering. Segunda Edição. John Wiley & Sons. (1994).
- Luko, S. N.: A Review of the Weibull Distribution and Selected Engineering Applications. SAE 2859 (1999).
- Martha de Souza, G. F.: Confiabilidade de Produtos e Sistemas (2005). Notas de Aula.
- Moubray, J.: Introdução à manutenção centrada na confiabilidade. Aladon, (1996).
- Murad, C. A.: Extensão da Garantia de Veículos: Aplicação para Motor e Transmissão. 2005. 147 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Automotiva) – Escola Politécnica da Universidade de São Paulo, 2005.
- Neto, M. G.: Implantando RCM em Sistemas críticos da ALUMAR, 1980. 26 transparências.
- O' Connor, P. D. T.: Practical Reliability Engineering. (2002 – 4<sup>th</sup> Edition). John Wiley & Sons, LTD.
- Palady, P.: FMEA - análise dos modos de falha e efeitos. Ed. Instituto IMAM, (2000).
- ReliaSoft: Life Data Analysis Reference (2005). Fabricado por ReliaSoft. Disponível em: <[http://www.weibull.com.br/recursos/livros de confiabilidade](http://www.weibull.com.br/recursos/livros_de_confiabilidade)>. Acesso em junho/06.
- ReliaSoft: Table of Contents: System Analysis Reference (2005). Fabricado por ReliaSoft. Disponível em: <[http://www.weibull.com.br/recursos/livros de confiabilidade](http://www.weibull.com.br/recursos/livros_de_confiabilidade)>. Acesso em junho/06.
- Weibull, W.: A statistical Distribution Function of Wide Applicability. ASME Journal of Applied Mechanics. (1951).

## ANEXO A – Parte do banco de dados garantia motocicletas

DESC. PORT	qtd	COD. COMPLETO	MODELO	DEFEITO	ANO	MES	CUSTO (R\$)	KM	DIAS	CHASSI	PRODUÇÃO	VERDA	RECLAME	DESCRIÇÃO DO DEFEITO
REGULADOR TENSOR	1	14520KRM672	CG150 KS 012		2005	7	145,11	247	17	9C2K08105R118754	42005	11/05/2005	27/05/2005	Perda ou redução de eficiência do Regulador do Ten sor gerando barulho excessivo no motor na região d o cilindro.
REGULADOR TENSOR	1	14520KRM672	CG150 KS 012		2005	3	148,73	321	33	9C2K08105R084793	12005	18/01/2005	18/02/2005	Perda ou redução de eficiência do Acionador do Ten sor de Corrente de Comando gerando barulho excessivo no motor na região do cilindro. Gire o eixo do tensor no sentido horário com a ferramenta limitadora a fim de retrair o tensor. Em seguida insira completamente a ferramenta limitadora a fim de manter o tensor na posição totalmente retraída e insira o regulador no cilindro e aperte Perda ou redução de eficiência do Regulador do Ten
REGULADOR TENSOR	1	14520KRM672	CG150 KS 03214		2005	1	108,24	436	129	9C2K08105R110385	32005	21/08/2005	27/12/2005	Perda ou redução de eficiência do Regulador do Ten sor gerando barulho excessivo no motor na região d o cilindro. NÃO GRAVAR ESTÁ SG CASO O PROBLEMA SEJ
REGULADOR TENSOR	1	14520KRM672	CG150 KS 012		2005	9	105,18	452	6	9C2K08105R108045	32005	22/08/2005	25/08/2005	Perda ou redução de eficiência do Acionador do Ten sor de Corrente de Comando gerando barulho excessivo no motor na região d o cilindro. ATENDER O BOLETIM TÉCNICO 03605. ESTA SG É EXCLUS NA PARA TROCA DO REGULADOR TENSOR E DO TENSOR DA CORRENTE CASO ESTEJA AVARIADO Perda ou redução de
REGULADOR TENSOR	1	14520KRM672	CG150 KS 012		2005	8	105,88	500	71	9C2K08105R857900	42005	02/05/2005	11/07/2005	Perda ou redução de eficiência do Acionador do Ten sor de Corrente de Comando gerando barulho excessivo no motor na região do cilindro.
REGULADOR TENSOR	1	14520KRM672	CG150 KS 012		2005	4	135,44	523	20	9C2K08105R089115	12005	01/03/2005	28/03/2005	Perda ou redução de eficiência do Regulador do Ten sor gerando barulho excessivo no motor na região d o cilindro.
REGULADOR TENSOR	1	14520KRM672	CG150 KS 012		2005	7	148,01	580	40	9C2K08105R857209	42005	13/05/2005	21/05/2005	Perda ou redução de eficiência do Regulador do Ten sor gerando barulho excessivo no motor na região d o cilindro.
REGULADOR TENSOR	1	14520KRM672	CG150 KS 012		2005	7	105,73	586	75	9C2K08105R846825	32005	31/03/2005	13/05/2005	Perda ou redução de eficiência do Regulador do Ten sor gerando barulho excessivo no motor na região d o cilindro.
REGULADOR TENSOR	1	14520KRM672	CG150 KS 012		2005	8	105,01	590	158	9C2K08105R851739	32005	04/02/2005	11/07/2005	Perda ou redução de eficiência do Regulador do Ten sor gerando barulho excessivo no motor na região d o cilindro.
REGULADOR TENSOR	1	14520KRM672	CG150 KS 012		2005	6	105,88	605	47	9C2K08105R846610	32005	19/03/2005	04/05/2005	Perda ou redução de eficiência do Regulador do Ten sor gerando barulho excessivo no motor na região d o cilindro.
REGULADOR TENSOR	1	14520KRM672	CG150 KS 012		2005	9	104,66	622	62	9C2K08105R1103197	22005	18/03/2005	18/05/2005	Perda ou redução de eficiência do Regulador do Ten sor gerando barulho excessivo no motor na região d o cilindro.
REGULADOR TENSOR	1	14520KRM672	CG150 KS 012		2005	7	105,88	637	78	9C2K08105R851895	32005	27/04/2005	13/07/2005	Perda ou redução de eficiência do Regulador do Ten sor gerando barulho excessivo no motor na região d o cilindro.
REGULADOR TENSOR	1	14520KRM672	CG150 KS 012		2005	5	141,42	680	74	9C2K08105R841349	22005	28/02/2005	12/05/2005	* REGULADOR RETORNANDO E COM PINTA AZUL Perda ou redução de eficiência do Regulador de Tensor da co mando gerando barulho excessivo no mot
REGULADOR TENSOR	1	14520KRM672	CG150 KS 012		2005	6	153,25	722	32	9C2K08105R115361	32005	13/04/2005	14/05/2005	Perda ou redução de eficiência do Regulador do Ten sor gerando barulho excessivo no motor na região d o cilindro.
REGULADOR TENSOR	1	14520KRM672	CG150 KS 012		2005	6	111,03	768	64	9C2K08105R109126	32005	29/03/2005	31/05/2005	Perda ou redução de eficiência do Regulador do Ten sor gerando barulho excessivo no motor na região d o cilindro. ATENDER O BOLETIM TÉCNICO 03605. ESTA SG É EXCLUS NA PARA TROCA DO REGULADOR TENSOR E DO TENSOR DA CORRENTE CASO ESTEJA DANIFICADO. Perda ou redução
REGULADOR TENSOR	1	14520KRM672	CG150 KS 012		2005	8	143,89	800	177	9C2K08105R086520	12005	31/01/2005	28/07/2005	Perda ou redução de eficiência do Regulador do Ten sor gerando barulho excessivo no motor na região d o cilindro.
REGULADOR TENSOR	1	14520KRM672	CG150 KS 012		2005	6	135,44	823	81	9C2K08105R089115	12005	01/03/2005	20/05/2005	Perda ou redução de eficiência do Regulador do Ten sor gerando barulho excessivo no motor na região d o cilindro.
REGULADOR TENSOR	1	14520KRM672	CG150 KS 012		2005	8	135,44	835	15	9C2K08105R119442	42005	08/06/2005	22/06/2005	Perda ou redução de eficiência do Regulador do Ten sor gerando barulho excessivo no motor na região d o cilindro.
REGULADOR TENSOR	1	14520KRM672	CG150 KS 012		2005	5	143,89	847	44	9C2K08105R107364	32005	29/03/2005	11/05/2005	Perda ou redução de eficiência do Regulador do Ten sor gerando barulho excessivo no motor na região d o cilindro.
REGULADOR TENSOR	1	14520KRM672	CG150 KS 012		2005	6	135,44	852	25	9C2K08105R110700	32005	25/04/2005	19/05/2005	Perda ou redução de eficiência do Regulador do Ten sor gerando barulho excessivo no motor na região d o cilindro.
REGULADOR TENSOR	1	14520KRM672	CG150 KS 012		2005	7	105,81	857	85	9C2K08105R109713	32005	28/03/2005	20/06/2005	Perda ou redução de eficiência do Regulador do Ten sor gerando barulho excessivo no motor na região d o cilindro.
REGULADOR TENSOR	1	14520KRM672	CG150 KS 012		2005	6	145,11	860	33	9C2K08105R108838	32005	24/03/2005	25/04/2005	Perda ou redução de eficiência do Regulador do Ten sor gerando barulho excessivo no motor na região d o cilindro.
REGULADOR TENSOR	1	14520KRM672	CG150 KS 012		2005	7	104,66	866	49	9C2K08105R124010	42005	08/05/2005	23/06/2005	Perda ou redução de eficiência do Regulador do Ten sor gerando barulho excessivo no motor na região d o cilindro.
REGULADOR TENSOR	1	14520KRM672	CG150 KS 012		2005	8	135,44	892	8	9C2K08105R125432	42005	15/05/2005	22/05/2005	Perda ou redução de eficiência do Regulador do Ten sor gerando barulho excessivo no motor na região d o cilindro.
REGULADOR TENSOR	1	14520KRM672	CG150 KS 012		2005	4	141,22	900	29	9C2K08105R0891807	12005	16/02/2005	16/03/2005	Perda ou redução de eficiência do Acionador do Ten sor de Corrente de Comando gerando barulho excessivo no motor na região do cilindro.
REGULADOR TENSOR	1	14520KRM672	CG150 KS 012		2005	5	153,25	900	22	9C2K08105R089218	22005	01/03/2005	22/03/2005	Perda ou redução de eficiência do Acionador do Ten sor de Corrente de Comando gerando barulho excessivo no motor na região do cilindro.
REGULADOR TENSOR	1	14520KRM672	CG150 KS 012		2005	3	138,22	905	34	9C2K08105R089588	12005	20/01/2005	22/02/2005	Perda ou redução de eficiência do Acionador do Ten sor de Corrente de Comando gerando barulho excessivo no motor na região do cilindro. SUBSTITUIÇÃO DA PEÇA BARULHO ANORMAL NO MOTOR NA REGAO DO CILINDRO
REGULADOR TENSOR	1	14520KRM672	CG150 KS 03214		2005	3	108,11	906	360	9C2K08105R869710	22005	14/02/2005	08/02/2005	Perda ou redução de eficiência do Acionador do Ten sor de Corrente de Comando gerando barulho excessivo no motor na região do cilindro.
REGULADOR TENSOR	1	14520KRM672	CG150 KS 012		2005	4	106,88	934	26	9C2K08105R082844	12005	11/02/2005	08/03/2005	Perda ou redução de eficiência do Regulador do Ten sor gerando barulho excessivo no motor na região d o cilindro.
REGULADOR TENSOR	1	14520KRM672	CG150 KS 012		2005	6	141,40	947	32	9C2K08105R119852	42005	05/05/2005	05/06/2005	Perda ou redução de eficiência do Regulador do Ten sor gerando barulho excessivo no motor na região d o cilindro.
REGULADOR TENSOR	1	14520KRM672	CG150 KS 012		2005	7	107,34	948	43	9C2K08105R083497	12005	03/05/2005	14/06/2005	Perda ou redução de eficiência do Regulador do Ten sor gerando barulho excessivo no motor na região d o cilindro.
REGULADOR TENSOR	1	14520KRM672	CG150 KS 012		2005	6	140,73	950	50	9C2K08105R104740	32005	16/03/2005	04/05/2005	Perda ou redução de eficiência do Regulador do Ten sor gerando barulho excessivo no motor na região d o cilindro.

### ANEXO B – Parte do banco de dados revisão motocicletas

Chassi	Km	km 1 ano	Data Venda	Dta. Revisão		Revis	Dta. Faturamento
9C2KC08105R120403	1	2	27/04/2005	29/10/2005		185	1 10/01/2005
9C2KC08105R104203	1	2	10/03/2005	10/09/2005		184	1 10/01/2005
9C2KC08105R122882	2	15	03/05/2005	21/06/2005		49	1 10/01/2005
9C2KC08105R099931	8	16	09/03/2005	09/09/2005		184	1 10/01/2005
9C2KC08105R113767	18	19	12/04/2005	23/03/2006		345	2 10/01/2005
9C2KC08105R118999	11	22	24/05/2005	23/11/2005		183	1 10/01/2005
9C2KC08105R116630	12	24	26/04/2005	26/10/2005		183	1 10/01/2005
9C2KC08105R084601	16	45	28/01/2005	07/06/2005		130	1 10/01/2005
9C2KC08105R851293	21	47	30/04/2005	10/10/2005		163	1 10/01/2005
9C2KC08105R097607	7	48	24/03/2005	16/05/2005		53	1 10/01/2005
9C2KC08105R843588	11	62	07/03/2005	11/05/2005		65	1 10/01/2005
9C2KC08105R841032	32	66	28/02/2005	24/08/2005		177	1 10/01/2005
9C2KC08105R858358	8	88	12/05/2005	14/06/2005		33	1 10/01/2005
9C2KC08105R096635	48	97	25/02/2005	25/08/2005		181	1 10/01/2005
9C2KC08105R841744	133	133	10/03/2005	10/03/2006		365	2 10/01/2005
9C2KC08105R097658	166	177	09/06/2005	17/05/2006		342	2 10/01/2005
9C2KC08105R083489	88	178	16/02/2005	15/08/2005		180	1 10/01/2005
9C2KC08105R838499	88	179	14/02/2005	12/08/2005		179	1 10/01/2005
9C2KC08105R082940	210	211	26/01/2005	25/01/2006		364	2 10/01/2005
9C2KC08105R107394	112	225	18/03/2005	16/09/2005		182	1 10/01/2005
9C2KC08105R105966	241	247	22/03/2005	13/03/2006		356	2 10/01/2005
9C2KC08105R097665	123	248	23/02/2005	23/08/2005		181	1 10/01/2005
9C2KC08105R841342	117	262	28/02/2005	10/08/2005		163	1 10/01/2005
9C2KC08105R094761	117	267	24/02/2005	03/08/2005		160	1 10/01/2005
9C2KC08105R099597	145	288	21/03/2005	21/09/2005		184	1 10/01/2005
9C2KC08105R094759	306	307	23/02/2005	22/02/2006		364	2 10/01/2005
9C2KC08105R838857	156	315	17/02/2005	17/08/2005		181	1 10/01/2005
9C2KC08105R833677	157	317	02/02/2005	02/08/2005		181	1 10/01/2005
9C2KC08105R836913	149	322	14/02/2005	02/08/2005		169	1 10/01/2005

## ANEXO C – FMEA reator químico

FMEA		FMEA - Análise de Modo e do Efeito de Falhas										Folha 1 de 2						
Projeto: Reator 713		Áreas envolvidas - Manutenção										Data elaboração: 01/05/2006						
Cliente/Ref.: Produção Corante		Aplicação: Manutenção reator																
Item	Tag	Função do componente no processo	Modo	Falhas possíveis	Efeito	Causa	Controle atual	Atual	Atual	Atual	Ação corretiva	Responsabilidade	Check se já executada	Resultado após ação				
							Sev.	Det.	Prob.	Risc.	Recomen-dação			Sev.	Det.	Ris.	Pros.	
Conjunto de Agitação	MM-713	Agitar produto dentro do reator	Conjunto não gira	Atua qualidade do produto e volume de produção	Quebra do eixo ou espolamento	Quebra do eixo ou espolamento	Nenhum	7	7	343	Inspeção mensal do plano de acoplamento	Manutenção Mecânica		7	7	2	88	
			Quebra parcial ou total de turbina	Nenhum espolamento ou quebra parcial do produto afeta qualidade do produto e quebra de produção	Desgaste natural	Desgaste natural	Nenhum	7	8	252	Inspeção mensal conforme procedimento de manutenção MM-02	Manutenção Mecânica		7	8	1	42	
			Empenamento de eixo	Ruído anormal	Impaco com produto sólido	Impaco com produto sólido	Inspeção Visual de impacuses presos no visor a cada 50 reações	8	7	5	260	Linear vaso a cada 20 reações para que não fique produto sólido preso no lateral do vaso e se desprendam na reação	Produção		8	7	2	112
Motor do Conjunto de Agitação	MM-713	Transformar energia elétrica em mecânica para girar reator	Motor não gira	Não gira conjunto de agitação afeta qualidade do produto e volume de produção	Desgaste do rolamento	Desgaste do rolamento	Nenhum	7	3	8	186	Inspeção mensal do motor conforme procedimento de manutenção MM-12	Manutenção Elétrica		7	3	2	42
							Nenhum	7	3	7	147	Inspeção semestral nos contatos conforme procedimento de manutenção MM-11	Manutenção Elétrica		7	3	2	42
							Nenhum	7	3	7	147	Inspeção semestral nos contatos conforme procedimento de manutenção MM-11	Manutenção Elétrica		7	3	2	42
Redutor do conjunto de agitação	RED-713	Girar conjunto de agitação	Redutor sem rotação de saída	Não gira conjunto de agitação afeta qualidade do produto e volume de produção	Desgaste e travamento do rolamento	Desgaste e travamento do rolamento	Libertação corretiva	7	6	6	336	Verificação mensal do conjunto de agitação	Libertador		7	6	1	42
							Nenhum	7	6	8	336	Inspeção mensal conforme procedimento de manutenção MM-14	Manutenção Mecânica		7	6	3	128
							Nenhum	8	7	4	224	Inspeção anual conforme procedimento de manutenção MM-15	Manutenção Mecânica		8	7	1	86
							Nenhum	8	5	8	405	Inspeção semestral conforme procedimento de Manutenção MM-14	Manutenção Mecânica		8	5	4	180
Válvula de Fundo	VF-713	Impedir passagem de produto na reação e Borer passagem após reação	Vazamento de óleo	Contaminação de Meio Ambiente e dos componentes	Desgaste do pistão de válvula	Desgaste do pistão de válvula	Teste de passagem de válvula realizada a cada reação	7	4	4	112	Teste de passagem da válvula realizada a cada reação e Manutenção trimestral conforme procedimento de manutenção MM-22	Produção e Manutenção Mecânica		7	4	2	56
			Não da passagem de produto após reação	Impossibilidade de transferir o produto e queda no volume de produção	Impureza na válvula	Impureza na válvula	Limpeza do reator a cada 20 reações	8	5	9	360	Limpeza do reator a cada 20 reações	Produção		8	5	3	120
							Nenhum	8	5	9	360	Inspeção trimestral conforme procedimento de manutenção MM-15	Manutenção Mecânica		8	5	3	120
							Nenhum	7	5	7	245	Inspeção trimestral conforme procedimento de manutenção MM-15	Manutenção Mecânica		7	5	3	105
Sistema de Gaveta	SO-713	Impedir passagem de produto pelo conjunto de agitação e manter pressurizado	Não impede passagem de produto e não mantém pressurizado	Contaminação do meio ambiente, afeta qualidade do produto e queda do volume de produção	Desgaste da gaveta	Desgaste da gaveta	Nenhum	8	3	10	270	Ajuste semanal de gaveta e troca a cada 300 reações aproximadamente 50 dias	Manutenção Mecânica		8	3	1	27
							Nenhum	8	3	8	216	Registrar material correto no sistema de manutenção e providenciar a cada troca	Programador de manutenção		8	3	1	27
							Nenhum	8	3	8	216	Elaboração de procedimento de troca de gaveta e treinamento dos mecânicos	Encarregado de manutenção mecânica		8	3	1	27

## ANEXO C – FMEA reator químico (continuação)

FMEA		Projeto: Reator 713										Folha 1 de 2					
Cliente/Ref.: Produção Corante		Aplicação: Manutenção reator										Data elaboração: 01/06/2005					
		Área envolvidas - Manutenção															
Item	Tag	Função do componente no processo	Falhas possíveis			Causa	Controle atual	Atual	Risc.	Ação corretiva	Responsabilidade	Check se já executada	Resultado após ação				
			Modo	Efeito	Sev.								Det.	Prob	Sev.	Det.	Prob.
Contorno de lubrificação da Gaveta	P-713	Lubrificar a gaveta e manter uma pressão de 4,5 kgf/cm <sup>2</sup>	Nenhuma lubrificação da gaveta	Degradação prematura da gaveta contaminação do meio ambiente, afeta qualidade do produto e queda do volume de produção	Sistema de lubrificação e bomba sujas	Nenhum	9	6	7	378	Limpeza trimestral da bomba e sistema de Lubrificação	Lubrificador		8	6	2	108
			Não manter pressurizado a 4,5kgf/cm <sup>2</sup>	Degradação prematura da gaveta contaminação do meio ambiente, afeta qualidade do produto e queda do volume de produção	Vazamento no sistema de lubrificação	Nenhum	6	3	9	243	Inspeção semestral do sistema de lubrificação conforme procedimento de manutenção MM-23	Manutenção Mecânica		8	3	2	54
					Sistema de lubrificação e bomba sujas	Nenhum	9	3	6	216	Limpeza trimestral da bomba e sistema de Lubrificação	Lubrificador		9	3	2	54
Queimador	Q-713	Accelerar com o aquecimento e reação	Não manter chama excessiva	Queda de produção e qualidade do produto	Entrada de gás ou ar desajustado	Nenhum	6	1	6	48	Nenhuma			6	1	8	48
					Eletrodo desajustado	Nenhum	6	1	6	48	Nenhuma			6	1	8	48
					Izol cortado de cabos e conectores do painel	Nenhum	6	3	6	144	Inspeção anual conforme procedimento de manutenção MM-11	Manutenção Elétrica		6	3	3	72

