

CAROLINE SAYURI MIZUNO

APERFEIÇOAMENTO DE UM PRODUTO ATRAVÉS DO ESTUDO DE
SUA CONFIABILIDADE COMO UM FATOR DE VALOR

São Paulo
2010

Livros Grátis

<http://www.livrosgratis.com.br>

Milhares de livros grátis para download.

CAROLINE SAYURI MIZUNO

APERFEIÇOAMENTO DE UM PRODUTO ATRAVÉS DO ESTUDO DE
SUA CONFIABILIDADE COMO UM FATOR DE VALOR

Dissertação apresentada à Escola
Politécnica da Universidade de São
Paulo para obtenção de Título de
Mestre em Engenharia

Área de Concentração:
Engenharia Mecânica de Projetos e
Fabricação

Orientador: Professor Doutor Gilberto
Francisco Martha

São Paulo
2010

CAROLINE SAYURI MIZUNO

APERFEIÇOAMENTO DE UM PRODUTO ATRAVÉS DO ESTUDO DE
SUA CONFIABILIDADE COMO UM FATOR DE VALOR

Dissertação apresentada à Escola
Politécnica da Universidade de São
Paulo para obtenção de Título de
Mestre em Engenharia

São Paulo
2010

Este exemplar foi revisado e alterado em relação à versão original, sob responsabilidade única do autor e com a anuência de seu orientador.

São Paulo, de junho de 2010.

Assinatura do autor _____

Assinatura do orientador _____

FICHA CATALOGRÁFICA

Mizuno, Caroline Sayuri

Aperfeiçoamento de um produto através do estudo de sua confiabilidade como um fator de valor / C.S. Mizuno. -- ed.rev. -- São Paulo, 2010.

160 p.

Dissertação (Mestrado) - Escola Politécnica da Universidade de São Paulo. Departamento de Engenharia Mecatrônica e de Sistemas Mecânicos.

1.Produtos (Confiabilidade) 2.Ensaio acelerados 3.Engenharia de valor I.Universidade de São Paulo. Escola Politécnica. Departamento de Engenharia Mecatrônica e de Sistemas Mecânicos II.t.

AGRADECIMENTOS

Agradeço ao professor Gilberto Francisco Martha pela orientação e todo conhecimento e apoio transmitido durante a execução deste trabalho.

Aos meus pais, Eduardo Massao Mizuno e Fátima Deroldo Mizuno pelo constante estímulo, auxílio e paciência, aos quais faltam palavras para demonstrar minha gratidão e carinho.

À Deus por iluminar e guiar meu caminho.

Agradeço a todos que colaboraram direta ou indiretamente na execução deste trabalho.

RESUMO

A presente dissertação deseja mostrar a utilização do estudo de confiabilidade como uma ferramenta de melhoria de projeto de um produto. Para atingir o objetivo estudou-se a melhoria de um retentor automotivo através do estudo de sua confiabilidade e utilizando técnicas de engenharia do valor. Com esse estudo pretende-se mostrar a relação dos dados de campo e ensaios funcionais utilizados. Através da análise dos dados de campo, foi selecionada uma característica funcional a ser melhorada no produto. A técnica de engenharia do valor aplicada ao produto resultou na variável que deveria ser melhorada no produto, e a análise de confiabilidade antes e após a alteração no produto, juntamente com os ensaios funcionais acelerados mostram a eficácia da melhoria realizada no produto.

Palavras-chave: Confiabilidade. Dados de campo. Engenharia do valor. Ensaios funcionais acelerados. Retentor

ABSTRACT

This research aims to show a way to use the reliability study as a tool to guarantee the improvements in a product design. To reach the goal, a improvement in a oil seal was executed through the study of its reliability and using the value engineer technique. This study aims to show the relationship between the field information and functional tests. Through the analysis of field information, the functional characteristic that must be improved in the product was selected, and the value engineering technique application result in an element that must be improved in a product. The reliability study after and before the change in product, together with functional tests showed the efficiency of the change in the product aimingat improving its operational life.

Key-words: Reliability. Field information. Value engineer. Functional test. Oil Seal.

LISTA DE ILUSTRAÇÕES

Figura 1 - Função de Probabilidade Acumulada $F(t)$. (Leitch, 1995).....	24
Figura 2 - Função de Confiabilidade $R(t)$. (Leitch, 1995).....	25
Figura 3 - Representação da Curva da Banheira (Lafraia, 2001).....	26
Figura 4 - Procedimento de Análise do Ensaio de Vida Acelerado. (SOUZA, 2003).37	
Figura 5 – Fluxo a ser utilizado para a aplicação da metodologia da análise do valor (Csillag, 1991)	44
Figura 6 - Retentor dividido de acordo com suas partes e respectivos nomes [CBV VEDAÇÕES - Catálogo Técnico]	46
Figura 7 – Exemplos de construção externa para o retentor [DIN 3760].....	48
Figura 8 - Exemplos de construção dos retentores tipo normais [DIN 3760]	49
Figura 9 - Exemplos de construção dos retentores tipo especiais [DIN 3760] - Continua.....	51
Figura 9 - Exemplos de construção dos retentores tipo especiais [DIN 3760] (continuação).....	52
Figura 10 – Exemplificação da construção das estrias hidrodinâmicas [DIN 3760] ..	54
Figura 11 – Características básicas da mola [DIN 3760]	55
Figura 12 – Temperatura no ponto de vedação de um retentor na vedação de diferentes produtos.....	56
Figura 13 - Pressão permitida do produto a ser vedado para retentores [SABÓ - Catálogo Técnico]	57
Figura 14 – Informações de dimensões básicas [SABÓ - Catálogo Técnico]	59
Figura 15 – Informações de divergências permissíveis no alojamento [DIN 3760] ..	60
Figura 16 – Informações de divergências permissíveis na circularidade do eixo [DIN 3760]	60
Figura 17 – Informações das nomenclaturas utilizadas na Tabela 1 [CBV Vedações - Catálogo Técnico]	62
Figura 18 – Exemplificação da excentricidade estática que o retentor é submetido. [CBV Vedações - Catálogo Técnico]	64
Figura 19 – Limite do excentricidade estática suportada pelo retentor [SABÓ - Catálogo Técnico]	64
Figura 20 – Exemplificação da excentricidade dinâmica que o retentor é submetido. [CBV Vedações - Catálogo Técnico]	65
Figura 21 – Limite de excentricidade dinâmica suportada pelo retentor. [CBV Vedações - Catálogo Técnico]	66
Figura 22 – Exemplos de dispositivos para montar o retentor no alojamento. [CBV Vedações - Catálogo Técnico]	67
Figura 23 – Exemplos de proteção para vedação do retentor em relação ao eixo [CBV Vedações - Catálogo Técnico]	67
Figura 24 – Fluxograma representando o método proposto neste texto.	69
Figura 25 – Item X, retentor que estará sendo utilizado no estudo.	73
Figura 26 – Localização do retentor na aplicação	74
Figura 27 – Diagrama de “Pizza” com as informações da análise de retorno	76
Figura 28 – Foto representativa das peças que retornaram de campo com laudo de falha por desgaste acentuado	77
Figura 29 – Detalhe da alteração proposta	84
Figura 30 – Foto da máquina de teste utilizada.....	85

Figura 31 – Foto do dispositivo de simulação de contaminação externa	85
Figura 32 – Foto exemplificando condição de nível de centro do óleo.....	86
Figura 33 – Detalhe do comparativo em desgaste na região dos ribs na peça do teste # 1	88
Figura 34 – Detalhe do comparativo em desgaste na região dos ribs na peça do teste # 2	88
Figura 35 – Detalhe do comparativo em desgaste na região dos ribs na peça do teste # 3	89
Figura 36 – Detalhe do comparativo em desgaste na região dos ribs na peça do teste # 4	89
Figura 37 – Detalhe do comparativo em desgaste na região dos ribs na peça do teste # 5	90
Figura 38 – Detalhe do comparativo em desgaste na região dos ribs na peça do teste # 6	90
Figura 39 – Detalhe do comparativo em desgaste na região dos ribs na peça do teste # 7	92
Figura 40 – Detalhe do comparativo em desgaste na região dos ribs na peça do teste # 8	93
Figura 41 – Detalhe do comparativo em desgaste na região dos ribs na peça do teste # 9	93
Figura 42 – Detalhe do comparativo em desgaste na região dos ribs na peça do teste # 10.....	94
Figura 43 – Detalhe do comparativo em desgaste na região dos ribs na peça do teste # 11.....	94
Figura 44 – Detalhe do comparativo em desgaste na região dos ribs na peça do teste # 12.....	95
Figura 45 – Detalhe do comparativo em desgaste na região dos ribs na peça do teste # 13.....	97
Figura 46 – Detalhe do comparativo em desgaste na região dos ribs na peça do teste # 14.....	97
Figura 47 – Detalhe do comparativo em desgaste na região dos ribs na peça do teste # 15.....	98
Figura 48 – Detalhe do comparativo em desgaste na região dos ribs na peça do teste # 16.....	98
Figura 49 – Detalhe do comparativo em desgaste na região dos ribs na peça do teste # 17.....	99
Figura 50 – Detalhe do comparativo em desgaste na região dos ribs na peça do teste # 18.....	99
Figura 51 – Detalhe do comparativo em desgaste na região dos ribs na peça do teste # 19.....	101
Figura 52 – Detalhe do comparativo em desgaste na região dos ribs na peça do teste # 20.....	101
Figura 53 – Detalhe do comparativo em desgaste na região dos ribs na peça do teste # 21.....	102
Figura 54 – Detalhe do comparativo em desgaste na região dos ribs na peça do teste # 22.....	102
Figura 55 – Detalhe do comparativo em desgaste na região dos ribs na peça do teste # 23.....	103
Figura 56 – Detalhe do comparativo em desgaste na região dos ribs na peça do teste # 24.....	103

Figura 57 – Tabela de inserção de valores no software.....	105
Figura 58 – Seleção de parâmetros para calculo de confiabilidade.....	106
Figura 59 – Organização das curvas do resultado do teste de aderência para as curvas no calculo de confiabilidade.....	106
Figura 60 – Parâmetros do resultado do teste de aderência para as distribuições.....	107
Figura 61 – Resultados ordenados para o teste de aderência para as distribuições.....	108
Figura 62 – Pesos utilizados nas ponderações de acordo com simulações de Monte Carlo.....	109
Figura 63 – Valores para as variáveis da curva de Weibull para os dados de garantia.....	110
Figura 64 – Curva de probabilidade para os dados de garantia.....	111
Figura 65 – Gráfico de confiabilidade para os dados de garantia.....	111
Figura 66 – Gráfico de probabilidade de falha para os dados de garantia.....	112
Figura 67 – Gráfico da função densidade de probabilidade para os dados de garantia.....	112
Figura 68 – Gráfico da taxa de falha para os dados de garantia.....	113
Figura 69 – Tabela onde os resultados dos ensaios com a peça atual são inseridos.....	114
Figura 70 – Ordenação resultante do teste de aderência para os dados de ensaio com a peça atual.....	114
Figura 71 - Resultado do teste de aderência para os dados de ensaio com a peça atual.....	115
Figura 72 – Valores para as variáveis da curva de Weibull que representa os resultados de ensaios com a peça atual.....	115
Figura 73 – Curva de probabilidade para a peça atual.....	116
Figura 74 – Curva de confiabilidade para a peça atual.....	117
Figura 75 – Curva de probabilidade para a peça atual.....	118
Figura 76 – Curva da função densidade de probabilidade para a peça atual.....	119
Figura 77 – Taxa de falha para a peça atual.....	120
Figura 78 – Fator de aceleração.....	121
Figura 79 – Tabela onde são inseridos os resultados dos testes com a peça modificada.....	122
Figura 80 – Ordenação do resultado do testes de aderência.....	123
Figura 81 – Resultado do teste de aderência.....	123
Figura 82 - Valores para as variáveis da curva de Weibull que representa os resultados de ensaios com a peça modificada.....	124
Figura 83 – Curva de probabilidade para a peça modificada.....	125
Figura 84 – Curva de confiabilidade para a peça modificada.....	126
Figura 85 – Curva de probabilidade para a peça modificada.....	127
Figura 86 – Curva de função densidade de probabilidade para a peça modificada.....	128
Figura 87 – Taxa de falha da peça modificada.....	129
Figura 88 – Fator de aceleração gerado pelo teste.....	131
Figura 89 – Gráfico comparativo com curvas de confiabilidade para dados de garantia, dados de ensaios em peça atual e ensaios em peça modificada.....	134
Figura 90 – Comparativo dos cálculos de tempo médio até a falha para os dados de garantia, dados de ensaios em peça atual e ensaios em peça modificada.....	135

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 – Tolerâncias para os diâmetros de eixo, alojamento, externo da peça [CBV Vedações - Catálogo Técnico]	61
Tabela 2 - Identificação de rastreabilidade gravada na peça	75
Tabela 3 - Informações da análise de retorno	75
Tabela 4: Modos de falha dos dados de retorno	76
Tabela 5: Divisão de intervalos para os dados de retorno	77
Tabela 6 : Tabela de vida para o retentor corrente	78
Tabela 7 : Tabela para cálculo do estimador de Kaplan-Meier	78
Tabela 8: Tabela com relação de componentes do retentor e suas funções	81
Tabela 9 : Funções dos componentes	82
Tabela 10 : Tabela com classificação das funções	83
Tabela 11: Ciclo de solicitação utilizada no teste	87
Tabela 12: Tabela com resultados obtidos em teste de lama da peça corrente	87
Tabela 13: Tabela com ciclagem utilizada nos testes de durabilidade acelerada	91
Tabela 14: Tabela com resultados da peça corrente em teste de durabilidade acelerada.....	92
Tabela 15: tabela com resultados obtidos em teste de lama da peça alterada.....	96
Tabela 16: Tabela com resultados da peça alterada em teste de durabilidade acelerada.....	100
Tabela 17: Tabela com ciclagem utilizada nos testes de durabilidade acelerada ...	130
Tabela 18: Tabela com ciclagem utilizada nos testes de durabilidade acelerada ...	132
Tabela 19: Tabela comparativa com os resultados de confiabilidade para dados de testes com peça atual e modificada.	133

LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

<i>APQP</i>	Advance Product Quality Planning
<i>FMEA</i>	Failure Mode and Effect Analysis
<i>EV</i>	Engenharia do Valor
<i>IQA</i>	Instituto da Qualidade Automotiva
<i>VDA</i>	Verband der Automobilindustrie

LISTA DE SIMBOLOS

$f(t)$	Função densidade de probabilidade
$F(t)$	Função de probabilidade acumulada
K	Número de falhas observadas no ensaio
x_m	Estimativa do tempo médio entre falhas
$MTTF$	Tempo médio até a falha
$MTTF_{CONDIÇÃO DE USO}$	Tempo médio até a falha na condição de uso
$MTTF_{CONDIÇÃO ACELERADA}$	Tempo médio até a falha na condição acelerada
q	Probabilidade de um item falhar no intervalo
$^q (\%)$	Probabilidade percentual de um item falhar no intervalo
$R(t)$	Função de confiabilidade
t	Tempo para ocorrência da falha
t_i	Tempo de ocorrência da i-ésima falha
t_f	Tempo até a falha
t_{teste}	Tempo até a falha nas condições de teste
t_{uso}	Tempo até a falha nas condições de uso
T_a	Tempo total operacional das unidades ao longo do ensaio
λ	Taxa de falha
λ_b	Taxa de falha básica relacionada com componente
$\lambda(t)$	Taxa de falha
m_x	Valor médio associado à uma função densidade de probabilidade

SUMÁRIO

1 INTRODUÇÃO	16
1.1 CONSIDERAÇÕES INICIAIS	16
1.2. OBJETIVO.....	17
1.3. METODOLOGIA.....	18
1.4. CONTEÚDO DO TRABALHO	19
2 REVISÃO DE LITERATURA	21
2.1. CONFIABILIDADE	21
2.1.1 Definição e tratamento matemático da confiabilidade	24
2.1.2 Análise de Tempo de Falha.....	28
2.2. ENSAIO ACELERADO DE VIDA	30
2.2.1 Métodos de Aceleração.....	33
2.2.2 Análise de Resultados de um Ensaio Acelerado de Vida.....	35
2.2.3 Procedimento de Análise.....	36
2.3. DADOS DE GARANTIA	37
2.4. ANÁLISE DO VALOR.....	39
3 CONCEITOS DO RETENTOR.....	45
3.1 – EXTERNO CILÍNDRICO DE ELASTÔMERO OU DE METAL	46
3.2 – CONSTRUÇÕES GERAIS	48
3.3 – LÁBIO DE VEDAÇÃO PRINCIPAL COM CARGA DE MOLA	53
3.4 – MOLA	54
3.5 – SELEÇÃO DO ELASTÔMERO	55
3.6 – RECOMENDAÇÕES QUANTO A APLICAÇÃO DO RETENTOR	58
3.7 – TIPOS DE FALHAS.....	68
4 MÉTODO DE TRABALHO	69
5 CASO EXEMPLO: METODOLOGIA PROPOSTA APLICADA A UM RETENTOR.....	72
5.1. ESTUDO DETALHADO SOBRE O ITEM X, DE SUA FUNÇÃO NO CONJUNTO, E DE SEUS COMPONENTES.....	73
5.2. ANÁLISE DOS DADOS DE GARANTIA E CÁLCULO DA CONFIABILIDADE DO ITEM X.	73
5.3. APLICAÇÃO DA METODOLOGIA DE ENGENHARIA DO VALOR PARA O ITEM X.....	79
5.4. SELEÇÃO E ESTUDO DOS ITENS / COMPONENTES A SEREM MELHORADOS NO ITEM X.....	83
5.5. EXECUÇÃO DE ENSAIOS DE VIDA ACELERADO NO PRODUTO ATUAL. .	84
5.5.1. Condições de teste para ensaio de contaminação externa na peça corrente .	86
5.5.2. Resultados no teste de lama com a peça corrente	87
5.5.3. Análise das peças corrente testadas em lama	88
5.5.4. Execução de ensaios de vida acelerado na peça corrente - Teste de durabilidade acelerado	91
5.5.5. Condições de teste para ensaio de durabilidade acelerado para peça corrente	91
5.5.6. Resultados no teste de durabilidade acelerado com a peça corrente	92
5.5.7. Análise das peças corrente testadas em durabilidade acelerada.....	92
5.6. EXECUÇÃO DE ENSAIOS DE VIDA ACELERADO NO PRODUTO MELHORADO.	95
5.6.1. Condições de teste para ensaio de contaminação externa no produto alterado	95

5.6.2. Resultados no teste de lama com a peça alterada.....	95
5.6.3. Análise das peças alteradas testadas em lama	96
5.6.4. Execução de ensaios de vida acelerado no produto alterado - Teste de durabilidade acelerado	100
5.6.5. Condições de teste para ensaio de durabilidade acelerado no produto alterado	100
5.6.6. Resultados no teste de durabilidade acelerado com a peça alterada	100
5.6.7. Análise das peças alteradas testadas em durabilidade acelerada	100
5.7. ESTUDO DE CONFIABILIDADE.....	103
5.7.1 Estudo de confiabilidade da peça atual através dos dados de garantia.....	104
5.7.2 Estudo de confiabilidade da peça atual submetida à ensaio de vida acelerado	113
5.7.3 Estudo de confiabilidade da peça modificada submetida à ensaio de vida acelerado.....	121
5.7.4 Comparativo entre dados de garantia e dados do ensaio de vida acelerado por lama	129
6 CONCLUSÃO.....	137
REFERENCIAS.....	139

1 INTRODUÇÃO

1.1 CONSIDERAÇÕES INICIAIS

Devido às crescentes demandas de consumidores cada vez mais exigentes, a indústria observa um aumento na necessidade de desenvolver produtos em menor tempo, com maior qualidade e custo competitivo. Considerando a necessidade de se incrementar o valor agregado nos produtos, pode-se observar que os novos modelos usualmente se apresentam cada vez mais complexos se comparados aos seus antecessores. Em conjunto à esses fatos, observa-se também uma alteração temporal no ciclo de vida dos produtos, onde se pode constatar que apesar dos mesmos terem uma durabilidade maior devido à exigência de seus consumidores, o tempo de venda das gerações de produtos novos no mercado está se reduzindo. Um exemplo disso é a quantidade de gerações para um mesmo modelo de veículo, processo chamado também de “facelift”, onde são realizadas alterações estéticas que geram uma nova geração para um mesmo modelo. Pode-se notar casos em que do lançamento de uma geração nova até sua paralisação de fabricação, tem-se em média três anos, e não pode-se deixar de salientar que para a elaboração de cada geração nova tem-se uma grande quantidade de peças, ferramentais e equipamentos de fabricação novos.

Observa-se também uma mudança de paradigmas na produção e desenvolvimento de novos produtos. Nesse contexto, a capacidade de rapidamente desenvolver, introduzir, difundir e manter inovações tanto no produto como no processo de fabricação passou a exercer papel fundamental para as empresas, auxiliando no deslocamento dos concorrentes de posições aparentemente intocáveis. Essas modificações se mostram ainda mais agressivas na indústria automobilística e de autopeças.

Nesse cenário, pode-se observar um aumento expressivo na utilização de ferramentas que possam auxiliar na resolução desses desafios. Dentre as ferramentas utilizadas na indústria de autopeças podem-se citar o FMEA e as demais presentes em manuais como o APQP e o VDA. As metodologias utilizadas

para o planejamento e garantia da qualidade devem ser utilizadas já na fase de concepção do projeto do produto, pois é nessa fase que nasce em grande parte a qualidade e confiabilidade do produto.

Durante o desenvolvimento deste trabalho, procurou-se contextualizar os aspectos da confiabilidade do produto como parte integrante das ações de seu desenvolvimento e planejamento da qualidade, buscou-se também sua relação com a melhoria do produto considerando-a como um fator de valor.

1.2. OBJETIVO

O objetivo deste trabalho é exemplificar o processo de melhoria de um produto através da utilização dos estudos de confiabilidade somados à análise de valor como métodos para auxiliar a planejar e garantir que os requisitos dos clientes sejam atendidos na concepção do novo produto.

Pretende-se atingir esse objetivo através da análise de dados de projeto e confiabilidade do item, esta última obtida através de dados de garantia de campo, assim como aplicação da análise de valor para selecionar o item a ser melhorado no produto.

O produto escolhido para a análise mencionada é um vedador automotivo, também conhecido como retentor.

Foi escolhido um vedador devido à facilidade de acesso às informações necessárias para a elaboração do trabalho, assim como pelo fato desse produto possuir uma função importante nos sistemas, onde um exemplo de sua complexidade e importância pode ser observada no acidente do veículo espacial Challenger ocorrido em 28 de janeiro de 1986, sendo divulgado oficialmente que a causa da explosão foi determinada pela falha do retentor de vedação do tanque de combustível devido à variação abrupta de temperatura [Lynn Heimerl,2004]

Foi selecionado um retentor automotivo devido ao fato de que considerando o grau de desenvolvimento encontrado nesse tipo de indústria, pode-se observar que grande parte de seus produtos são a evolução de um produto existente e não um desenvolvimento de uma idéia totalmente nova. Portanto se observa uma possibilidade considerável para a atualização de um item existente.

Outro fator que auxiliou na seleção de um produto automotivo se deve ao fato de sua importância no custo final de um automóvel, que pode ser comprovada pelo estudo de Ferraz et al. (1997), afirmando que a fabricação das autopeças corresponde de 60 a 80% do custo do veículo montado, sendo esta relação diretamente afetada pelas mudanças no padrão de concorrência das montadoras. Estas por sua vez, estão repassando cada vez mais responsabilidades e custos de projetos, como entregas no sistema “just in time” (JIT) com qualidade total, rapidez nas mudanças, fornecimento de componentes e subconjuntos já montados e testados, produtos mais leves, duráveis e menos poluidores, com o emprego da eletrônica, materiais plásticos, materiais compostos e alumínio, assim sendo, exigindo preços reduzidos, tecnologia de produtos, entrega e prazo, fatores extremamente importantes nas decisões de compra.

Para Silva (1999), os 20 a 40% do custo do veículo que sobram à montadora para administrar é uma parcela muito pequena para se buscar reduções de custos e buscar a competitividade da empresa, se forem seguidas apenas as metodologias tradicionais de custos que operam sob o perímetro da empresa.

1.3. METODOLOGIA

Como método proposto, é primeiramente realizado um estudo detalhado sobre o produto retentor para que se possa ter uma base sólida de sua função no conjunto, assim como entendimento de seus componentes.

Em seguida, realiza-se um levantamento e análise dos dados de garantia dos itens candidatos ao estudo para que se possa selecionar o item que mais se adeque ao estudo proposto. Nessa análise são verificadas características como: quantidade de peças que falharam, volume de peças produzidas, período de operação até a falha, rastreabilidade e veracidade das informações coletadas, entre outros. Com os dados de garantia calcula-se a confiabilidade do retentor na versão de produção atual, e verifica-se qual o maior motivo de retorno de garantia.

Na seqüência realiza-se a análise de valor do retentor, a fim de se determinar quais as funções que estão relacionadas ao maior motivo de retorno de garantia, oferecendo, portanto, potencial para otimização.

Após a execução das etapas anteriormente citadas, realizam-se ensaios no produto atual e no melhorado. Com resultados dos mesmos realiza-se uma análise de confiabilidade e regressão dos resultados obtidos, para determinação da confiabilidade do produto melhorado em relação ao modelo de produção.

Com o exposto acima, pretende-se criar uma metodologia para desenvolvimento de produtos otimizados sob o ponto de vista da confiabilidade.

Pode-se observar que durante a execução desse trabalho estamos:

- Estudando o produto retentor;
- Analisando dados de garantia através de estudos de confiabilidade
- Aplicação da técnica de análise do valor para o retentor, a fim de se obter a(s) característica(s) no produto a serem melhoradas;
- Seleção de uma característica de desempenho do retentor a ser melhorada;
- Realização de testes funcionais a fim de se obter o mesmo modo de falha observado nas peças devolvidas durante o período de garantia para a característica de desempenho a ser melhorada;
- Realização da(s) melhoria(s) identificada(s) e realização de testes funcionais para a verificação de eficácia das mesmas;
- Análise dos resultados comparativos dos testes funcionais realizados antes e após a(s) melhoria(s), assim como execução da estimulação da nova confiabilidade do produto.

1.4. CONTEÚDO DO TRABALHO

O trabalho é dividido em 6 capítulos conforme a seguinte divisão:

No capítulo 1 > introdução e motivação do trabalho, onde são apresentados os motivos da realização deste, os objetivos pretendidos e o conteúdo do mesmo.

No capítulo 2 > revisão bibliográfica, onde será apresentado um histórico dos principais autores que trataram dos assuntos envolvidos neste trabalho e suas

contribuições. Os assuntos selecionados são: confiabilidade, análise dos dados de garantia, engenharia do valor e testes acelerados.

No capítulo 3 > são apresentados conceitos do retentor, e sua aplicação (retirados de normas, manuais e catálogos)

No capítulo 4 > propor um método de trabalho a ser aplicado a um retentor, o qual é composto por 6 passos, os quais são:

1 – estudo detalhado sobre o produto, de sua função no conjunto, assim como de seus componentes.

2 – análise dos dados de garantia para caracterizar a confiabilidade do mesmo

3 – aplicar a metodologia de engenharia do valor para o produto

4 – selecionar e estudar itens / componentes a serem melhorados no produto

5 – execuções de ensaios de vida acelerado no produto atual

6 – execuções de ensaios de vida acelerado no produto melhorado

7 – estudo de confiabilidade com os dados do estudo de vida para estimar a nova confiabilidade do produto

No capítulo 5 > aplicação do método de trabalho e apresentação dos resultados para cada passo através do emprego de tabelas e gráficos juntamente com a análise dos resultados obtidos para a melhoria da confiabilidade do produto.

No capítulo 6 > conclusão do trabalho, avaliando-se as vantagens e desvantagens do método proposto e os resultados obtidos.

2 REVISÃO DE LITERATURA

2.1. CONFIABILIDADE

Pode-se observar a existência de diversas definições de confiabilidade de acordo com autores e órgãos reguladores diferentes.

Segundo a *European Organization for Quality Control* (1965) apud Leitch (1995) confiabilidade é “A medida da capacidade de um produto operar com sucesso, quando solicitado, por um período de tempo pré-determinado, sob condições ambientais específicas. É medida como uma probabilidade”.

Segundo a norma NBR-5462 ABNT (1994), confiabilidade pode ser definida como “A capacidade de um item desempenhar uma função requerida sob condições especificadas, durante um dado intervalo de tempo”.

Já para Freitas e Colosimo (1997, p.5) “Confiabilidade é a probabilidade de um item desempenhar satisfatoriamente a função requerida, sob condições de operação estabelecidas, por um período de tempo pré-determinado”.

De acordo com US Military Handbook (1970) apud Leitch (1995) confiabilidade pode ser definida como “A probabilidade de um item executar a sua função sob condições predefinidas de uso e manutenção por um período de tempo específico”.

Outra definição é a do *BS Institution* (1970) apud Leich (1995) e *UK Army* (1976) apud Leitch (1995) onde confiabilidade é definida como “A possibilidade de um item executar a sua função sob determinadas condições específicas, por um período pré-determinado”.

Já segundo Borges et. al. (1996, p.2) “Confiabilidade de um produto é a probabilidade de bom funcionamento do mesmo durante período de tempo e condições de uso especificado.”

Dentre as definições mostradas, pode-se destacar os seguintes pontos em comum:

- possibilidade de falha como uma grandeza estatística
- desempenho especificado do equipamento
- condição de uso pré-definida
- período de utilização pré-definido

E três aspectos devem ser salientados devido a sua importância:

- A definição de desempenho do produto deve ser especificada.
- As condições de uso e do meio devem ser especificadas.
- O período de tempo de utilização deve ser especificado.

Devido a esses pontos, a confiabilidade é fator-chave em muitas decisões de compra, e vários dos requisitos para obtenção da qualidade do produto ou serviço são também aplicáveis à confiabilidade, segundo Oakland (1994, p.16).

O período de utilização não precisa ser necessariamente ser medido como uma grandeza temporal, mas também pode ser medido como uma distância percorrida ou através de ciclos de operação, Souza (2003)

Segundo Ramakumar (1993), após a 1ª Guerra Mundial, com a expansão da indústria aeronáutica na década de 1930, foram utilizados pela primeira vez os conceitos de confiabilidade, pois até então, tudo era qualitativo. Lentamente foram quantificados, através de taxa média de falha e do número médio de falhas em aeroplanos e dirigíveis, uma avaliação inicial de sua confiabilidade. Outro fato histórico foi a baixa de confiabilidade de equipamentos eletrônicos durante a guerra da Coreia, o que levou os Estados Unidos a ter maior interesse no assunto, de tal modo que contratos militares começavam com cláusulas envolvendo multas e penalidades associadas ao grau de confiabilidade verificado durante a série de testes em relação ao exigido pelo projeto.

Nos dias atuais, a confiabilidade tem se tornado o centro das atenções de muitas corporações. Na indústria automotiva, pode-se observar que as montadoras desejam aumentar o período de garantia dos veículos, para ofertar essa característica como diferencial à seus consumidores. Isso faz com que haja um aumento na exigência de confiabilidade dos componentes utilizados. Assim as montadoras passam essa exigência para seus fornecedores e sub-fornecedores.

Portanto, é de suma importância criar mecanismos de prevenção capazes de reproduzir e quantificar com precisão falhas indesejáveis ao produto final, pois quando se fala em melhoria de produtos, se refere a conceber projetos que reduzam cada vez mais custos de fabricação, porém sem comprometimento do desempenho esperado pelo cliente quanto à funcionalidade e durabilidade do produto.

Para análise de Engenharia define-se a confiabilidade como uma probabilidade. Assim, estar-se-á utilizando o conceito de confiabilidade como sendo a probabilidade de um produto, sistema, máquina ou equipamento operar sem falhas, dentro das

especificações para as quais foi projetado e construído, por um período de tempo determinado.

Para analisar a confiabilidade de um processo ou produto é de fundamental importância saber a clara definição das falhas e dos mecanismos que levam a elas.

A definição de um critério de falha é de fundamental importância, pois o mesmo possibilita determinar a partir de que momento o produto ou equipamento sob análise é considerado com o desempenho abaixo daquele considerado aceitável. Como exemplos de critérios de falha, pode-se citar o vazamento de óleo do motor pelo retentor, quebra de eixo de uma máquina e uma lâmpada queimada.

Segundo Lafraia (2001), falha funcional é a incapacidade de qualquer item atingir o padrão de desempenho esperado.

O modo de falha pode ser definido como o mecanismo pelo qual o item falha e normalmente tem-se mais de um modo de falha para os produtos. O modo de falha dos componentes é função das solicitações a que o mesmo será submetido durante sua operação. Entretanto, é possível que haja alterações neste modo de falha se as solicitações limites previstas no projeto forem ultrapassadas.

Adicionalmente, o ambiente de operação deve ser bem caracterizado, sendo um aspecto complexo, pois não só inclui o meio físico, mas as ações de manutenção e operação. Finalmente, deve-se especificar o tempo de utilização, o qual pode expressar a severidade de uso imposta ao produto.

A confiabilidade é uma grandeza mensurável a partir da análise estatística da ocorrência do evento falha. Sua observação e tratamento estatístico são relevantes, pois a partir desta análise pode-se obter a probabilidade citada na definição de confiabilidade.

Segundo Ebel (1998), na década de 60 houve um grande crescimento da chamada Confiabilidade Física que visa analisar o processo de falha através de estudo do mecanismo físico ou químico desencadeador da falha. Esta tendência nasceu na RADC (*Rome Air Development Center*) em Nova York nos Estados Unidos. Em 1961 a RADC iniciou um programa denominado Física da Falha (*Physics of Failure*). Atualmente importantes pesquisas são desenvolvidas em Física da Falha, principalmente em institutos como o CALCE (*Center for Advanced Life Cycle Engineering*) da Universidade de Maryland, Estados Unidos.

A partir do final de década de 70, a confiabilidade passou a ser empregada no projeto de sistemas complexos, cuja falha normalmente causa prejuízos elevados,

quer sejam de natureza ambiental, financeira ou econômica, além de poder levar a perda de vidas humanas.

2.1.1 Definição e tratamento matemático da confiabilidade

Para a conceituação matemática utiliza-se a seguinte definição de confiabilidade: “a probabilidade de que um sistema ou equipamento sobreviva por um período de tempo específico”.

Expressando esta probabilidade 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:

$$f(t) \Delta t = P \{ t < t < t + \Delta t \} \quad (1)$$

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

$$F(t) = P \{ t < t \} \quad (2)$$

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

E por conceito lógico, esta função $F(t)$ é crescente com o tempo, atingindo um valor unitário quando t tende a ∞ , tal como indicado na Figura 1.

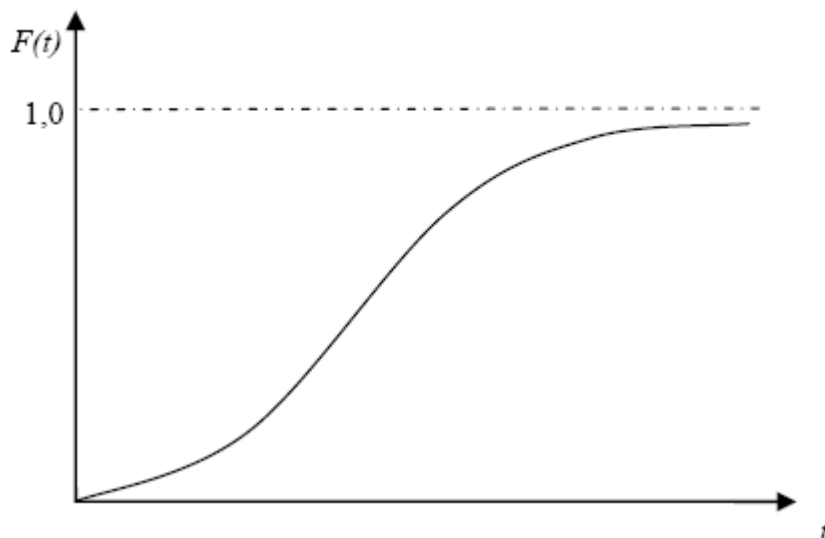


Figura 1 - Função de Probabilidade Acumulada $F(t)$. (Leitch,1995).

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, $R(t)$, pode ser expressa pela relação:

$$R(t) = P \{t > t\} \quad (3)$$

ou seja,

$$R(t) = 1 - F(t) \quad (4)$$

A Função de Confiabilidade está mostrada na Figura 2.

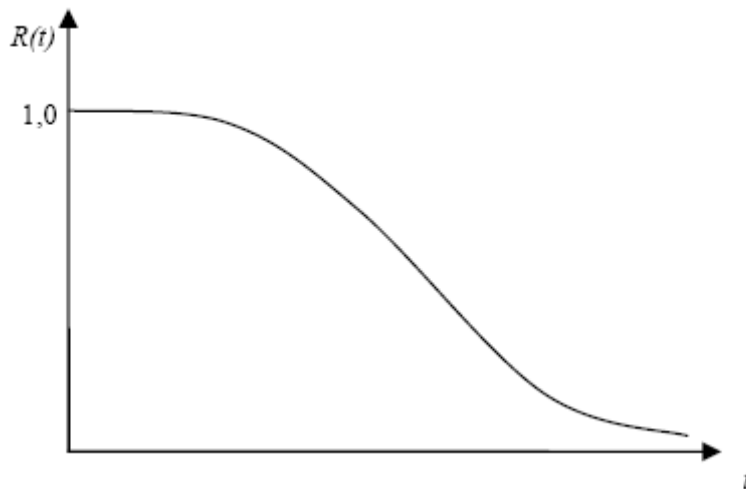


Figura 2 - Função de Confiabilidade $R(t)$. (Leitch, 1995).

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

$$R(t = 0) = 1 \quad (5)$$

$$R(t = \infty) = 0 \quad (6)$$

A partir do gráfico apresentado na Figura 2 verifica-se, portanto, 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 deste 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 aumenta ao longo da vida operacional.

Segundo Souza (2003) a taxa de falha $\lambda(t)$ pode ser definida em termos da própria confiabilidade, como segue: “ $\lambda(t) \Delta t$ é a probabilidade de que o sistema falhará em um tempo de apreciação $t < t + \Delta t$, dado que ainda não falhou até o tempo em $t = t$ ”.

Tem-se que $\lambda(t) \Delta t$ é a probabilidade condicional indicada na equação (2.7):

$$\lambda(t) \Delta t = P(t < t + \Delta t \mid t > t) \quad (7)$$

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

$$P(t < t + \Delta t \mid t > t) = P\{(t > t) \cap (t < t + \Delta t)\} / P(t > t) \quad (8)$$

Como o numerador da Equação (2.8) é a própria $f(t) \Delta t$ e o denominador é $R(t)$, a taxa de falhas instantânea é expressa pela relação:

$$\lambda(t) = f(t) / R(t) \quad (9)$$

O comportamento da taxa de falha, $\lambda(t)$, em relação ao tempo t é um indicador das causas de falha. A curva da banheira (“bathtub curve”), mostrada na Figura 3, representa graficamente esta relação para sistemas ou componentes sem redundância.

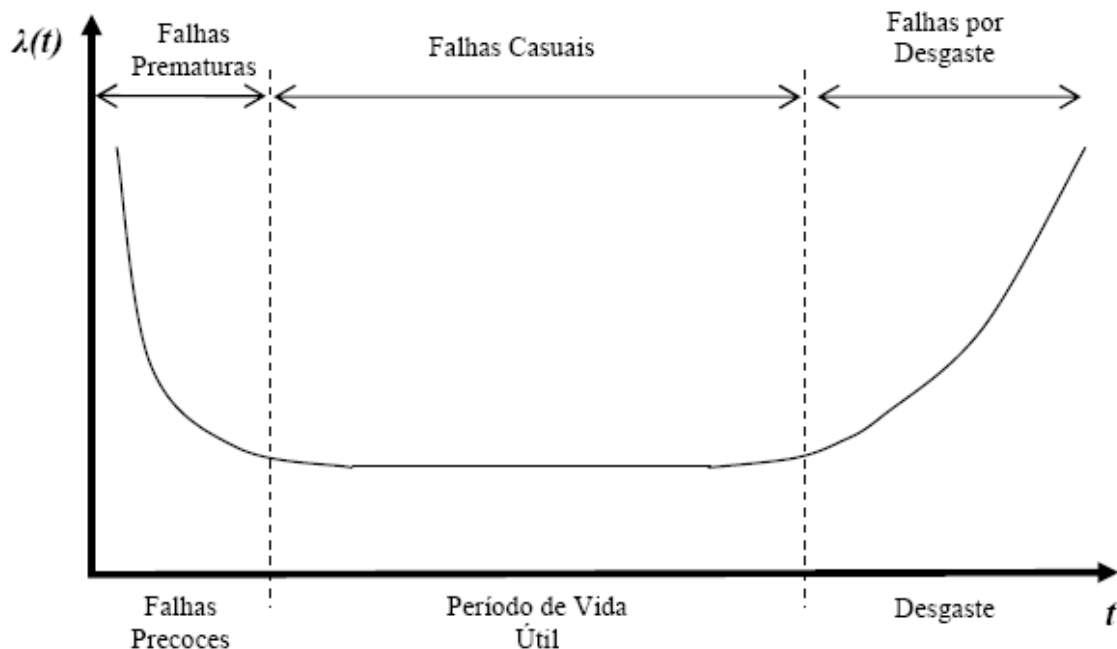


Figura 3 - Representação da Curva da Banheira (Lafraia, 2001).

O curto intervalo de tempo indicado na primeira região do gráfico indica taxas de falha que decrescem a partir de $t = 0$.

Esta região denomina-se de falhas precoces (“early failures”). As falhas, neste período, são causadas por problemas associados aos processos de fabricação e montagem ou mesmo com o material empregado na fabricação do componente. Estes problemas são não usuais, ou seja, ocorrem esporadicamente, pois sua ocorrência deve ser controlada por ações de Engenharia da Qualidade. No caso de montagem, é bastante comum a falha estar relacionada a algum erro humano do operador, por exemplo, no caso da montagem de um retentor na aplicação final de uma caixa de transmissão, podem ocorrer problemas de montagem como o desalinhamento do selo em relação ao alojamento ou do selo em relação ao eixo de aplicação. Muitas vezes o problema da falha precoce é contornado através da especificação de um período de tempo durante o qual o equipamento realiza um pré-teste. Durante este tempo o carregamento e utilização do produto são controlados de tal maneira que problemas são detectados e componentes são reparados antes da entrega do produto ao cliente final.

A região intermediária da curva da banheira contém as aproximadamente constantes e menores taxas de falha, sendo preferencialmente o período de operação do produto. As falhas que ocorrem durante esta fase são denominadas falhas aleatórias e normalmente originam-se de carregamentos inevitáveis e inesperados e menos comumente devido a defeitos inerentes ao produto em si. Podem-se citar como exemplos de causas de falha na região intermediária da curva da banheira: terremotos, surtos de energia, vibrações excessivas, impactos mecânicos, flutuações de temperatura e de umidade inesperados.

Na última região, mais à direita da curva da banheira, observa-se que a taxa de falha é crescente, em função do próprio desgaste do produto, na fase final de sua vida útil. Nesta fase, as falhas tendem a estar relacionadas com fenômenos físicos de natureza cumulativa tais como corrosão, trincas de fadiga, desgaste por atrito, dentre outros. O aumento muito rápido da taxa de falha normalmente fundamenta o critério de quando peças devem ser substituídas e também determina a vida útil do produto ou sistema.

A curva da banheira representada na Figura 3 pode ser considerada genérica, uma vez que cada categoria de produto apresenta uma curva característica.

Quando são medidos os tempos até a falha de componentes ou sistemas e são calculados as funções $f(t)$ ou $F(t)$, está se trabalhando com distribuições estatísticas de tempo de vida.

Um parâmetro importante de qualquer distribuição estatística é o seu valor médio. O valor médio associado a uma função densidade de probabilidade $f(t)$ é calculado como indicado na equação 2.10

$$m_T = \int_0^{\infty} t \cdot f(t) dt \quad (10)$$

O valor médio é chamado de Tempo Médio até a Falha, ou MTTF, do inglês “Mean Time to Failure”.

2.1.2 Análise de Tempo de Falha

Análise de Tempo de Falha, conforme Freitas e Colosimo (1997, p.65), é a análise de dados de durabilidade provenientes tanto de campo quanto de testes de vida acelerados para se obter parâmetros de interesse, como o tempo médio até a falha (MTTF), a fração esperada de falhas no período de garantia, entre outros.

Segundo Fiedler e Knoblauch (2003), os parâmetros mais utilizados são nesse tipo de análise:

- Função confiabilidade $R(t)$: fração esperada de unidades em operação após um tempo t .
- Função de Distribuição Acumulada $F(t)$: fração de unidades que falharam após um tempo t .
- Função de Densidade de Probabilidade (fdp) $f(t)$: fração da população original que falha entre um tempo t e $t + dt$.
- Taxa de Falha $\lambda(t)$: fração da população restante em um tempo t que falha entre t e $t + dt$.

Das definições observadas no tópico acima, pode-se considerar como dados:

$$R(t) = 1 \rightarrow 0, t = 0 \rightarrow \infty$$

$$f(t) = dF(t) / dt$$

$$F(t) = 1 - R(t)$$

$$F(t) = 0 \rightarrow 1, t = 0 \rightarrow \infty$$

$$\lambda(t) = f(t) / R(t)$$

Segundo Billinton e Allan (1987), e conforme observado acima, estes parâmetros são descritos por distribuições de probabilidades. Todos os componentes falharão em diferentes tempos no futuro, pois esses tempos de falha obedecem a

distribuições de probabilidade que podem ou não ser conhecidas, e que descrevem a probabilidade de um item falhar ou a sobrevivência do mesmo num determinado intervalo de tempo. Se um processo de manufatura sofre alterações, conseqüentemente a distribuição que descreve os tempos de falha do componente também pode se alterar, resultando em outros valores de probabilidade de falha dentro de um período de tempo.

Tais distribuições não podem ser determinadas a partir do conhecimento do material e geometria do componente ou processo de fabricação do mesmo e sim através de ensaios com amostras ou informações de dados de tempo até a falha de componentes em operação.

As distribuições de probabilidade ou modelos probabilísticos mais empregados são Exponencial, Weibull, Gauss ou Normal e Log-normal, e só após a seleção de uma destas distribuições, que melhor descreva o comportamento da distribuição do tempo de falha do produto sob teste, é possível estimar os parâmetros de interesse, como a confiabilidade, taxa de falhas, porcentagens de falhas até um tempo de operação específico.

Segundo Freitas e Colosimo (1997), os modelos probabilísticos são caracterizados por valores, chamados de parâmetros, tais como de forma, escala e posicionamento no caso da distribuição de Weibull, e que conferem a identidade do comportamento da distribuição dos dados em análise, sendo então possível responder às perguntas de interesse. Os modelos Normal e Lognormal são caracterizados por dois parâmetros, o exponencial por apenas um, e o modelo de Weibull por 2 ou 3 parâmetros. Para estimação destes parâmetros utilizam-se os métodos como o dos mínimos quadrados e o da máxima verossimilhança.

Como apresentado, falhas são caracterizadas como eventos indesejáveis no produto, sendo então necessário, em um estudo de confiabilidade, a correta definição do que vem a ser falha em um componente e uma unidade de medida, como por exemplo, horas, ciclos, quilômetros, para caracterizar o tempo de uso do componente no instante da falha.

As falhas podem vir de dados completos onde se conhece o valor exato do tempo da falha ou dados agrupados onde se conhece o intervalo limitado em que se encontra o valor do tempo da falha.

2.2. ENSAIO ACELERADO DE VIDA

A maioria dos produtos, senão sua totalidade, é projetada para operar por longos períodos de tempo sem falhar. Assim, não é novidade que poucas unidades falhem em um ensaio realizado nas condições normais de uso, logo, é particularmente difícil estimar a distribuição dos tempos até a falha ou o desempenho ao longo do tempo de componentes de produtos de alta confiabilidade a partir da execução de ensaios de confiabilidade com solicitações correspondentes às condições normais de uso, quer seja pela necessidade de longa duração do ensaio ou pela observação de um reduzido número de falhas, fato que aumenta a incerteza na estimativa da confiabilidade.

Em um ensaio acelerado de vida, busca-se reduzir o tempo de ocorrência de falhas do equipamento ou produto, sem se alterar os modos de falha. A partir dos resultados destes ensaios, e empregando-se técnicas de extrapolação de resultados, baseadas não só em modelos matemáticos, mas também nos fenômenos físicos associados aos modos de falha, pode-se definir a confiabilidade do equipamento na sua condição normal de uso.

Os ensaios acelerados de vida são largamente utilizados para produtos onde o tempo disponível para realização de ensaios é muito curto em relação ao tempo de vida útil para que este produto foi projetado. Estes ensaios são particularmente utilizados para se obter informações da confiabilidade de componentes, proporcionando a possibilidade de uma identificação e remoção antecipada dos modos de falha, melhorando assim a confiabilidade ainda na fase de desenvolvimento do produto. Neste ponto existem dificuldades práticas e questões estatísticas envolvidas na aceleração da ocorrência da falha, especialmente para produtos mais complexos, que podem falhar de diferentes maneiras.

Segundo Nelson (2005), ensaio acelerado de vida consiste em um ensaio de elevada solicitação que encurta a vida do produto, ou acelera a degradação do desempenho de um produto. O termo “solicitação” é usado de forma a representar uma variável acelerada. O propósito destes ensaios é, normalmente, estimar a vida ou a degradação do produto sob solicitações de menor magnitude, representando as

condições normais de uso, a partir de ensaios com solicitações de maior magnitude e, portanto com menor tempo de execução.

Ensaio acelerados também são utilizados com o objetivo de estimar a garantia do componente em teste, pois permite a extrapolação de dados de tempo de falha em diferentes níveis de solicitação, possibilitando assim o cálculo da garantia estimada.

As vantagens dos ensaios acelerados, além do tempo de execução e custo reduzido (pois tem-se um menor tempo utilização do equipamento de teste se comparado ao tempo de utilização necessário para a realização de um teste de vida), são a comodidade da coleta dos dados, pois os ensaios são realizados em laboratório, e a certeza de que amostras podem ser submetidas comparativamente às mesmas condições de solicitação, o que é muito difícil de garantir quando o ensaio é baseado na análise do desempenho em campo.

Para tanto, um planejamento torna-se necessário, identificando quais são as variáveis de solicitação (ex.: temperatura), quantos e quais níveis (ex.: 200/250 e 300°C) e qual a forma de aplicação da solicitação (constante, tipo degrau, progressivo e cíclico). Além disso, é necessário determinar o tamanho da amostra a ser alocada por nível de solicitação.

Entretanto, embora extremamente atraentes sob o ponto de vista de reduzir o tempo de desenvolvimento de um produto, a utilização de ensaios acelerados envolve um complexo estudo de definição dos modos de falha dos componentes e das maneiras pelas quais os mesmos podem ter sua frequência de ocorrência acelerada, em função da alteração das condições de operação do produto.

De acordo com Nelson (2005) o primeiro plano de ensaios acelerados foi desenvolvido na década de 60 por Chernoff. Este plano envolvia somente distribuições exponenciais e apenas duas condições aceleradas e trabalhava principalmente com dados censurados. Na década de 70, Wayne Nelson e seus colaboradores, como por exemplo, Meeker, publicaram diversos trabalhos, nos quais foram desenvolvidos planos de ensaios para distribuições lognormais e de Weibull, tais como os citados na obra "Optimum accelerated life tests for Weibull and extreme value distribution and censored data" [Meeker e Nelson (1975)]

Os resultados destes ensaios acelerados de vida são usados no processo do projeto para avaliar ou demonstrar a confiabilidade de componentes e/ou subsistemas, para certificar componentes, detectar modos de falha não previstos no projeto e comparar a qualidade de diferentes fabricantes de um mesmo produto, da maneira mais rápida

possível. Os ensaios acelerados de vida têm se tornado mais importantes em função da rapidez das mudanças tecnológicas, produtos mais complexos e com mais componentes, pressão pela rápida introdução de novos produtos no mercado, e pela expectativa dos consumidores por produtos com maior melhor confiabilidade.

Existem principalmente duas razões para execução dos ensaios acelerados. São elas:

(a) Estimativa de vida;

(b) Identificação, correção ou confirmação de problemas e fragilidades;

As diferenças entre estas razões, apesar de sutis, podem ter um impacto muito significativo sobre as hipóteses sobre as quais o ensaio é baseado.

O ensaio acelerado de vida é um ensaio pelo qual a duração da vida de um produto novo pode ser estimada e posteriormente, através de um procedimento de extrapolação, determina-se a vida nas condições normais de uso. Aqui o foco primário é a estimativa da vida de um item sob as condições normais de operação, baseado em informações obtidas em ensaios realizados sob condições mais severas.

Neste caso, o mecanismo de falha esperado para o produto é usualmente documentado e estudado e busca-se a aceleração do tempo de desenvolvimento do mesmo. Assim, problemas de identificação e correção de falhas não esperadas são de importância secundária, considerando correto o projeto do produto.

Ensaio acelerados de seleção (“screening”) são empregados para detectar falhas no produto, tendo em vista problemas de projeto, do processo de fabricação, montagem ou dos materiais e componentes utilizados neste produto. Nestes ensaios aplica-se uma combinação de solicitações, de magnitude superior às previstas na operação normal do produto, de forma a precipitar a ocorrência de falhas. Neste ensaio não se busca a redução do tempo para ocorrência de uma falha específica, mas sim verificar, através do aumento da solicitação, a ocorrência de falhas inesperadas no produto, as quais estão associadas com o processo de desenvolvimento do mesmo. A detecção destas falhas, ainda na fase de produção de protótipos, permite a correção das mesmas antes do produto ter uma produção normal para o mercado consumidor, aumentando, portanto, a sua confiabilidade.

Os ensaios acelerados de vida são empregados para adquirir mais informações sobre a confiabilidade obtida do estudo das falhas ocorridas em um dado tempo de ensaio, usando um ambiente que é mais severo que o experimentado durante o uso

normal do equipamento. Contudo, segundo a norma militar US MILHDBK-338 (1998):

“Ensaaios acelerados sempre devem ser abordados com o devido cuidado. Existem limitações básicas para a técnica. Toda aplicação de ensaio acelerado é única. Surtis diferenças na aplicação podem invalidar totalmente as informações adquiridas durante o ensaio ou as conclusões alcançadas pelo ensaio.”

Os ensaios acelerados em laboratório reduzem o tempo de desenvolvimento e gastos na obtenção das informações, porém, segundo Rai e Singh (2003), sozinhos não fornecem uma completa confiança sobre o desempenho de campo, pois pode-se observar que os dados de campo provém de informações mais confiáveis sobre a distribuição de vida, já que combinam exposições ambientais, de difícil simulação em laboratório.

Oh e Bai (2001) seguem esse pensamento e propõem um método de estimação da distribuição do tempo de vida a partir da análise de dados de ensaios e dados de falhas de campo durante o período de garantia.

Outros autores, como Majeske (2003) e Coit e Dey (1999), também propõem métodos de análise de confiabilidade utilizando dados de garantia, porém o grande problema reside na coleta das informações, pois nem sempre estas são devidamente registradas, sendo que quando o período de garantia é superado, já não há um acompanhamento da vida do produto.

2.2.1 Métodos de Aceleração

Nos ensaios acelerados, a extrapolação dos dados para a condição de uso normal do equipamento deve ser baseada em um bom conhecimento do fenômeno físico que está sendo acelerado, a fim de que possa ser explorada toda a capacidade deste tipo de ensaio.

Um cuidado especial a ser observado quando da execução deste ensaio consiste na correta seleção do fator de aceleração, de forma a reduzir o período para ocorrência de um dado modo de falha específico, evitando a ocorrência de outro modo de falha

que não seja objeto do estudo, ou seja, aqueles que não são esperados nas condições normais de uso do produto ou componente.

A escolha deste fator de aceleração depende muito do conhecimento que o projetista tem sobre o modo de falha em estudo.

Nos ensaios acelerados de vida é fundamental que se conheça o modelo que relaciona a vida nas condições aceleradas com a mesma nas condições normais de operação do sistema. Assim, estes ensaios requerem um entendimento antecipado do mecanismo de falha e um conhecimento da magnitude da aceleração deste mecanismo de falha, como função da solicitação acelerada.

Na maioria dos casos, fatores de aceleração apropriados podem ser obtidos através de um estudo da literatura, mas em alguns casos novos modelos devem ser desenvolvidos.

Segundo Meeker e Escobar (1999), a faixa de validade do modelo de aceleração não pode ser excedida e a aceleração de um esforço não pode alterar o mecanismo de falha. Se um ensaio acelerado introduzir um novo mecanismo de falha que não é experimentado nas condições normais de uso, este fato pode levar a conclusões falsas e implicar em mudanças desnecessárias de projeto. Por este motivo é altamente recomendável que se continue o ensaio acelerado até pelo menos um número mínimo de falhas ocorrer. Análises post mortem irão verificar qual o mecanismo de falha que realmente está ocorrendo, e se não há um novo mecanismo de falha introduzido pela aceleração.

Segundo Souza (2003), os três principais métodos de aceleração empregados na execução de ensaios acelerados são:

a) Aumento da Taxa de Uso

Neste tipo de ensaio, opera-se o equipamento a uma taxa de uso maior que a prevista para sua utilização normal. Entende-se por taxa de uso o número de vezes que o produto é utilizado ao longo de um intervalo de tempo. Entende-se como aceleração o aumento da taxa de utilização do produto em um dado intervalo de tempo, reduzindo o tempo necessário para executar-se um dado número de acionamentos. Para aplicação deste ensaio, deve-se ter completo domínio do mecanismo de falha a ser acelerado, e que o mesmo dependa apenas da taxa de uso. Nota-se que neste ensaio aplicam-se as cargas encontradas na condição normal de uso do produto ou componente.

b) Aumento da Taxa de Envelhecimento (Degradação)

Intensificam-se as solicitações como, por exemplo, temperatura e umidade, através do aumento da magnitude destas variáveis aplicadas no ensaio, o que faz com que ocorra uma aceleração do processo físico-químico associado ao modo de degradação considerado para o equipamento. Entende-se por degradação a perda da capacidade operacional do componente ou sistema, apresentando um desempenho abaixo de um nível mínimo desejado.

A maior dificuldade deste ensaio é extrapolar o resultado para a condição normal de uso do componente, ou seja, relacionar um dado tempo de ensaio com a vida esperada do componente. Para tanto se necessita de um profundo conhecimento do fenômeno em estudo, incluindo conhecimento sobre o comportamento do material empregado na fabricação do componente.

c) Aumento do Carregamento

Através do aumento da magnitude do carregamento (tensão elétrica, pressão, solicitação mecânica) precipita-se a ocorrência de um dado mecanismo de falha do equipamento ou componente, ou seja, a falha ocorre em um tempo reduzido, em comparação com o tempo necessário para a ocorrência da mesma na condição normal de operação.

Em um ensaio acelerado com o emprego do aumento da magnitude do carregamento pode-se utilizar uma combinação de vários métodos de aceleração, desde que os efeitos das acelerações sejam independentes e muito bem controlados.

A dificuldade de extrapolação dos resultados é a mesma citada no caso do aumento da taxa de envelhecimento.

2.2.2 Análise de Resultados de um Ensaio Acelerado de Vida

Para extrapolar os resultados é necessário definir uma relação que permita associar os resultados experimentais, na condição acelerada, com os resultados a serem obtidos como estimativa daqueles relativos às condições normais de uso.

- Relações Baseadas no Conhecimento do Problema Físico

Para alguns mecanismos, conhecendo-se a modelagem teórica físico-química que rege o fenômeno de falha em estudo, pode-se obter uma relação entre os dados

experimentais, ao longo de toda a faixa de aceleração, o que permite definir, para a condição de uso, o MTTF, a confiabilidade e outros parâmetros. Um exemplo clássico deste tipo de lei é a denominada Lei de Arrhenius, a qual representa o efeito da temperatura sobre um fenômeno químico, tal como o efeito da temperatura sobre a taxa de corrosão de um material. Com o emprego desta lei, pode-se extrapolar os dados experimentais, obtidos na condição acelerada, diretamente para a condição de uso.

□• Relações Empíricas

A partir dos resultados experimentais é necessário definir relações empíricas que expressem a variação da confiabilidade, e do MTTF em função da aceleração de uma variável. Normalmente esta técnica é empregada para analisar fenômenos dos quais não se tem um perfeito domínio das características físicas ou químicas.

A definição dos valores de interesse para a condição normal de uso é baseada na realização de ensaios com grupos de componentes sendo que cada grupo é submetido a uma dada condição de solicitação acelerada. Estes ensaios, usualmente, não são censurados, observando-se o tempo de falha de todos os elementos da amostra.

2.2.3 Procedimento de Análise

O procedimento de análise, para ensaios acelerados onde não se conhece a lei que rege a aceleração do fenômeno físico associado a um dado modo de falha, deve ser baseado na utilização de diversas condições de ensaio. Com esses ensaios obtém-se os tempos até a falha, e então se determina a distribuição de probabilidade que melhor se adapta aos dados. Subseqüentemente, constroem-se as funções densidade de probabilidade para cada uma das condições aceleradas.

A partir das distribuições podem ser determinados os tempos até a falha para o produto com vários níveis de confiança nas diversas condições aceleradas. A Figura 4 apresenta esses níveis de confiança para 5%, 95% e 50%.

Determinam-se então as funções matemáticas que melhor se adaptam aos correspondentes níveis de confiança dos tempos até a falha. Estas funções são utilizadas para a determinação dos mesmos níveis de confiança nas condições

normais de uso, ou seja, o tempo até a falha, com um dado nível de confiança, nas condições normais de uso.

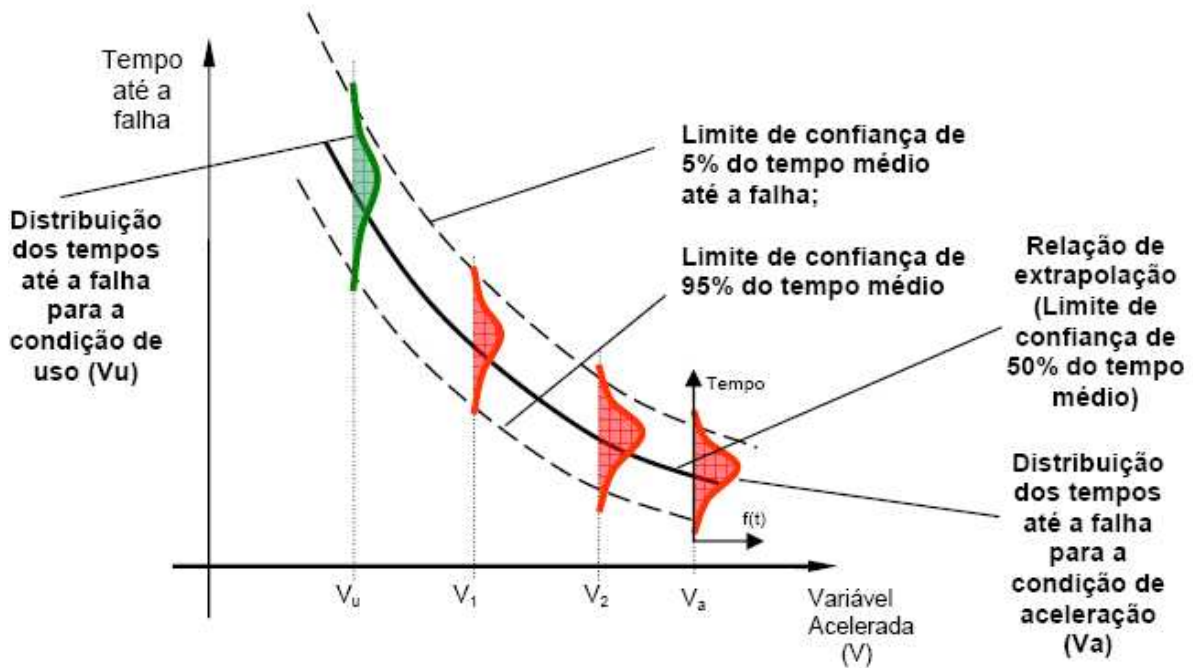


Figura 4 - Procedimento de Análise do Ensaio de Vida Acelerado. (SOUZA, 2003)

2.3. DADOS DE GARANTIA

Segundo Rai e Singh (2003), os dados de garantia são uma rica fonte para determinação da confiabilidade do produto, pois apenas os testes acelerados em adição ou não aos testes de vida em laboratório não são suficientes para prever com total confiança o desempenho do produto em campo. Porém, estes dados, como informações de tempo e quilometragem de vida do produto, quando da ocorrência da falha, estão restritos apenas ao período coberto pela garantia, ou seja, constituem dados incompletos, pois não se sabe o comportamento do produto após este período.

Outro fato que chama atenção é que, segundo Guida e Pulcini (2002, p.129), grande parte das estimações realizadas nas indústrias usa apenas dados observados em testes de laboratório e ignoram o conhecimento de retorno de garantia de produtos anteriores similares ao desenvolvimento atual. No entanto, conforme observado no capítulo introdutório, muitos dos produtos na indústria automotiva são evolucionários

e não revolucionários, o que facilitaria a avaliação da confiabilidade utilizando-se de dados do histórico de produtos conhecidos, ou seja, em uso.

Os dados obtidos dentro do período de garantia, por sua vez, também podem apresentar valores inexatos de tempo, para ocorrência das falhas e descrição de falhas vagas, pois a aquisição dessas informações é realizada, em grande parte dos casos, por pessoas que realizam outras funções e a aquisição dessas informações se torna uma obrigação secundária e de menor valor, o que prejudica substancialmente o estudo da confiabilidade, pois trabalhar com dados nesta situação pode conduzir a estimativas não precisas de taxa de falhas em campo.

No caso de dados incompletos, Rai e Singh (2003) realizaram delineamentos de experimentos comparando 3 métodos para estimação e 3 níveis de dados incompletos. Uma simulação foi realizada através de números randômicos para gerar uma distribuição normal, a qual serviu de parâmetro de comparação. Mais três curvas foram estimadas, porém cada qual com uma certa porcentagem de valores censurados diferentes, ou seja, incompletos. Ao final, concluiu-se que não há diferenças significativas entre os métodos, porém, quanto maior a quantidade de dados censurados, maior será a diferença entre a curva estimada e a curva de referência, onde não há dados censurados.

Rai e Singh (2003) propuseram uma metodologia com 5 passos, restrita apenas a componentes com distribuição de tempo até a falha modeladas por distribuição normal ou log-normal, onde primeiramente é realizada uma seleção de dados de garantia com a quilometragem mínima de falha, retirando dados onde o produto foi removido por falha de outro componente, selecionando apenas dados os referentes à qualidade do produto manufaturado. Estima-se os parâmetros da população utilizando-se também os dados incompletos. Exclui-se os valores que estão fora dos 99% dos limites estatísticos, pois são dados não claros. Verifica-se se a distribuição é normal ou lognormal, e, por fim, estima-se a taxa de falhas para falhas de campo.

Coit e Dey (1999), já haviam proposto um método para análise de dados de campo e também mencionam a dificuldade de se obter dados confiáveis sobre os tempos exatos de ocorrência da falha.

Já em Finkelstein (2002), é proposto um método de modelagem de tempo de vida de produtos com idade inicial desconhecida, através de uma variável randômica, pois, em aplicações de engenharia, um item que falhou pode, eventualmente, ser substituído por outro usado, sobre o qual desconhece-se o histórico.

Majeske (2003), propôs um modelo misto para dados de garantia automotiva, incluindo parâmetros de desempenho do produto em campo, em fabricação, no processo de montagem no cliente final, etc, de maneira a estimar qual a taxa de falha que poderá ocorrer em campo referente a essas situações mencionadas. No estudo, utilizou-se uma população de 9532 carros de luxo, representando um mês de produção, para demonstrar a metodologia. Foram analisados dados de uma porção de veículos que superaram o período normal de garantia, 2 anos após a montagem dos mesmos. Foi possível separar os dados de falhas prematuras provenientes de falhas de montagem do produto (qualidade de fabricação), das falhas inerentes ao projeto, de maneira a avaliar a capacidade de detecção de falhas na linha de produção da empresa, pois os dados foram separados em 2 modos de falhas que seguiram uma distribuição de Weibull.

Guida e Pulcini (2002), propuseram um procedimento para avaliação da confiabilidade automotiva, baseada em dados do histórico e do conhecimento técnico, uma vez que não se pode ignorá-los durante o desenvolvimento de novos produtos, podendo economizar tempo e custos em testes demasiados e retrabalho.

Em Zou et al. (2002), tem-se um método para análise da confiabilidade do sistema de porta do corpo do veículo, com relação a uma das mais importantes qualidades, a energia de fechamento da porta. Esta deve ser a menor possível, porém sem comprometer a segurança de fechamento da porta, de modo que através de experimentações foi possível delinear a região segura de trabalho.

Eisele et al. (1996), desenvolveram um método para avaliação da segurança dos projetos automobilísticos, onde, através do estudo da base de dados sobre acidentes do estado da Virgínia (USA), foi possível identificar tipos de acidentes e quantidade, de modo a construir uma árvore de falhas e a probabilidade de ocorrência do evento de topo. Como resultado do método, pontos críticos no automóveis podem ser avaliados e projetos de melhorias implementados.

2.4. ANÁLISE DO VALOR

É um processo sistemático de análise de um produto, projeto, sistema ou serviço sob a ótica das funções a que se destina, de maneira a estimular a busca de

alternativas que cumpram estas funções com menores custos de investimento e operação.

O processo se realiza criativamente por uma equipe multidisciplinar, desenvolvendo alternativas e orientações precisas para implementá-las.

A engenharia de valor tem como objetivo estabelecer um equilíbrio de rendimento, qualidade e funcionalidade do projeto, com os mais baixos custos de construção, operação e manutenção.

Uma situação que pode exemplificar bem a definição acima, onde se salienta a engenharia do valor como uma ferramenta que analisa o problema com o foco na solução e não no problema, pode ser observada no programa da NASA visando o lançamento de astronautas onde se tinha um problema a ser solucionado referente ao fato de que as canetas não funcionavam na gravidade zero.

Os Estados Unidos trabalharam com o foco no problema e contataram a Andersen Consulting (Accenture), empregaram uma década de pesquisas, com um custo de aproximadamente 12 milhões de dólares, conseguindo desenvolver uma caneta que escrevesse com gravidade zero, de ponta cabeça, debaixo d'água, em praticamente qualquer superfície incluindo cristal e em variações de temperatura desde abaixo de zero até mais de 300 graus Celsius.

Já os russos trabalharam com o foco na solução e utilizaram um lápis.

Uma definição complementar de Engenharia do Valor que não pode ser ignorada, intimamente relacionada com custos, segundo Csillag (1995, p.25), é “constitui uma abordagem muito original para reduzir custos de produção de bens e serviços e aumentar o valor para o usuário. Consiste basicamente em identificar as funções de determinado produto, avaliá-las e inicialmente propor uma forma alternativa de desempenhá-las de maneira mais conveniente do que a conhecida. Trata-se de uma ferramenta potente que origina reduções de custos da ordem de até 60% em média”. A metodologia foi desenvolvida por Lawrence D. Miles para a empresa General Electric Company em 1947 e tinha como foco analisar as funções desempenhadas pelos produtos através de seus componentes, objetivando reduzir custos e substituir materiais raros após os longos anos de conflito da 2ª Guerra Mundial. O sucesso foi tão grande que a metodologia vem se espalhando para outros países até os dias atuais, sendo que melhorias na aplicação da metodologia foram acrescentadas pelos seus seguidores.

A fundação da SAVE (Sociedade Americana de Engenharia do Valor) em 1959, nos Estados Unidos, foi um marco importante para a divulgação da metodologia para outros países, sendo que no Brasil, a ABEAV (Associação Brasileira de Engenharia do Valor) foi criada em 1984.

No Brasil, a divulgação desta metodologia teve início com alguns seminários na década de 60, tendo como importante marco a publicação do livro “Análise do Valor” por João Mário Csillag em 1985. O autor posteriormente, em 1988, foi premiado como o melhor trabalho do ano, no Congresso Internacional da SAVE com a apresentação do método “COMPARE” (Comparar Parâmetros), de sua autoria.

Análise do valor, engenharia do valor e gerenciamento do valor são sinônimos quanto ao objetivo final, o que muda é apenas o foco, pois o termo Análise do Valor se refere à melhoria em produtos já existentes, Engenharia do Valor se refere a novos desenvolvimentos de produtos, e Gerenciamento do Valor é aplicado à administração. Mas todos apresentam a mesma metodologia e técnica de aplicação.

A metodologia do valor é constituída de 3 elementos fundamentais, segundo Csillag (1995, p.60):

- Função: característica de um bem ou serviço que atenda a exigência do cliente. Ex.: um relógio de pulso pode ter como funções: “mostrar horas”, “mostrar datas”, “cronometrar tempo”, “embelezar cliente”, “permitir porte”, etc. A função pode ser básica (função do projeto, “mostrar horas”), essencial (função necessária para o desempenho da função básica, “armazenagem de energia”) e de suporte (não é essencial para o desempenho da função básica, influência a decisão de compra e satisfação do cliente, “estética”). Deve ser descrita apenas por um verbo e um substantivo
- Valor: medida monetária atribuída a bens e serviços. Pode ser classificado de acordo com vários critérios, como por exemplo, uso, estima, além do próprio custo monetário.
- Desempenho: grau de atendimento da função, conjunto de habilidades específicas funcionais do produto que o fazem adequado ao mercado e vendável. Pode se traduzir em qualidade, confiabilidade, intercambiabilidade, aparência, facilidade de manutenção, etc.

O objetivo principal da metodologia é determinar onde termina o desempenho satisfatório e onde começa o excesso de desempenho, pois este certamente aumenta o custo do bem ou serviço. O foco é a análise de funções, pois estimula o

pensamento criativo removendo bloqueios mentais que estão associados à forma física de produtos ou coisas conhecidas. Toda função deve ser representada por verbo seguido de substantivo, sendo hierarquizada. Para estimular a criatividade o nome da função deve se referir ao objeto da ação e não à própria ação, neste caso usamos “por que?”. Ex.: Por que “parafusar placa”? Para “prender placa”. E por que “prender placa”? Para “identificar máquina”. “Identificar máquina” é mais aberto, amplo, e constitui a real necessidade desejada, que pode ou não ser realizada de uma outra forma com o mesmo desempenho esperado e por um custo inferior.

Para a mente humana a resolução de problemas fechados é mais cômoda, pois os limites são fixados durante a fase da solução do problema e a resposta é mais fácil de ser obtida. Porém, esta nem sempre é a mais adequada. Ao contrário, os problemas abertos apresentam caminhos diversos que podem conduzir a soluções revolucionárias. É preciso encontrar um meio termo e trabalhar com as duas situações durante a elaboração do plano de trabalho.

Foram desenvolvidas uma grande quantidade de técnicas aplicadas à metodologia pelos seguidores de Miles. Porém, por mais simples que seja a técnica, faz-se necessária a elaboração de um planejamento de trabalho, com levantamento das informações do produto em estudo, como requisitos (funções) e custos confiáveis de fontes idôneas, e a ação de uma equipe multidisciplinar.

A metodologia não visa apenas a redução de custos, e sim, aumento de valor agregado, pois, em alguns casos, pode-se até aumentar os recursos consumidos quando estes estão abaixo das necessidades relativas, desde que o cliente perceba a função e isto gere incremento nas vendas.

É uma ferramenta que possui as mais diversificadas aplicações, podendo ser utilizada em: estudos para projetos de construção civil, estudos para empreendimentos diversos, estudos para obras em andamento (com o objetivo de aproveitar as oportunidades que acontecem durante a execução dos mesmos), estudos de produtos (para aprimorar os padrões de itens de engenharia e reduzir custos de produção), estudos de processos de fabricação entre outros estudos que se destinam a algum tipo de melhoria com análise de custos.

O estudo deve iniciar com a definição do problema e a formação de uma equipe que deve possuir número ímpar de elementos a fim de se evitar possibilidade de empate em uma possível votação, assim como é necessário que os fatores abaixo sejam observados:

- Líder treinado e com experiência
- 5 a 7 membros na equipe para garantir sinergia
- Equipe multidisciplinar, com experiência técnica
- Experiência relacionada com o escopo do projeto
- Treinamento em EV desejável, mas não obrigatório
- Disposição adequada para participação como membro de equipe sob o controle do líder
- Pode incluir a participação dos projetistas e dos parceiros do projeto, assim como do usuário

O fluxograma indicado na Figura 5 exemplifica o encademento da atividade que pode ser utilizado como base para a aplicação da metodologia.

Para a análise de valor do produto retentor, utiliza-se uma equipe multidisciplinar formada por engenheiros de desenvolvimento de produto, qualidade e processos, assim como técnicos responsáveis pela análise dimensional de peças novas, e também pela análise de peças substituídas no período de garantia.

Não foi utilizado nenhum representante do usuário, visto que o objetivo é que o mesmo perceba o valor agregado de todo o estudo através da redução do índice de retorno de peças em campo durante o período de garantia.

Das análises de falhas em garantia da peça selecionada será selecionada a característica que deverá ser melhorada no retentor, e esse será o dado a ser utilizado para o início no estudo de análise do valor.

Como resultado da análise de valor, pretende-se obter os elementos que deverão ser modificados no retentor a fim de se observar melhoria na característica utilizada no início do estudo e oriunda das análises de retorno em garantia.

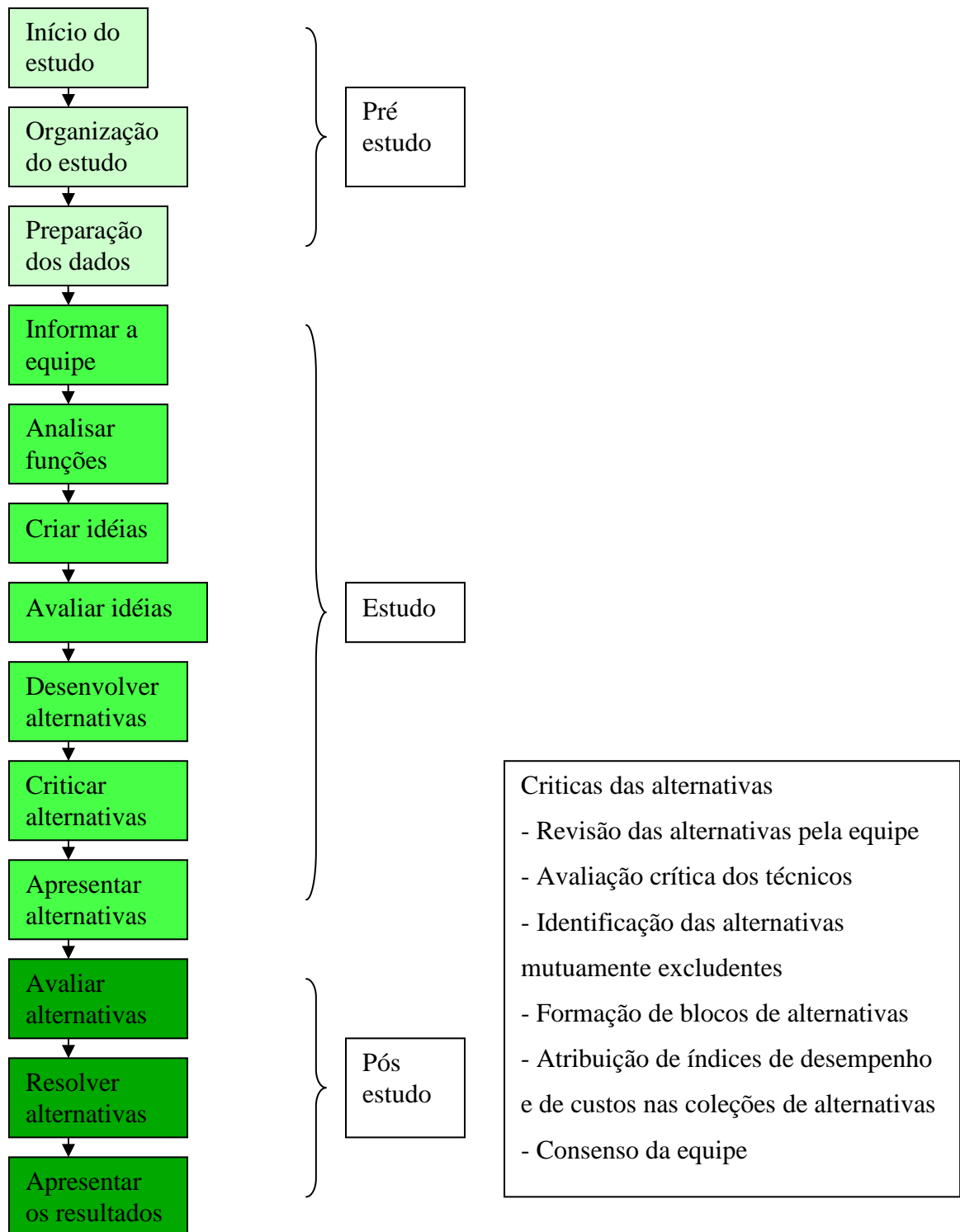


Figura 5 – Fluxo a ser utilizado para a aplicação da metodologia da análise do valor (Csillag, 1991)

3 CONCEITOS DO RETENTOR

Retentores são utilizados para a vedação de eixos rotativos, especialmente na construção de máquinas, bem como na indústria automobilística.

De acordo com a norma NBR 12906/1993 (ABNT 1993), retentor pode ser definido com um “Anel composto basicamente de uma ou mais membranas elastoméricas ou plásticas em forma de lábios, podendo ser associada(s) a uma ou mais estrutura(s) rígida(s) (revestida(s) ou não), destinado basicamente à vedação de fluidos em eixos e alojamentos com movimentos relativos, assim como à vedação de agentes externos ao conjunto onde está instalado, para evitar seu acesso ao lábio de vedação do fluido, denominado lábio de vedação principal”

Além da exigência principal, para um bom efeito de vedação, exige-se mais para os retentores:

- Segurança de funcionamento;
- Longa vida útil;
- Montagem simples;
- Compatibilidade com os produtos a serem vedados;
- Pouco atrito.

Os produtos a serem vedados podem ser pastosos, líquidos ou, em casos excepcionais, gasosos. Trata-se, principalmente, de produtos de lubrificação, como óleos e graxas de lubrificação e também líquidos de trabalho como óleos hidráulicos (conforme DIN 51524), líquidos de pressão dificilmente inflamáveis (conforme VDMA 24317 e 24320) e até óleos de silicone, com poucas características de lubrificação.

Em casos excepcionais, também devem ser vedados produtos agressivos com baixa característica de lubrificação como, por exemplo, solventes orgânicos ou produtos químicos agressivos como ácidos e lixívia.

A base da padronização do projeto do retentor é a norma DIN 3760 que possui como pontos principais:

1. Área de validade;
2. Medidas, descrições;
3. Matéria-prima e proteção de superfície;
4. Marcação;

5. Emprego;
6. Diretrizes para montagem;
7. Explicações.

Pode-se separar o retentor em partes funcionais e nomeá-las de acordo com a Figura 6.

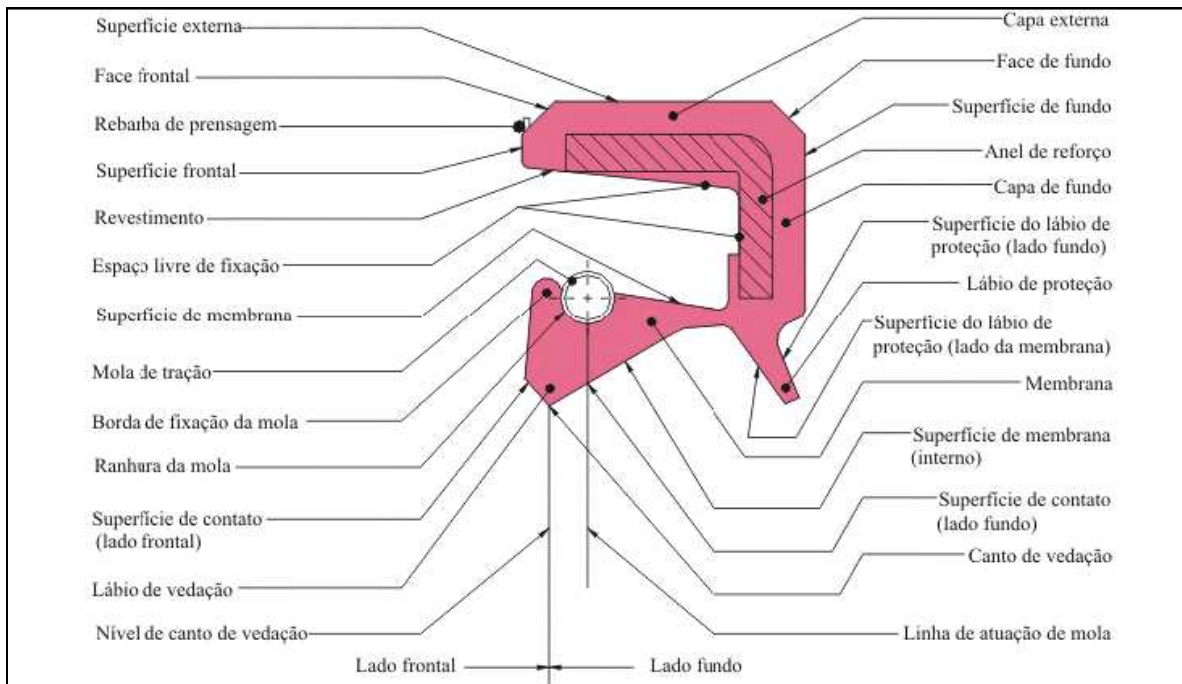


Figura 6 - Retentor dividido de acordo com suas partes e respectivos nomes [CBV VEDAÇÕES - Catálogo Técnico]

As principais características do retentor são discutidas na seqüência deste capítulo.

3.1 – EXTERNO CILÍNDRICO DE ELASTÔMERO OU DE METAL

Existem formas construtivas com chapa externa metálica como mostra a Figura 7, formas c) e d) que podem ser fornecidas estampadas (com revestimento para auxiliar na vedação externa, absorvendo variações de matéria prima e processo na estampagem) ou retificadas na circunferência externa. Já as formas construtivas

com a capa externa de elastômero são constituídas com uma chapa metálica de reforço, como mostra a Figura 7, formas a) e b).

Os diâmetros com capa externa de elastômero liso (Figura 7 construção a), são usados para aplicação em alojamentos de materiais ferrosos, com tolerâncias de diâmetro H8. Já os diâmetros ondulados (Figura 7 construção b) são usados para aplicação em alojamentos de materiais metálicos não-ferrosos, e plásticos, cujos coeficientes de dilatação são maiores que o dos materiais ferrosos, ou quando a tolerância destes diâmetros nos materiais ferrosos for maior que H8

Nestes casos, determina-se uma interferência entre o diâmetro externo do retentor e o diâmetro do alojamento, maior que a interferência determinada para os diâmetros externos lisos, de modo a garantir, em ambos os casos, uma correta fixação e adequada vedação entre o retentor e o alojamento.

Existe também a construção mostrada na forma e) da Figura 7, que possui diâmetro externo parcialmente recoberto de elastômero, essa construção possui a união das características apresentadas para as peças com construção somente de metal e somente de borracha, mas seu custo de fabricação é mais elevado se comparado as demais construções devido a sua maior complexidade de projeto e execução de ferramental para fabricação da carcaça metálica, assim como maior custo de projeto e execução dos moldes de injeção para garantir o recobrimento parcial de elastômero. Outro fator que aumenta o custo de fabricação do tipo construção na forma e) da Figura 7, é o fato de o mesmo necessitar de maior controle de variáveis do processo produtivo como, volume de elastômero a ser injetado, temperaturas e pressões do processo de vulcanização a fim de manter baixos os níveis de refugo.

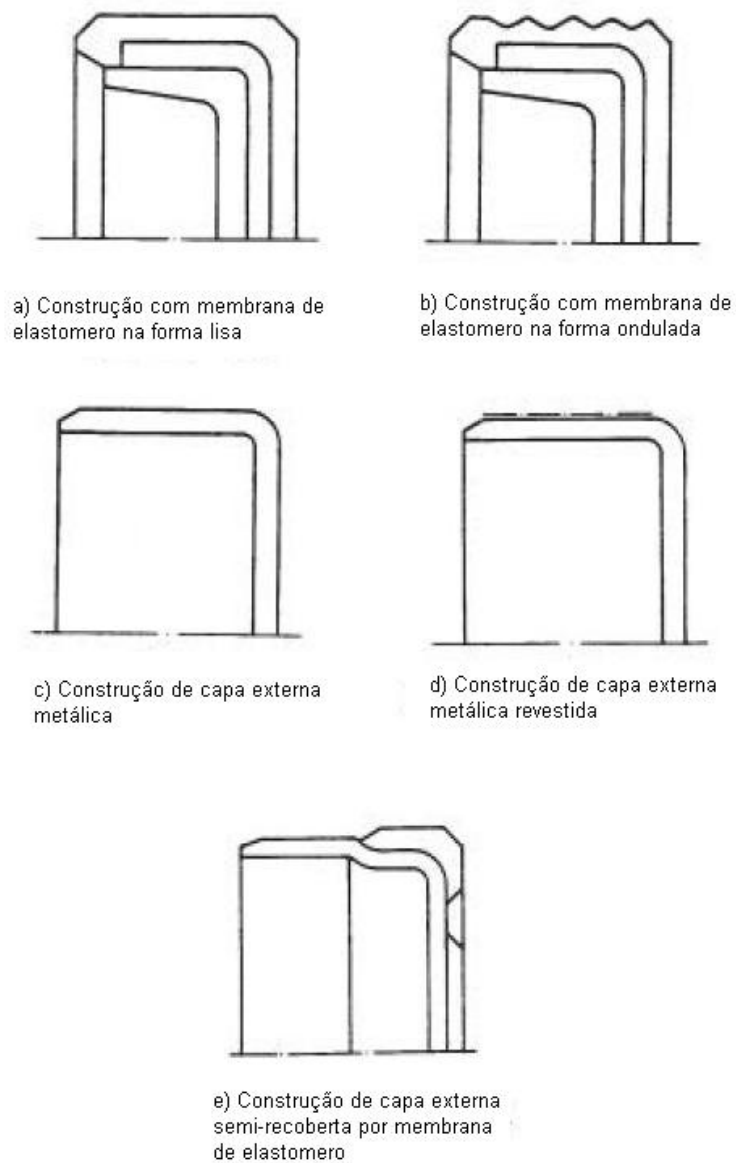


Figura 7 – Exemplos de construção externa para o retentor [DIN 3760]

3.2 – CONSTRUÇÕES GERAIS

Quanto ao tipo de construção geral, os retentores podem ser normais ou especiais. Na Figura 8, pode-se observar exemplos de construção dos retentores tipo normais.

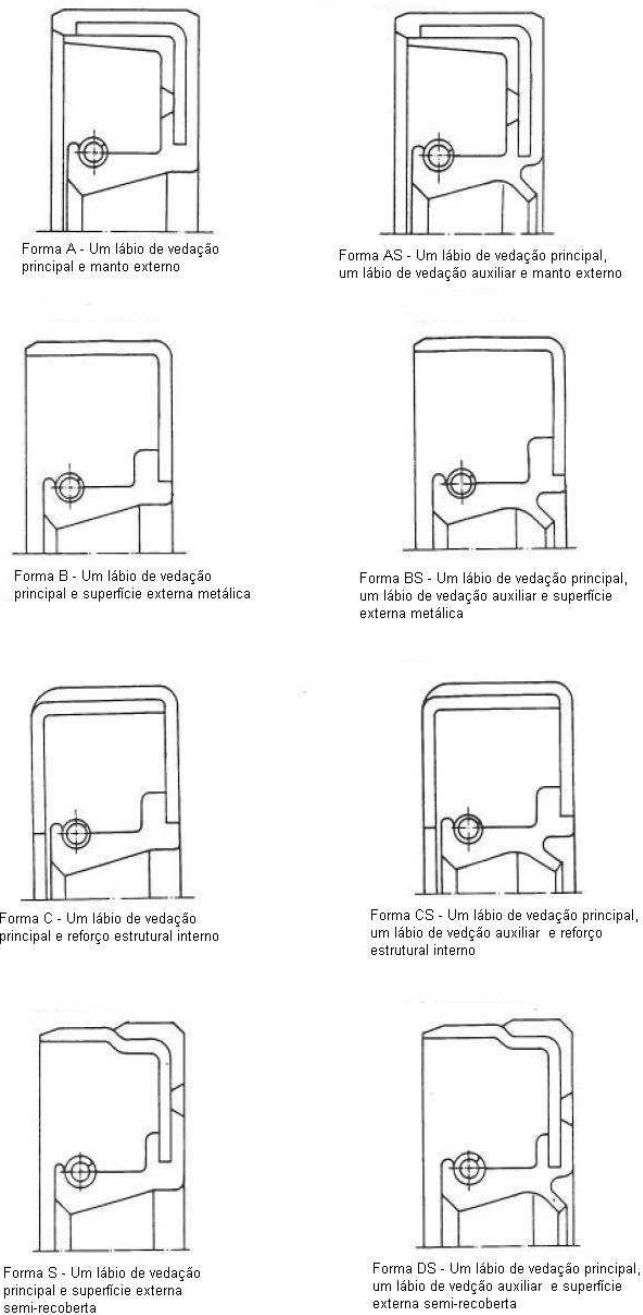


Figura 8 - Exemplos de construção dos retentores tipo normais [DIN 3760]

Na forma A, os retentores tem um recobrimento elastomérico na face posterior e um manto externo de borracha, que recobre o diâmetro na sua altura total.

A forma AS tem as mesmas características da forma A, porém conta ainda com um lábio de vedação auxiliar, contra contaminantes externos.

Em ambas as formas, o manto do diâmetro externo pode ser liso ou ter forma ondulada

Por ter cobertura de material elastômero em todo o diâmetro externo, as formas A e AS são preferidas para locais onde a vedação no diâmetro externo é uma característica mais crítica do que a fixação e montagem do retentor no conjunto.

As formas A e B, respectivamente sem e com lábio de vedação auxiliar, tem a carcaça (reforço estrutural) sem recobrimento elastomérico, sendo o diâmetro externo determinado pela própria carcaça. A exatidão dimensional do diâmetro externo pode ser obtida por calibragem mecânica ou usinagem fina. São formas preferidas quando o elastômero é de custo elevado e/ou a vedação não é de grande dificuldade (fluidos de viscosidade elevada – exemplo: óleos SAE 90, SAE 140), e a temperatura não é muito elevada.

As formas D e DS, respectivamente sem e com lábio auxiliar de vedação, reúnem ótima fixação e vedação através do diâmetro externo do retentor, o qual é constituído parte diretamente pela chapa e parte diretamente pela cobertura de borracha. É uma construção eficiente e normalmente de maior custo que as anteriores

As formas C e CS, respectivamente sem e com lábio auxiliar de vedação, tem o diâmetro externo em chapa e constam ainda com um reforço estrutural interno a mais (carcaça), para maior rigidez. Para obtenção desta maior rigidez, contrapõem-se o maior custo, a maior dificuldade de montagem e a maior fuga dos limites de circularidade.

As formas B, BS, C e CS podem ainda contar com um revestimento fino selante no diâmetro externo, para melhorar a vedação que, nestas formas, não é tão eficiente como nas formas com manto externo de borracha (no diâmetro externo)

Além das formas básicas, listadas acima, existe ainda uma grande quantidade de formas especiais obtidas da conjugação das formas básicas já apresentadas, e de outros elementos necessários a funções específicas, a serem combinadas entre clientes e fornecedores, e correspondem apenas a exemplos de outras formas também utilizadas em aplicações específicas, como indicado na Figura 9. São típicos, por exemplo, para uso em eixos de movimento deslizante axial, como em amortecedores de suspensão de veículos automotores, os retentores mostrados na Figura 9 formas i) e j). Por isso, estes têm o perfil mais encorpado, e a carcaça é reforçada para fixação rígida, e não apenas por interferência mecânica no diâmetro externo como nas formas B, BS, C, CS, D e DS.

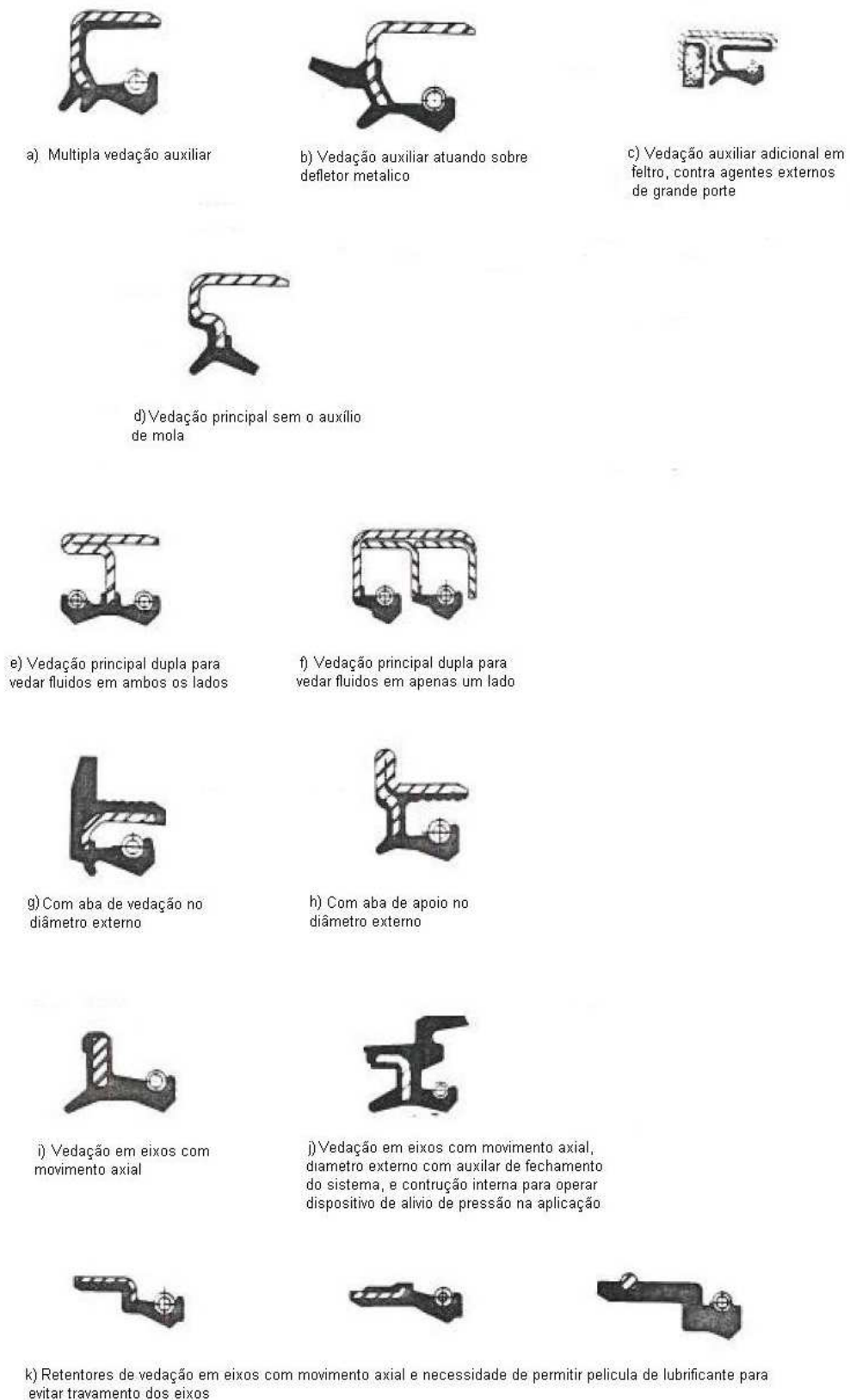


Figura 9 - Exemplos de construção dos retentores tipo especiais [DIN 3760] - Continua



l) Vedação em eixos rotativos de grande excentricidade dinâmica e/ou movimento angular



m) Retentores sem reforço estrutural (carcaça), para aplicações com movimentos lentos ou nulos do eixo e/ou alojamento



n) Vedação sobre o alojamento e não sobre o eixo. Utilizam molas de expansão e não de contração



o) Vedação sobre o alojamento e não sobre o eixo. Sem a utilização de molas



p) Vedação com utilização de calço de anel plástico, para extremas pressões de fluido



q) Vedações principal e auxiliar apoiadas sobre pista própria

Figura 9 - Exemplos de construção dos retentores tipo especiais [DIN 3760] (continuação)

A forma dos chanfros e a das curvaturas anterior e posterior deve obedecer primordialmente a exigências de montagem e é produto de acordo entre cliente e fabricante.

Quando necessário, um lábio de proteção adicional, para evitar a penetração externa de poeira e sujeira, é adicionado ao retentor. A forma do lábio de vedação auxiliar pode determinar sua interferência ou não com o eixo onde se deve aplicar o retentor, dependendo primordialmente das exigências de sua atuação contra agentes contaminantes externos.

3.3 – LÁBIO DE VEDAÇÃO PRINCIPAL COM CARGA DE MOLA

Tem a tarefa de garantir a vedação dinâmica e estática contra o eixo girando ou parado. A forma do lábio de vedação principal pode ser obtida tanto por moldagem como por usinagem da superfície anterior do lábio de vedação principal. As formas geométricas em alto-relevo no lábio de vedação principal e/ou auxiliar tem a finalidade de aumentar a eficiência de vedação do fluido e são chamadas de estrias hidrodinâmicas, ribs ou vedação hidrodinâmica. Pode-se observar a representação de algumas estrias hidrodinâmicas típicas associadas ao respectivo sentido de rotação do eixo na Figura 10.



* A observação do sentido de rotação do eixo é feita a partir do lado posterior do vedador de fluidos

Figura 10 – Exemplificação da construção das estrias hidrodinâmicas [DIN 3760]

3.4 – MOLA

A carga radial do retentor é determinada pelo perfil do retentor, borracha utilizada e pela mola utilizada.

A mola presente nos retentores pode ter a característica de ser compressiva ou expansiva de acordo com necessidade de sua aplicação, ou seja, se a vedação principal esta localizada sobre o eixo (utiliza-se molas compressivas) e se a vedação principal está localizada sobre o alojamento (utiliza-se molas expansivas).

A mola possui a função de manter a força radial do retentor na região de vedação principal ao longo do tempo compensando o efeito da degradação da borracha.

Deve ser especificada através do tipo de arame utilizado em sua construção e com as características mostradas na Figura 11.

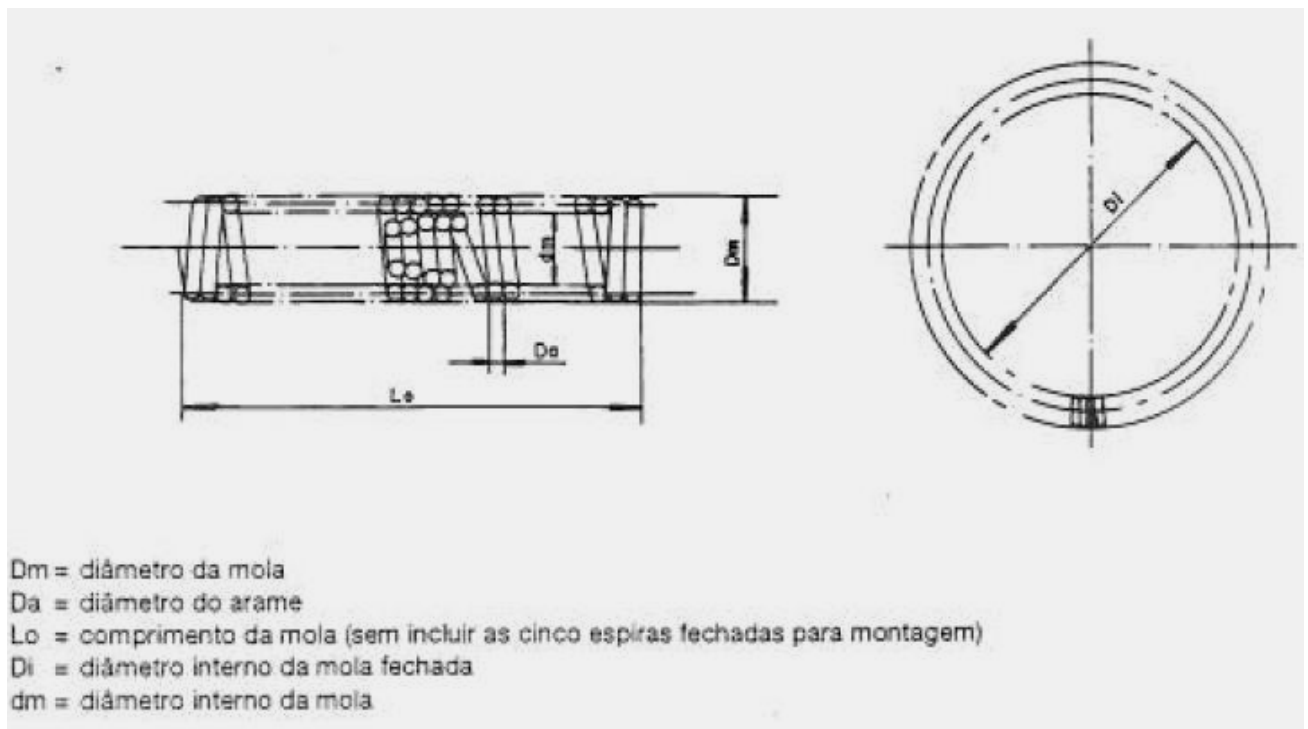


Figura 11 – Características básicas da mola [DIN 3760]

3.5 – SELEÇÃO DO ELASTÔMERO

Para o desenvolvimento de um retentor deve-se ter conhecimento de suas condições de operação conforme os pontos abaixo:

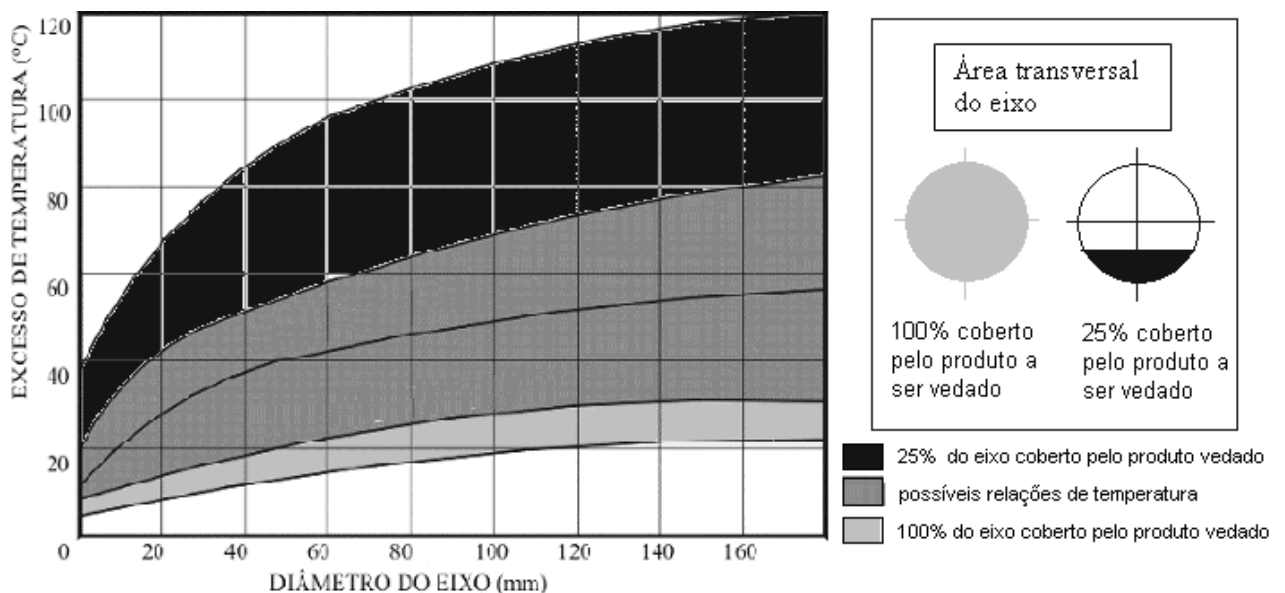
- Produtos a serem vedados;
- Velocidade na circunferência (obtida através da informação de rotação ou velocidade da superfície a ser vedada) ;
- Temperatura de trabalho;
- Pressão imposta ao retentor;
- Carga de sujeira externa.

O produto a ser vedado é que determina principalmente a seleção do composto do elastômero que irá constituir o retentor. De influência decisiva também são os efeitos químicos dos produtos sobre os compostos. Como em todas as reações químicas, estes processos também são acelerados por temperaturas elevadas. As matérias-

primas de vedação podem amolecer ou endurecer sobre influência dos produtos a serem vedados.

Pode-se citar como fator de endurecimento a temperatura de aplicação mais alta à qual o material pode resistir. Já como fator de amolecimento pode-se citar o inchamento causado pelo produto a serem vedados.

O nível do produto a ser vedado determina as condições da retirada de calor e, desta forma, a temperatura na superfície de vedação, região onde há o contato com a parte em movimento (normalmente o eixo). Na Figura 12, pode-se observar a relação entre as variáveis nível do produto a ser vedado (em relação à linha de centro) e a temperatura observada na superfície de vedação. Os valores da curva de limite inferior foram averiguados para um produto a ser vedado com eixo totalmente coberto pelo fluido a ser vedado, e a curva de limite superior, mostra os valores observados quando temos um eixo com apenas 25% de sua área transversal coberta pelo produto a ser vedado. A faixa entre a curva do limite superior e inferior mostra possíveis relações de temperatura na superfície de vedação e como serão geradas sob a influência de diferentes produtos de retiradas de calor. É de grande influência sobre a vida útil de um retentor a sua temperatura diretamente no canto de vedação. Isso depende das condições de retirada de calor em cada lugar de emprego.



Temperatura do banho de óleo 100°C.

Rotação 3000 RPM.

Figura 12 – Temperatura no ponto de vedação de um retentor na vedação de diferentes produtos.

Quando existe pressão sobre o ponto de vedação, o lábio de vedação será pressionado adicionalmente sobre o eixo. Por isso serão gerados atritos maiores e uma temperatura mais elevada no canto de vedação do retentor. Valores de referência para as possibilidades de emprego com vedação de pressão de retentores feitos de NBR 70 Sh constam na Figura 13.

Esses valores somente são válidos para sistemas com eixos 100% cobertos pelo produto a ser vedado, e com boa retirada de calor através do produto a ser vedado. Em caso de pressão negativa temporária no ponto de vedação, pode ser necessário montar um segundo retentor com lábio de vedação direcionado para o lado do ar. Todos os retentores submetidos à pressão devem ser protegidos, no lado contrário da pressão, para evitar deformação do perfil de elastômero, possibilitando assim uma falha.

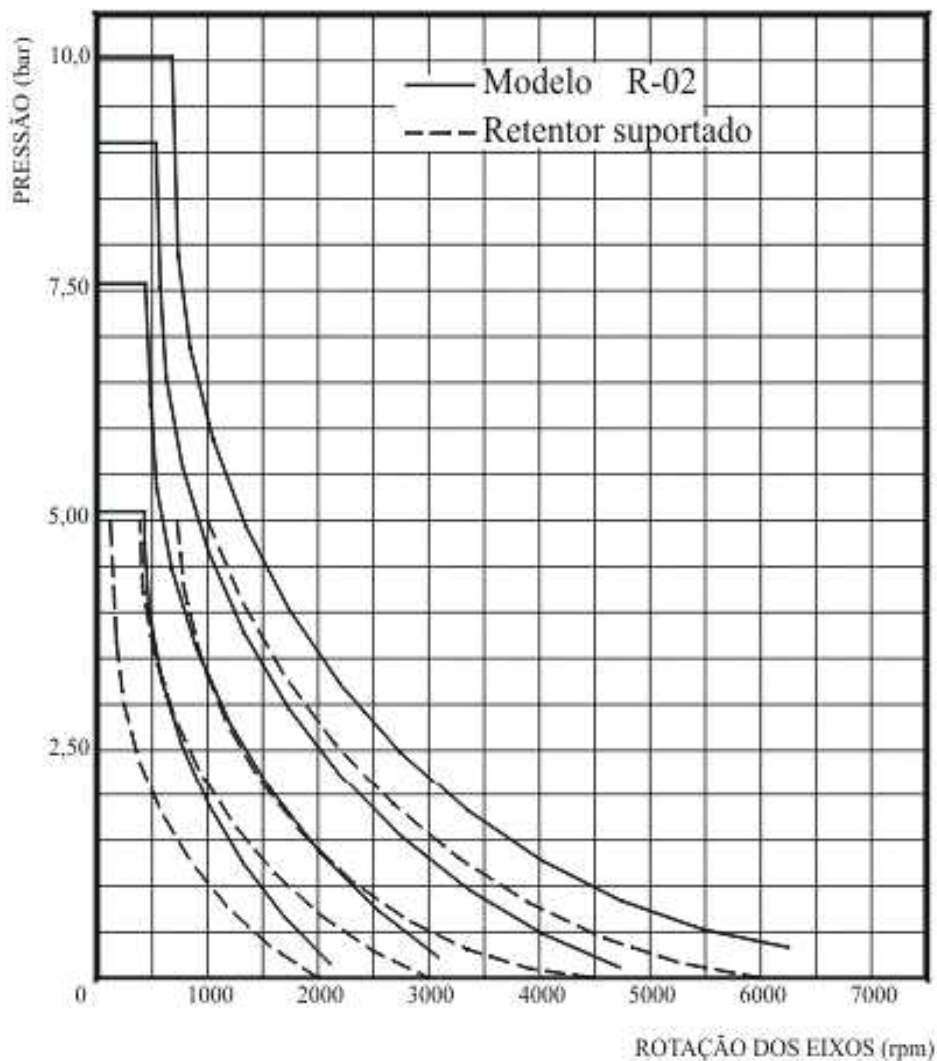


Figura 13 - Pressão permitida do produto a ser vedado para retentores [SABÓ - Catálogo Técnico]

Quando existir a formação de sujeira ou umidade no lado externo, recomenda-se a montagem de retentores com lábio de proteção. O espaço entre os lábios de proteção e a vedação deve ser preenchido com graxa antes da montagem. Essa graxa não é somente necessária para a lubrificação adicional do lábio de proteção, mas, também, para a proteção do eixo contra corrosão produzida pela umidade. Em casos de geração de sujeira extremamente forte, recomenda-se a montagem, um atrás do outro, de dois retentores ou o emprego de modelos especiais.

3.6 – RECOMENDAÇÕES QUANTO A APLICAÇÃO DO RETENTOR

Na Figura 14, podem ser observadas as informações referentes às dimensões básicas do retentor sobre o eixo e local de montagem.

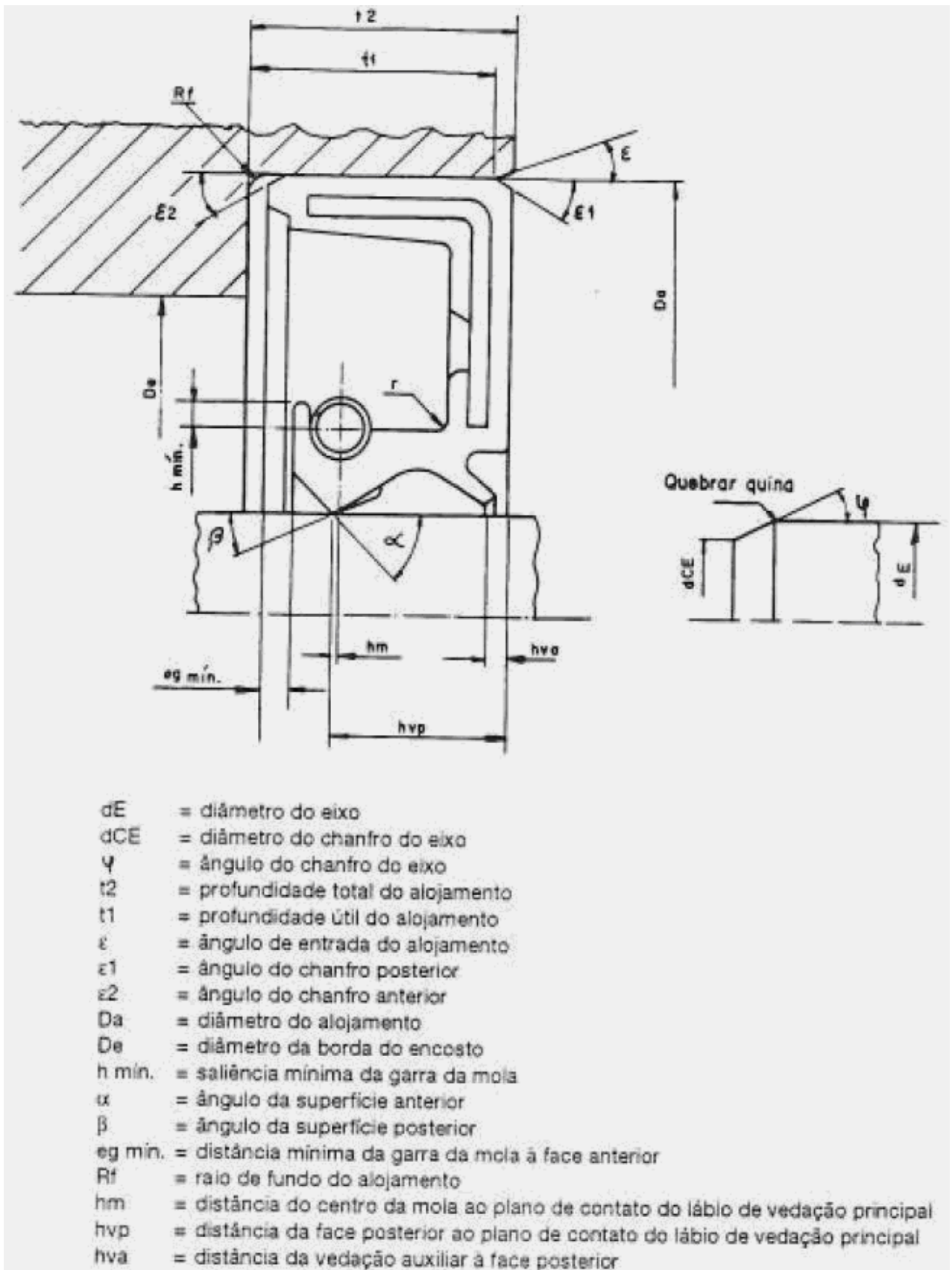


Figura 14 – Informações de dimensões básicas [SABÓ - Catálogo Técnico]

De acordo com a norma NBR 12906 (ABNT 1993), pode-se observar divergências permissíveis para as principais dimensões básicas do vedador instalado no eixo e no alojamento, sendo os valores para essas divergências observados nas Figuras 15 e 16.

Unid.: mm

Dimensão	Divergência	Referência
hvp Para hvp ≤ 5 Para hvp > 5 < 10 Para hvp > 10 < 15	± 0,30 ± 0,40 ± 0,45	DIN 3761/2
hm Para hvp ≤ 5 Para hvp > 5 < 10 Para hvp > 10 < 15	± 0,25 ± 0,35 ± 0,45	DIN 3761/2
hva α α β	± 0,30 ± 8' usinado ± 5' moldado ± 5'	DIN 3761/2 DIN 3761/2

Figura 15 – Informações de divergências permissíveis no alojamento [DIN 3760]

Tabela 4 - Divergências máximas para circularidade de eixos

Diâmetro (mm)	Tolerância (μ)	Diâmetro (mm)	Tolerância (μ)
até 18	4	> 60 a 120	10
> 18 a 30	5	> 120 a 180	13
> 30 a 50	6	> 180 a 250	15
> 50 a 80	8		

Figura 16 – Informações de divergências permissíveis na circularidade do eixo [DIN 3760]

Com relação ao alojamento, a seguir são descritas as recomendações que se aplicam a todos os tipos de retentores:

- A tolerância H8, conforme NBR 6407 (ABNT 1993), deve ser cumprida para o diâmetro onde o retentor será alojado, para um boa fixação e vedação
- A rugosidade de superfície, conforme NBR 6405 (ABNT 1993), deve atender ao descrito a seguir, para a correta vedação estática:

- a) vedador formas A, AS, D, DS : $R_t = 25\mu\text{m}$
 b) vedador formas B, BS, C, CS : $R_t = 16\mu\text{m}$
 c) vedador formas B, BS, C, CS : $R_t = 25\mu\text{m}$ (com revestimento de borracha no diâmetro externo)

Para fixação segura, os seguintes valores devem ser seguidos independentes da forma do retentor : $R_a = 0,8u$ a $3,2u$; $R_z = 6,3\mu\text{m}$ a $16\mu\text{m}$

- O chanfro dever ter ângulo de entrada de 5 a 15 graus, liso, sem danos, rebarbas ou outros defeitos
- A profundidade mínima deve ser 0,3 mm maior que a altura do retentor, exceto quando a profundidade de montagem do retentor for determinada pelo seu encosto na superfície de fundo do alojamento
- Para o diâmetro do furo do alojamento deve ser prevista a tolerância ISO H8. A vedação geralmente é retida no alojamento por interferência entre os diâmetros do alojamento e o externo da peça. Os valores recomendados para esta interferência, bem como as tolerâncias dos diâmetros de alojamento e retentor, devem seguir a norma DIN 3761 (DIN 1983), estão mostrados na Tabela 1 abaixo (consultar Figura 17 para verificar as nomenclaturas)

Tabela 1 – Tolerâncias para os diâmetros de eixo, alojamento, externo da peça [CBV Vedações - Catálogo Técnico]

Tolerância de DF e DR e Interferência Resultante					
		Retentor tipo R-05		Retentor tipo B-05 ou A-05	
$\varnothing\text{DN}$	Tol. DF (H8)	Tol. DR	Interferência Resultante	Tol. DR	Interferência Resultante
de 10 a 18	0 + 0,027	+0,30 +0,15	+0,300 +0,123	+0,20 +0,10	+0,200 +0,073
de 18 a 30	0 +0,033	+0,30 +0,15	+0,300 +0,117	+0,20 +0,10	+0,200 +0,067
de 30 a 50	0 +0,039	+0,30 +0,15	+0,300 +0,111	+0,20 +0,10	+0,200 +0,061
de 50 a 80	0 +0,046	+0,35 +0,20	+0,350 +0,154	+0,23 +0,13	+0,230 +0,084
de 80 a 120	0 +0,054	+0,35 +0,20	+0,350 +0,146	+0,25 +0,15	+0,250 +0,096
de 120 a 180	0 +0,063	+0,45 +0,25	+0,450 +0,187	+0,28 +0,18	+0,280 +0,117
de 180 a 300	0 +0,072	+0,45 +0,25	+0,450 +0,178	+0,30 +0,20	+0,300 +0,128

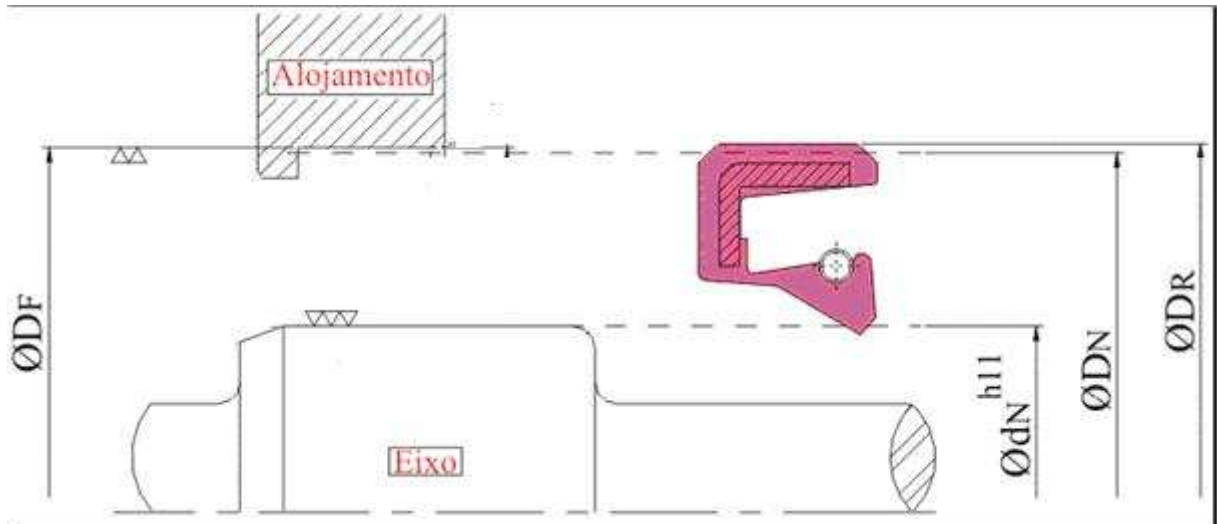


Figura 17 – Informações das nomenclaturas utilizadas na Tabela 1 [CBV Vedações - Catálogo Técnico]

Para os cálculos, deve-se seguir a ordem abaixo:

- 1) Cálculo de $DF = \varnothing DN + Tol. DF$
- 2) Cálculo de $DR = \varnothing DN + Tol. DR$
- 3) Cálculo da Interferência Resultante: $Int. \text{ máx} = DR \text{ máx} - DF \text{ mín}$
 $Int. \text{ mín} = DR \text{ mín} - DF \text{ máx}$

Para se obter uma boa condição de montagem do retentor, deve ser previsto um chanfro de entrada no início do alojamento, com inclinação da ordem de 5° a 15° , numa profundidade de 0,8mm mínimo. Os cantos desta superfície devem estar livres de rebarbas de usinagem.

Para o diâmetro do eixo dN deverá ser prevista a tolerância conforme recomendação da norma DIN 3761, ou seja, a tolerância ISO $h11$.

Com o objetivo de conferir uma boa durabilidade e eficiência de trabalho ao retentor, a superfície do eixo onde trabalha o lábio deverá atender as seguintes exigências:

- Adotar tolerância geral de fabricação $h11$ para o diâmetro, conforme NBR 6407.
- Obter rugosidade da superfície para eixos rotativos, preferencialmente por operação de retifica de topo, ou seja, aquela em que a ferramenta abrasiva se aproxima e se afasta do eixo perpendicularmente à sua linha de centro, de modo a não deixar marcas de usinagem em forma de hélice. Este cuidado evita que o fluido a ser vedado possa ser bombeado pela rotação do eixo através das hélices de usinagem.

- O valor da rugosidade para eixos rotativos deve estar conforme NBR 6405, conforme as seguintes faixas de valores: Ra 0,2 μm a 0,5 μm ; Rt 1,6 μm a 4,0 μm ; Rz 1,2 μm a 2,8 μm , onde todos os tipos de rugosidade (Ra, Rt e Rz) devem ser verificados. Valores menores que o mínimo tendem a não manter o filme de óleo sob o lábio de vedação principal, necessário à sua lubrificação. Já valores maiores que o máximo reduzem a vida útil do retentor.
- Se ultrapassado o valor Rt, pode ocorrer vazamento com o conjunto parado.
- Para movimentos axiais e grande força radial do lábio de vedação principal, também se deve usar rugosidade menor. Por exemplo: Ra = 0,03 μm a 0,09 μm , para hastes de amortecedores, da suspensão de veículos.
- As superfícies devem ser isentas de imperfeições, como batidas, cortes, arranhões, oxidação.
- A dureza da superfície do eixo para altas rotações e com alguma incidência de impureza no fluido ou impureza externa, que atinja o lábio de vedação principal, deve ser de 55Rc mín., pois, caso contrário, há formação de canaleta sobre o eixo pela ação do lábio de vedação principal do retentor. Para baixas rotações, boa lubrificação e baixas temperaturas, este valor pode ser reduzido para até 28Rc.
- As quinas dos eixos devem ser chanfradas ou arredondadas de modo a facilitar a montagem do eixo no retentor ou vice-versa, evitando sua danificação.
- Para a maioria dos casos, os chanfros devem ter 15 a 25 graus e os arredondamentos, 0,6 a 1,0mm de raio. Ambos devem ser lisos e isentos de rebarbas ou marcas. Durante a montagem, o eixo deve ser lubrificado com o próprio fluido da aplicação, para facilitar a penetração do retentor.

Devido as inevitáveis variações de superfície usinada do alojamento e do mancal, é previsto que haja uma certa excentricidade entre os mesmos. Em outras palavras, a linha de centro geométrico do alojamento do retentor não coincide exatamente com a linha de centro efetiva do giro do eixo, conforme pode ser observado na Figura 18. À essa característica aplica-se o nome de excentricidade estática.

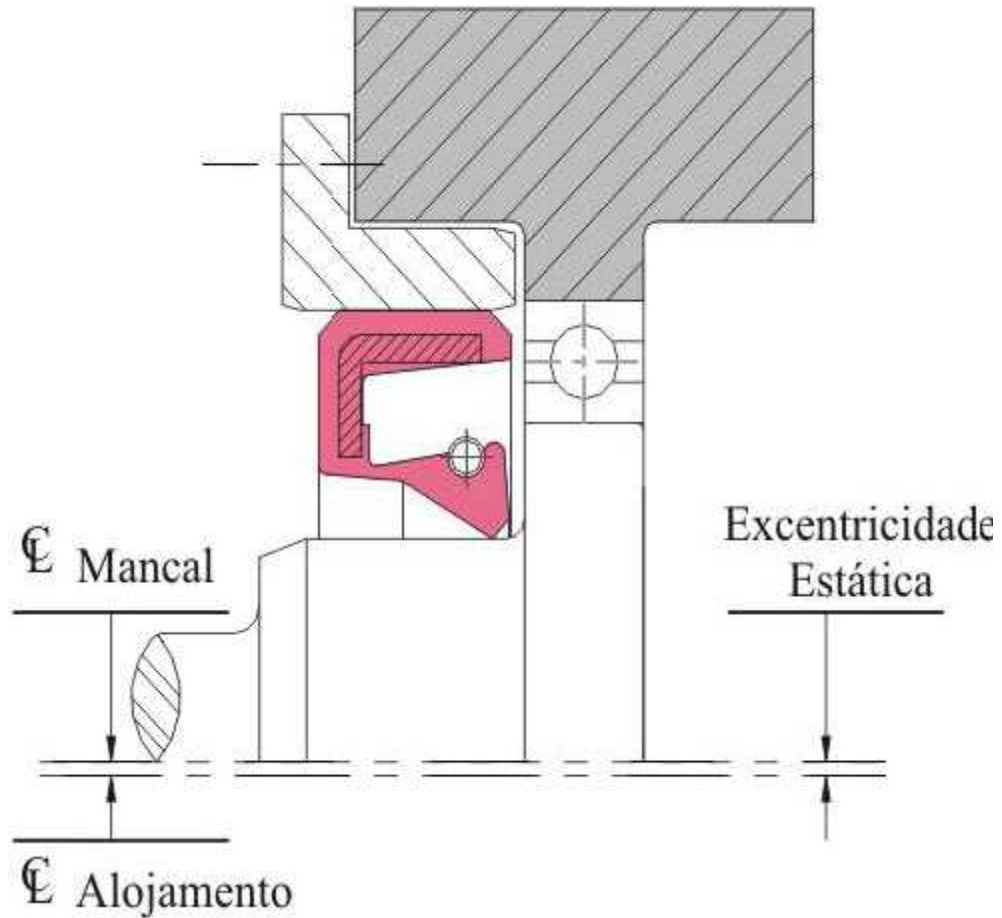


Figura 18 – Exemplificação da excentricidade estática que o retentor é submetido. [CBV Vedações - Catálogo Técnico]

À distância entre as duas linhas de centros, definida como excentricidade estática, deverá ser mantida dentro dos limites estreitos indicados na Figura 19

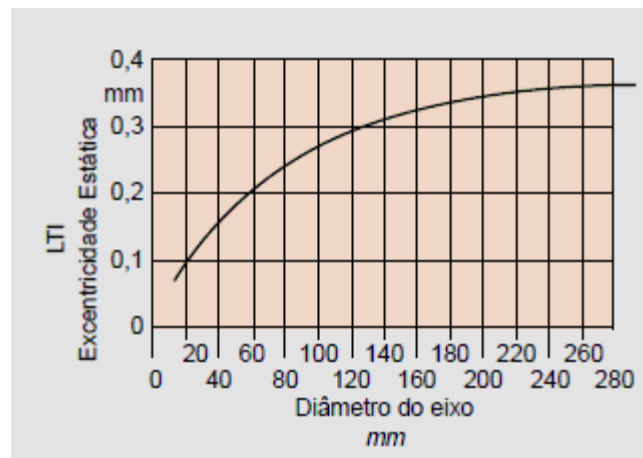


Figura 19 – Limite do excentricidade estática suportada pelo retentor [SABÓ - Catálogo Técnico]

Igualmente é previsto que na usinagem do eixo haja uma excentricidade entre a linha de centro efetiva de giro do eixo e a linha de centro do diâmetro da pista de

trabalho do retentor, conforme mostrado na Figura 20. À essa característica aplica-se o nome de excentricidade dinâmica.

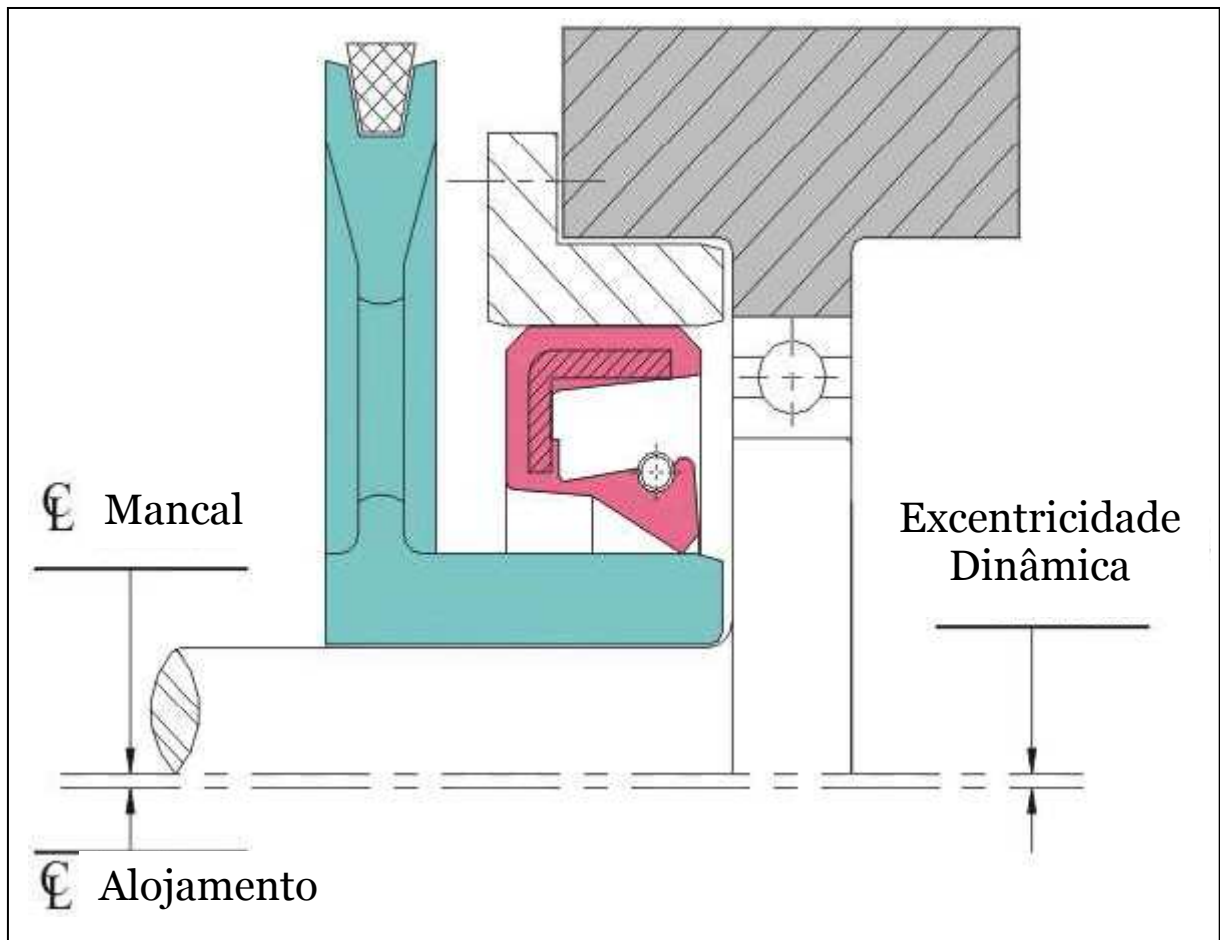


Figura 20 – Exemplificação da excentricidade dinâmica que o retentor é submetido. [CBV Vedações - Catálogo Técnico]

Essa excentricidade dinâmica deverá estar contida dentro dos valores recomendados na Figura 21. Para valores muito acima dos recomendados, haverá o risco do lábio de vedação, devido à sua inércia, não conseguir manter o contato com o eixo, principalmente no caso de elevadas velocidades angulares.

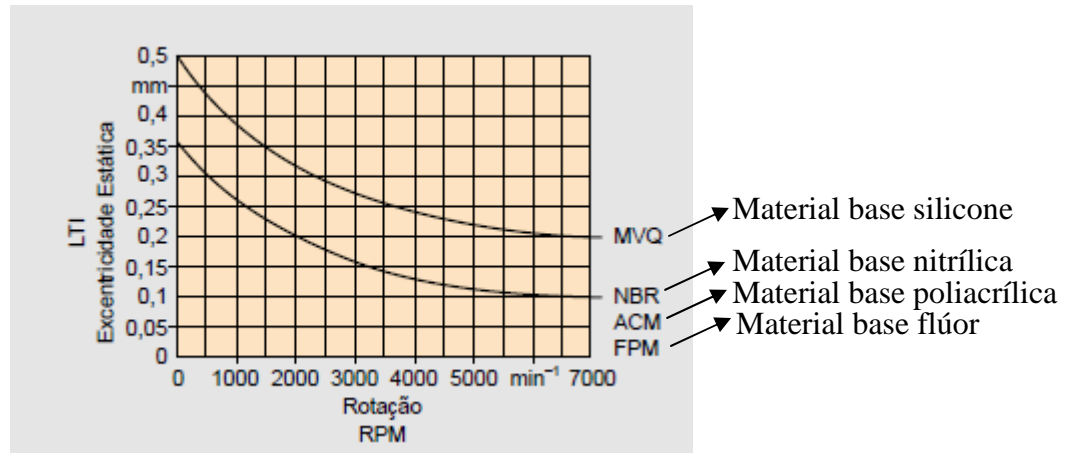


Figura 21 – Limite de excentricidade dinâmica suportada pelo retentor. [CBV Vedações - Catálogo Técnico]

Os retentores devem ser colocados tão perto dos mancais quanto possível, para evitar maiores perdas da coaxialidade e da concêntrica.

Retentores do tipo especial, que apresentam lábios de vedação mais flexíveis e de maior comprimento, permitem maiores divergências que as mostradas.

Para a montagem do retentor no alojamento deve-se utilizar um dispositivo apropriado que tenha a superfície de apoio no retentor o mais próximo possível do diâmetro externo do retentor, de modo a evitar deformações no ato da prensagem.

Na Figura 22, podem ser observados alguns tipos de dispositivos usualmente empregados

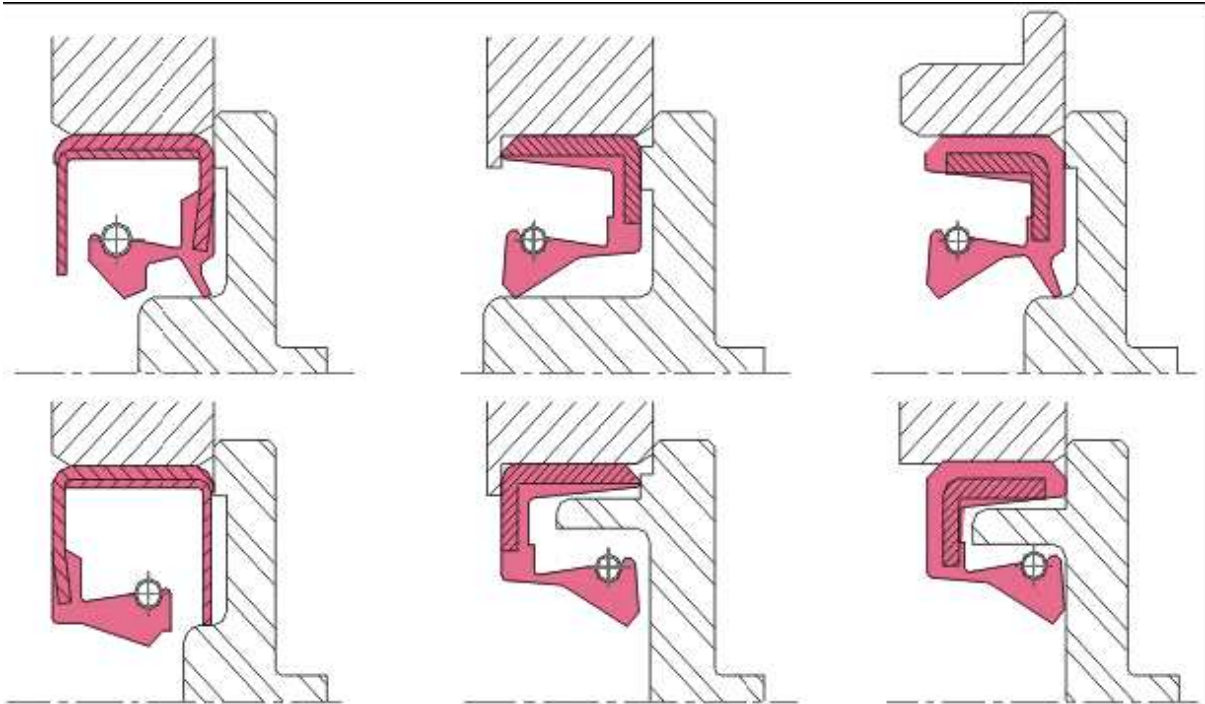


Figura 22 – Exemplos de dispositivos para montar o retentor no alojamento. [CBV Vedações - Catálogo Técnico]

Durante a montagem do retentor no eixo de trabalho, não havendo possibilidade de chanfrar ou arredondar as superfícies do eixo sobre as quais deve ser introduzido o retentor, ou então, no caso do retentor ter que passar obrigatoriamente por uma região irregular, como entalhados ou rasgos de chaveta, recomenda-se o uso de uma luva de proteção para o lábio, conforme ilustrado na Figura 23, observando que o diâmetro da luva não deve deformar o lábio. Podem ser fabricadas de qualquer material que permita que estas luvas estejam com as superfícies externas (por onde passa o lábio do retentor) bem polidas, perfeitamente limpas e livres de danos superficiais ou arestas vivas, provocadas por batidas durante o seu manuseio, sendo que normalmente são executas em plástico.

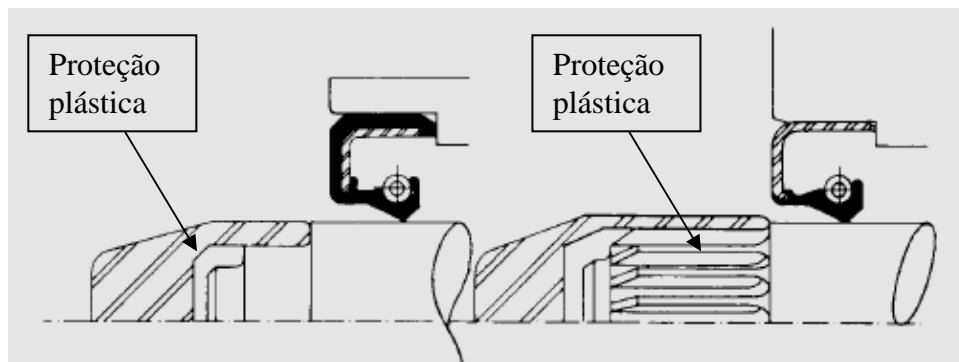


Figura 23 – Exemplos de proteção para vedação do retentor em relação ao eixo [CBV Vedações - Catálogo Técnico]

3.7 – TIPOS DE FALHAS

Retentores têm diversos modos de falhas, e sua taxa de falha pode ser caracterizada pela curva da banheira apresentada na Figura 3, ou seja, observa-se falhas prematuras, falhas casuais e falhas por desgaste.

Falhas prematuras podem ser exemplificadas pela montagem errada ou inadequada onde se pode originar dano na região de vedação, perda da mola durante a montagem, dano no diâmetro externo do retentor ou danificação na vedação auxiliar. Outros exemplos de falhas casuais seriam os defeitos de fabricação e as danificações no eixo e/ou no alojamento da aplicação.

Observa-se também falha por desgaste acelerado, caracterizadas por seleções inadequadas no projeto, podem ser exemplificadas por vazamentos devido à seleção de material incompatível com o óleo ou temperatura da aplicação, fazendo com que o elastômero amoleça ou endureça. Temos também a seleção de perfil incompatível com a aplicação, originando problemas de dificuldade de bombeamento, ou vedação auxiliar ineficiente para as condições de contaminantes da aplicação, originando assim um desgaste agressivo na região de vedação, oriundo do atrito de contaminantes com o eixo e o retentor. Outro exemplo é a seleção de mola incompatível com o perfil, originando desgaste prematuro na forma plana na região de vedação ou ineficiência de bombeamento devido à dificuldade de manter o contato do perfil com o eixo.

Falhas por desgaste são caracterizadas pelo desgaste do elastômero durante sua utilização, onde se observa um desgaste plano na região de vedação.

4 MÉTODO DE TRABALHO

O método proposto pode servir de modelo para desenvolvimento de novos produtos que utilizem um ou mais itens semelhantes ao de outro produto já em produção, ou pode ser utilizado visando a melhoria de produtos já existentes.

No fluxograma constante da Figura 24 podem-se observar os passos a ser seguidos para a aplicação do método.

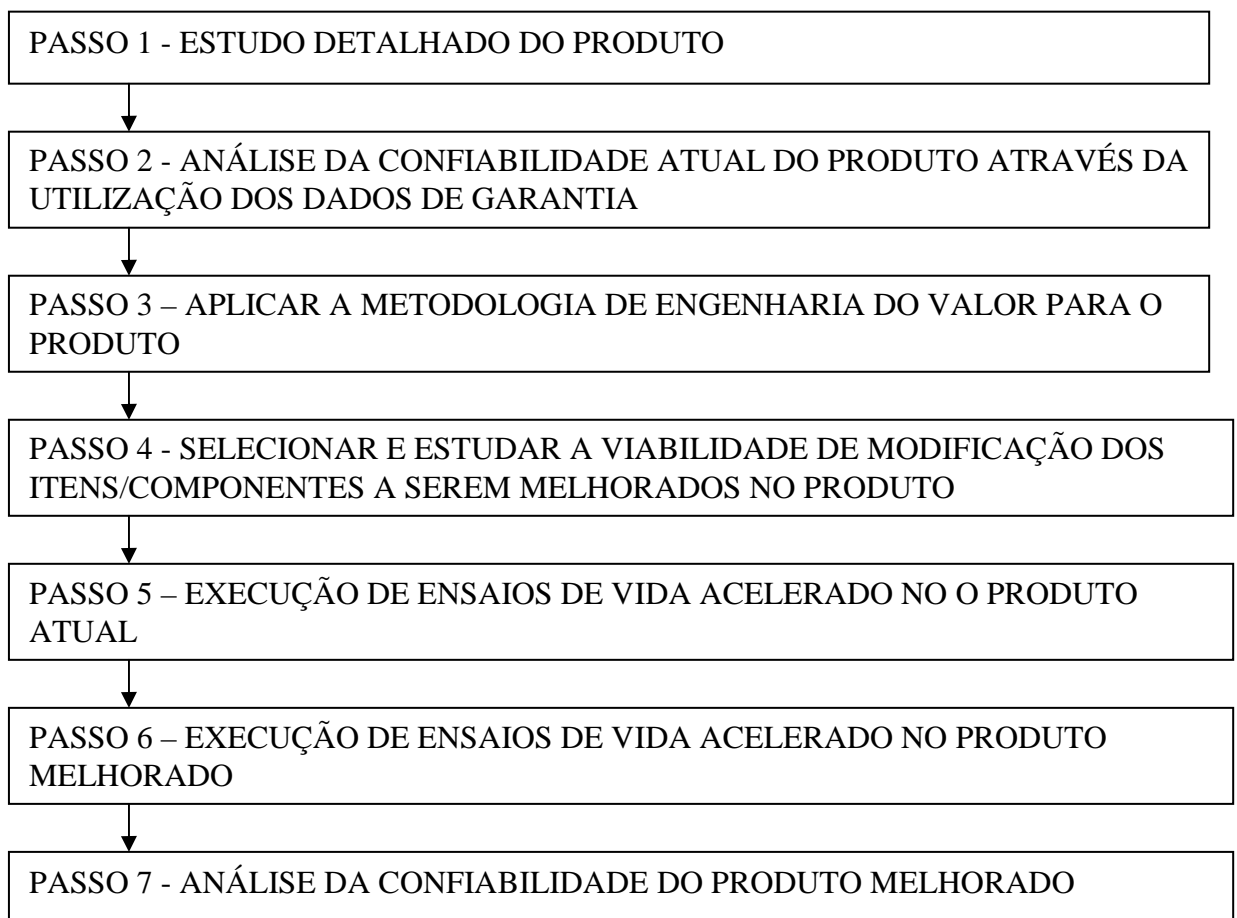


Figura 24 – Fluxograma representando o método proposto neste texto.

Na seqüência abaixo, pode-se observar a descrição, explicação e justificativa dos passos apresentados:

Passo 1 – Estudo detalhado do produto.

Nesse passo, o objetivo é estudar o produto, sua função no conjunto, assim como a de seus componentes. Esse estudo deve possuir como base normas técnicas,

informações detalhadas da aplicação onde o produto é utilizado, se possível, memórias de cálculos e escolhas realizadas durante o desenvolvimento do produto em estudo. Todas essas informações devem ser coletadas de maneira detalhada e minuciosa, pois devem conter a maior quantidade de informações possíveis e confiáveis, a fim de cercar as variáveis que podem ser melhoradas, assim como fornecer dados para auxiliar na localização da variável que será melhorada.

Passo 2 – Análise da confiabilidade atual do produto através da utilização dos dados de garantia.

Executar a análise de confiabilidade do produto atual para caracterizar com dados técnicos a situação presente do produto. Os dados para o estudo de confiabilidade devem ser oriundos das análises de peças garantia, e deve-se observar o período de garantia coberto, assim como período de fabricação das peças analisadas e separação por tipo de defeito apresentado, assim como o tempo que ocorreu a falha. O objetivo desse passo é fornecer dados que serão utilizados para a comparação com os resultados de peças atuais submetidas à ensaio acelerado, a fim de se obter relação entre o ensaio acelerado aplicado e o desempenho da peça na aplicação. Tem-se também o objetivo de estabelecer comparação com o produto melhorado, a fim de se observar se a melhoria realizada no produto foi realmente eficaz.

Passo 3 – Aplicar a metodologia de engenharia do valor para o produto.

Nesse passo deve-se aplicar a metodologia de engenharia do valor para o produto selecionado a fim de se selecionar a característica a ser melhorada no mesmo. A utilização dessa metodologia foi apresentada no Capítulo 2, Item 2.4, e como característica básica apresentada, o grupo encarregado da análise deve ser multidisciplinar formado por número ímpar de pessoas a fim de evitar possibilidade de empate em uma possível votação. Como resultado da aplicação da metodologia de engenharia do valor, pode-se obter mais de uma característica a ser modificada, cabendo ao líder do grupo de pesquisa expor a opinião do grupo com relação à importância de cada característica assim como sua importância na melhoria no produto final.

Passo 4 – Selecionar e estudar a viabilidade de modificação dos itens/componentes a serem melhorados no produto.

Nesse passo devem-se selecionar os itens que foram direcionados pelo estudo de engenharia do valor e realizar uma verificação do impacto da melhoria proposta no projeto, fabricação e controle de qualidade do mesmo.

Para essa verificação deve-se observar quais serão os impactos da alteração proposta em todos os setores produtivos, assim como o impacto que a mesma pode acarretar na aplicação. Deve-se observar tanto os impactos positivos como os negativos, para que se possa fundamentar a decisão da alteração proposta.

Considerando que o produto estudado é um item de produção corrente, o objetivo desse passo é selecionar e organizar as características originadas da aplicação da engenharia do valor, analisando a implementação da mesma, viabilidade de execução no processo produtivo e de controle de qualidade.

Passo 5 – Execução de ensaios de vida acelerado para o produto atual

Nesse passo será selecionada a ciclagem do teste que será utilizado através do tipo de aceleração que o produto deverá sofrer. A seleção dessa ciclagem deverá ser realizada apoiada em normas e poderá sofrer influência dos dados oriundos do conhecimento das condições de aplicação do produto. Nesse passo também, será selecionada a quantidade de peças que serão ensaiadas e, finalmente, nesse passo serão realizados os ensaios acelerados de vida acelerado no produto atual. O objetivo desse passo é fornecer dados para se obter uma relação entre o ensaio acelerado realizado e o comportamento do produto na aplicação, para que se possa estimar a confiabilidade do produto melhorado na aplicação através da aplicação do mesmo tipo de ensaio acelerado.

Passo 6 – Execução de ensaios de acelerados vida no produto melhorado

Nesse passo serão executados ensaios acelerados de vida no produto melhorado. O tipo de ensaio a ser aplicado deverá ser o mesmo que foi aplicado no produto atual, definido no passo anterior. O objetivo desse passo é fornecer dados para que se possa estimar a confiabilidade do produto melhorado durante sua utilização na aplicação.

Passo 7 – Análise de confiabilidade do produto melhorado

Com as informações obtidas nos passos anteriores deverá ser realizado estudo para estimar a confiabilidade do produto melhorado durante sua aplicação. Para esse estudo, deverá ser utilizada a relação obtida entre ensaio acelerado de vida com a peça atual e estudo de confiabilidade da peça atual, assim como os resultados dos ensaios acelerados de vida, realizados com a peça melhorada. Como objetivo da execução desse passo deverá ser verificada a eficiência da melhoria proposta.

5 CASO EXEMPLO: METODOLOGIA PROPOSTA APLICADA A UM RETENTOR

Aplica-se o método de trabalho apresentado na capítulo anterior à um retentor automotivo utilizado em uma caixa de câmbio para caminhão, a fim de elucidar o método como um todo.

Dentro de um universo de mais de 3000 retentores candidatos a ser objeto do estudo, foram realizados alguns filtros para que seja selecionado o melhor item no escopo do estudo.

A fim de que se tenha uma melhor rastreabilidade dos dados das peças de garantia, primeiramente foram eliminados os itens que não possuem nenhum tipo de identificação de data ou período de fabricação, em seguida foram eliminados os itens produzidos em grandes volumes (subentenda-se por grande volume uma quantidade maior que 50 mil peças por mês), e também foram eliminados os itens vendidos à mais de uma planta ou cliente. Na seqüência, a fim de se obter dados com alta credibilidade, foram verificados os dados no banco de dados de garantia, assim como nos relatórios de análise e foram eliminados os itens com informações incompletas ou inconsistentes sobre a análise de garantia. Por último, foram eliminados os itens para os quais não se possuía grande quantidade de informações de sua aplicação, seja por serem itens antigos ou apenas pela razão de o cliente não informar.

Com a aplicação desses filtros, saiu-se de um universo de aproximadamente 3000 itens para aproximadamente 50 itens. E por fim, realizou-se uma escolha aleatória dentre esses itens restantes, selecionando o item que por motivo de sigilo profissional chamaremos de X, o qual pode ser identificado pela Figura 25.

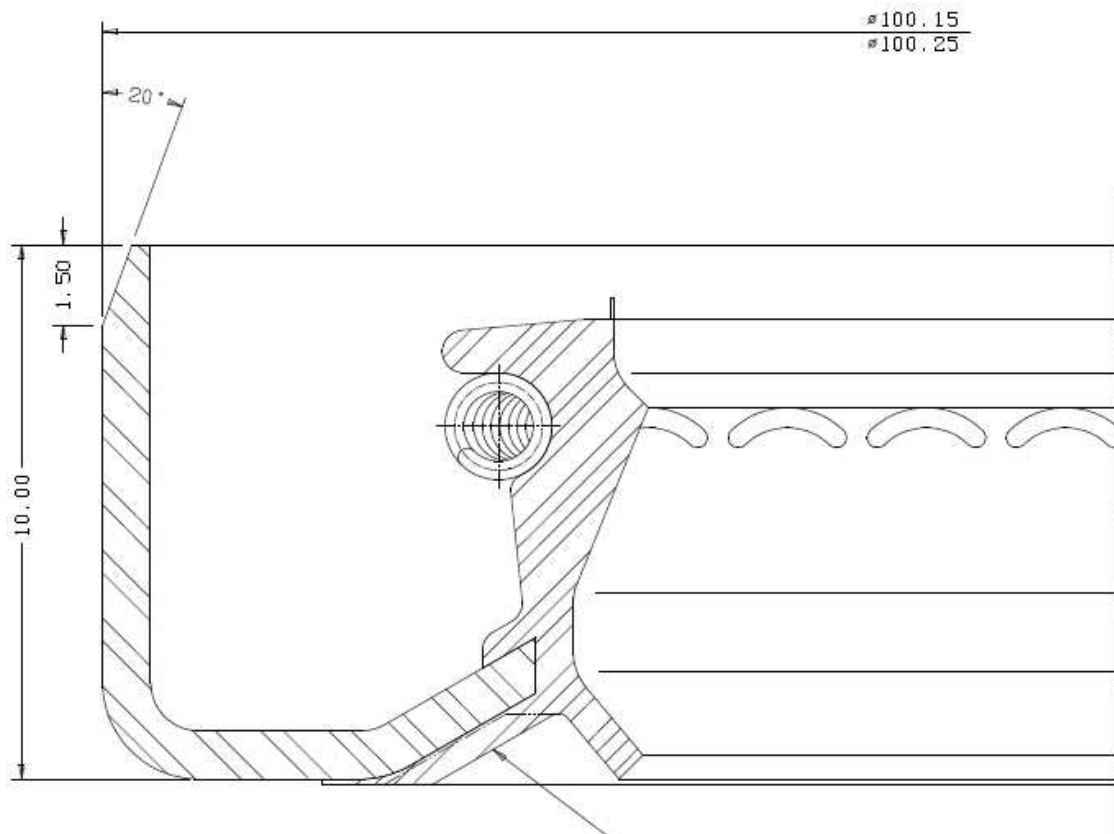


Figura 25 – Item X, retentor que estará sendo utilizado no estudo.

5.1. ESTUDO DETALHADO SOBRE O ITEM X, DE SUA FUNÇÃO NO CONJUNTO, E DE SEUS COMPONENTES.

Esse tópico se refere ao Passo 1 apresentado no método do trabalho e foi concluído no capítulo 3.

Do estudo realizado pode-se alocar o retentor estudado na forma construtiva de externo metálico, conforme Figura 7 tipo c) e de construção geral tipo BS, conforme Figura 8.

5.2. ANÁLISE DOS DADOS DE GARANTIA E CÁLCULO DA CONFIABILIDADE DO ITEM X.

Esse tópico se refere ao Passo 2 apresentado no método de trabalho.

O item X, mostrado na Figura 25 acima, é utilizado como retentor de saída da caixa de transmissão de caminhões pesado, principalmente os utilizados no transporte nas regiões canavieiras.

São utilizadas duas peças em cada caixa de transmissão, uma peça para cada lado da saída, conforme Figura 26 abaixo. A caixa de transmissão possui um volume de utilização anual de aproximadamente 6500 peças. Logo, tem-se um volume anual de aproximadamente 13000 peças do item X.

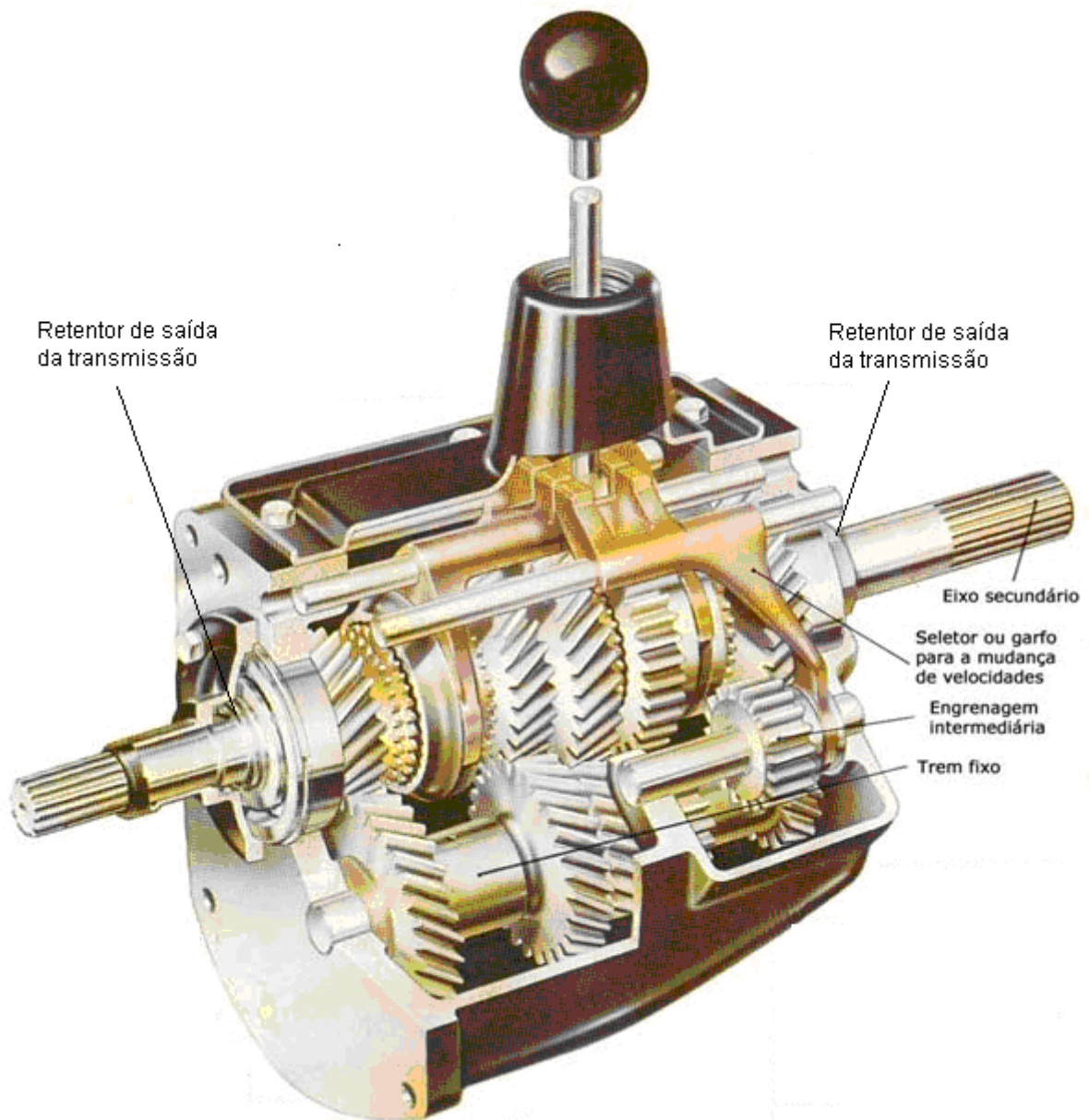


Figura 26 – Localização do retentor na aplicação

Em sua gravação, o retentor possui dois caracteres na forma de letras que codificam os dois últimos dígitos do ano de fabricação conforme Tabela 2

Tabela 2 - Identificação de rastreabilidade gravada na peça

1	A
2	B
3	C
4	D
5	E
6	F
7	G
8	H
9	I
0	J

Logo, para as peças produzidas no ano 2007, ano que será estudado, analisam-se as peças que apresentam os caracteres “JG” em sua gravação.

Para o estudo proposto estar-se-á utilizando os dados do ano de 2007, onde se teve uma utilização de 11818 peças e um retorno de 211 peças em garantia, com motivos mostrados na Tabela 3.

Tabela 3 - Informações da análise de retorno

Quantidade	Análise do retorno
76	Montagem inadequada
57	danificadas na desmontagem impossibilitado sua análise
27	Impurezas na área de vedação
27	Não apresentaram problemas que justificasse o vazamento
12	deformações e riscos na vedação
8	desgaste acentuado
4	descolagem
211	Total

Na Figura 27 pode-se observar a distribuição percentual dos motivos de retorno das peças analisadas, assim como pode-se visualizar facilmente os maiores índices de retorno de garantia.

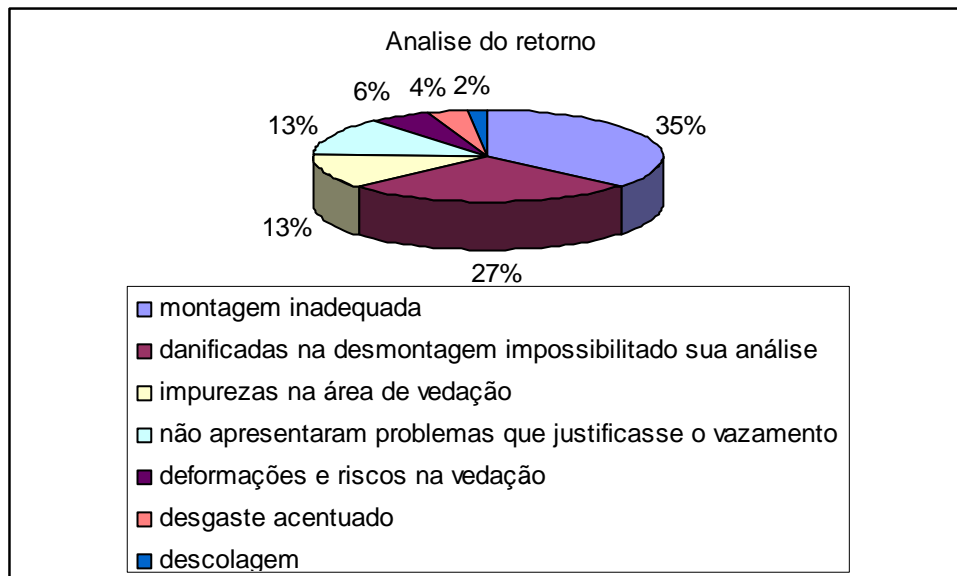


Figura 27 – Diagrama de “Pizza” com as informações da análise de retorno

Das informações constantes nos relatórios e no banco de dados de garantia selecionou-se as mais relevantes para o estudo, na seqüência, montou-se uma tabela para auxílio no cálculo de confiabilidade de peça na condição atual, a qual pode ser consultada no Apêndice A. Na Tabela 4 tem-se um extrato da tabela do Apêndice A onde se observa o cabeçalho e as seis primeiras linhas da mesma para que se possa facilmente visualizar as informações selecionadas do banco de dados de garantia.

Tabela 4: Modos de falha dos dados de retorno

peça#	Data do retorno	Relatorio#	Nota fiscal recebida#	quant.peças recebidas para análise	Cód	Conclusão	KM
1	Jan	6	510	2	4	Desgaste acentuado	963
2	Jan	6	510	2	7	não apresentaram problemas que justificasse o vazamento	772
3	Fev	15	733	6	1	Descolagem	1437
4	Fev	15	733	6	5	impurezas na área de vedação	1424
5	Fev	15	733	6	6	montagem inadequada	1001
6	Fev	15	733	6	7	não apresentaram problemas que justificasse o vazamento	1001

Na Figura 28 pode-se observar uma foto representativa de peça que retorna da garantia avaliada com falha devido ao desgaste acentuado.

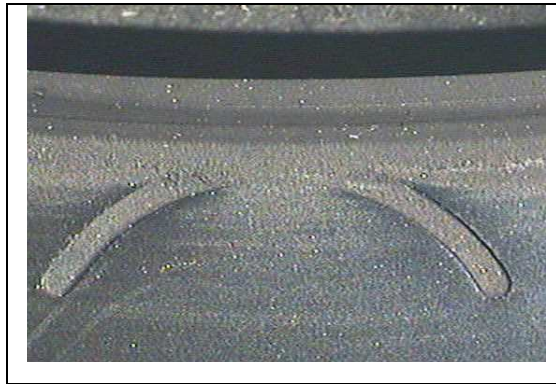


Figura 28 – Foto representativa das peças que retornaram de campo com laudo de falha por desgaste acentuado

Com base nos dados constantes no Apêndice A se calculou a confiabilidade do retentor na condição atual.

Primeiramente utilizaram-se dois estimadores não paramétricos, a tabela de vida e o estimador de Kaplan-Meier.

Em ambos estimadores, necessita-se dividir os dados em grupos, e para essa divisão utilizou-se a STURGES' RULE (MIL-HDBK-338, 1950) conforme equação (11).

$$k=1+3,3\log N \quad (11)$$

onde:

$N >$ é o numero de dados de falha existentes no banco de dados

$k >$ quantidade de grupos que serão gerados.

Assim, aplicando a STURGES' RULE para $N=211$ chega-se a uma divisão de 9 grupos com intervalos conforme a Tabela 5.

Tabela 5: Divisão de intervalos para os dados de retorno

Intervalo
0 à 22500
22501 à 45000
45001 à 67500
67501 à 90000
90001 à 112500
112501 à 135000
135001 à 157500
157501 à 180000
180001 à 202500

Com esses dados, foi possível calcular a tabela de vida, Tabela 6. Na tabela de vida utiliza-se a divisão de intervalos da Tabela 5 e calcula-se a probabilidade de um item falhar no intervalo em questão (\hat{q}), sabendo que ele não falou até o início do intervalo. Calcula-se também essa probabilidade percentualmente ($\hat{q}\%$)

Tabela 6 : Tabela de vida para o retentor corrente

Intervalo	No. sob risco	No.Falhas	Probabilidade de um item falhar no intervalo \hat{q}	Probabilidade percentual de um item falhar no intervalo $\hat{q}\%$	Confiabilidade(%) R(t)
0 à 22500	11818	89	0,0075	0,7530	100
22501 à 45000	11729	35	0,0029	0,2984	99,2469
45001 à 67500	11694	25	0,0021	0,2137	98,9507
67501 à 90000	11669	21	0,0018	0,1799	98,7392
90001 à 112500	11648	15	0,0013	0,1288	98,5615
112501 à 135000	11633	1	0,00008	0,0086	98,4345
135001 à 157500	11632	13	0,0011	0,1117	98,4261
15701 à 180000	11619	5	0,0004	0,0430	98,3161
18001 à 202500	11614	7	0,0006	0,0602	98,2738

Da tabela de vida acima, pode-se observar que o retentor atual possui confiabilidade de 98,27%, para o período de garantia que é de 1 ano.

Para o cálculo do estimador de Kaplan-Meier, cria-se uma tabela com todos os dados gerados a qual, pode ser consultada no Apêndice A e um extrato desta é apresentado na Tabela 7. Nesta, observa-se o cabeçalho, as seis primeiras e as duas últimas linhas da mesma para que se possa visualizar as informações geradas no cálculo do estimador de Kaplan-Meier.

Tabela 7 : Tabela para cálculo do estimador de Kaplan-Meier

T	d	N	Confiabilidade R(t)
0	0	11818	1
772	1	11817	0,999915376
963	1	11816	0,999830752
1001	1	11815	0,999746128
1001	1	11814	0,999661505
1048	1	11813	0,999576881
195725	1	11608	0,982228992
198352	1	11607	0,982144368

6 primeiras linhas

2 últimas linhas

Observa-se que os dois estimadores apresentaram dados próximos para a confiabilidade ao final do período de garantia, tem-se a tabela de vida com 98,27% e

Kaplan-Meier com 98,21%, pode-se atribuir essa diferença ao número de intervalos utilizado para o cálculo. O estimador de Kaplan-Meier possui o número de intervalos igual ao número de falhas, já para a construção da tabela de vida, utiliza-se a Sturges' rule para calcular a quantidade de intervalos a ser utilizado na análise, o que fez com que número de intervalos fosse menor se comparado ao número de intervalos utilizado pelo estimador de Kaplan-Meier.

Com isso concluí-se que a tabela de vida é sensível à quantidade de intervalos utilizados, e por isso não se deve escolher a quantidade de intervalos aleatoriamente.

Os dados analisados refletem a quantidade de peças que retornaram para a análise de garantia no período de 1 ano.

A empresa que fabrica o retentor em questão apresenta como meta a confiabilidade de 99,99%. Essa confiabilidade foi selecionada de acordo com histórico de dados de outros itens ao longo dos anos, mas para alguns produtos específicos, o cliente pode solicitar a confiabilidade que deseja em seu item.

5.3. APLICAÇÃO DA METODOLOGIA DE ENGENHARIA DO VALOR PARA O ITEM X.

Esse tópico se refere ao Passo 3 apresentado no método de trabalho.

Para a análise de qual característica da peça que deveria ser melhorada, selecionou-se o item que originou a maior quantidade de peças retornadas.

Para a análise desejada no trabalho exposto, a equipe é composta por membros da indústria de autopeças conforme discriminado abaixo:

- Engenheiro de desenvolvimento de produtos com mais de 30 anos de experiência
- Coordenador de projetos de moldes de injeção de borracha com mais de 20 anos de experiência
- Engenheira de desenvolvimento de produtos e qualidade com 7 anos de experiência e com treinamento na técnica de análise do valor, que terá a função de líder no grupo
- Engenheiro de qualidade no desenvolvimento de produtos com 5 anos de experiência

- Laboratorista responsável pelo dimensionamento de produtos novos com 15 anos de experiência
- Laboratorista responsável pela análise de peças de garantia com 20 anos de experiência.

Descartaram-se as 76 peças que retornaram por montagem inadequada na aplicação, pois esse tipo de característica está diretamente relacionada com o fator humano na montagem do retentor na aplicação. Por motivos óbvios, descartaram-se também as 57 peças danificadas na desmontagem.

Descartaram-se as 27 peças com impurezas na área de vedação, pois essa característica não demonstra falha por vazamento, de acordo com a sistemática de análise das peças de garantia utilizada pela empresa essas peças são trocadas pois demonstram que em um futuro essas impurezas irão gerar desgaste acentuado devido ao atrito das mesmas com a borracha de vedação, fazendo com que se caracterize o vazamento.

Na seqüência descartaram-se, por motivos óbvios, as 27 peças que não apresentaram problemas que justificasse o vazamento.

E finalmente descartaram-se as 12 peças com deformações e riscos na vedação, devido ao fato de essas características estarem vinculadas ao dispositivo de montagem utilizado, assim como as condições de limpeza e isenção de danificações.

Chegando-se assim na característica que se deve melhorar, ou seja, o sexto maior índice de retorno, as 8 peças com desgaste acentuado.

O desgaste acentuado observado nas peças de garantia está relacionado ao atrito de contaminantes externos com a borracha do vedador, e é caracterizado como indicado na Figura 28. Portanto se deve estudar como melhorar a característica de proteção contra contaminantes externos.

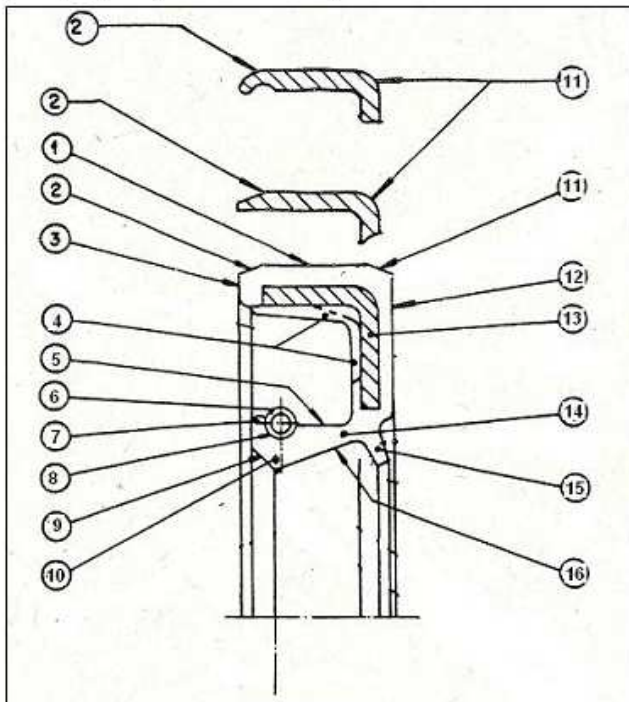
Na seqüência aplicou-se a técnica de engenharia do valor, a fim de se determinar quais as funções do retentor que estão relacionadas com a característica de proteção contra contaminantes externos em um retentor.

A seqüência abaixo mostra o estudo realizado, o qual é iniciado pela construção da Tabela 8 onde se observa o produto retentor, seus componentes e funções.

Tabela 8: Tabela com relação de componentes do retentor e suas funções

1- Relação dos componentes e funções

Parte	Nome	Função
1	Superfície externa	vedar estaticamente
		garantir montagem
		fixar peça
		expulsar peça
		dificultar montagem
2	Chanfro anterior	auxiliar montagem
3	Face anterior	finalizar curso de montagem
		proteger perfil (empilhamento)
4	Ranhas	fixar carcaça (fabricação)
5	Superfície interna do labio	estabilizar perfil
		absorver excentricidade
6	Mola	garantir força radial
		garantir vedação
7	Garra da mola	segurar mola
8	Alojamento da mola	segurar mola
		posicionar mola
9	Superfície anterior do labio de vedação principal (ângulo óleo)	estabilizar perfil
		auxiliar vedação
10	Lábio de vedação principal	vedar dinamicamente
		evitar vazamento
11	Chanfro posterior	auxiliar montagem
12	Face posterior	identificar peça
		unir extremidades
		auxiliar montagem
13	Carcaça (reforço estrutural)	reforçar selo
		promover adesão (borracha)
14	Região de flexão do labio	estabilizar perfil
		absorver excentricidade
15	Lábio de vedação auxiliar	vedar contaminação externa
16	Superfície posterior do labio de vedação principal	estabilizar perfil
		evitar vazamento



Como seqüência de estudo, tal como apresentado no Capítulo 2, Item 2.4, foi elaborada a Tabela 9 que apresenta apenas as funções dos componentes. Essa tabela foi elaborada para que se possa classificar estas funções.

Tabela 9 : Funções dos componentes

Função
vedar estaticamente
fixar peça
expulsar peça
auxiliar montagem
finalizar curso de montagem
proteger perfil (empilhamento)
fixar carcaça (fabricação)
estabilizar perfil
absorver excentricidade
garantir força radial
garantir vedação
segurar mola
posicionar mola
auxiliar vedação
vedar dinamicamente
evitar vazamento
identificar peça
unir extremidades
reforçar selo
promover adesão (borracha)
vedar contaminação externa

Na Tabela 10, pode-se observar a classificação das funções apresentadas na Tabela 8 conforme o critério sugerido por Cisltag (1991):

- Identificadora (I) / Agregada (A)
- Relevante (R) / Irrelevante (IR) / Indesejável (IN)
- Uso (U) / Estima (E)

Tabela 10 : Tabela com classificação das funções

Classificação			
I / A	R / I / IN	U / E	Funções
I	R	U	vedar estaticamente
A	R	U	fixar peça
A	IN	U	expulsar peça
A	IN	E	dificultar montagem
A	I	E	auxiliar montagem
A	IR	E	finalizar curso de montagem
A	IR	E	proteger perfil (empilhamento)
A	IR	U	fixar carcaça (fabricação)
A	R	U	estabilizar perfil
A	R	U	absorver excentricidade
A	R	U	garantir força radial
A	R	U	garantir vedação
A	R	U	segurar mola
A	R	U	posicionar mola
A	R	U	auxiliar vedação
I	R	U	vedar dinamicamente
A	IN	U	evitar vazamento
A	IR	E	identificar peça
A	R	E	unir extremidades
A	R	U	reforçar selo
A	R	U	promover adesão (borracha)
A	R	E	variar custo
A	R	U	vedar contaminação externa

Para o estudo em questão, não foi realizada a valoração das funções, pois de acordo com o método proposto no Capítulo 4, o objetivo da utilização desta ferramenta é de investigar e selecionar um ou mais componentes para ser objeto de modificação de acordo com a melhoria da função desejada.

Com o exposto pode-se observar que a característica a ser modificada será a vedação auxiliar, sendo esse o único elemento responsável pela função vedação contaminação externa.

Conclui-se que a metodologia atingiu o objetivo esperado, auxiliando a selecionar qual componente deverá ser modificado para conseguir que o item tenha um desempenho maior na função selecionada.

5.4. SELEÇÃO E ESTUDO DOS ITENS / COMPONENTES A SEREM MELHORADOS NO ITEM X

Esse tópico se refere ao Passo 4 apresentado no método de trabalho.

Com base no estudo de engenharia do valor, pode-se observar que a característica a ser melhorada no retentor esta relacionada à vedação auxiliar. Com isso sugere-se um aumento da interferência da vedação auxiliar da peça em estudo com o eixo da aplicação.

Esse aumento de interferência será realizado de maneira a garantir que na pior condição de montagem, onde pode-se observar a maior excentricidade entre eixo e sede, todo o perímetro da vedação auxiliar tenha contato com o eixo

Na Figura 29, pode-se observar, dentro do círculo, o detalhe da alteração proposta.

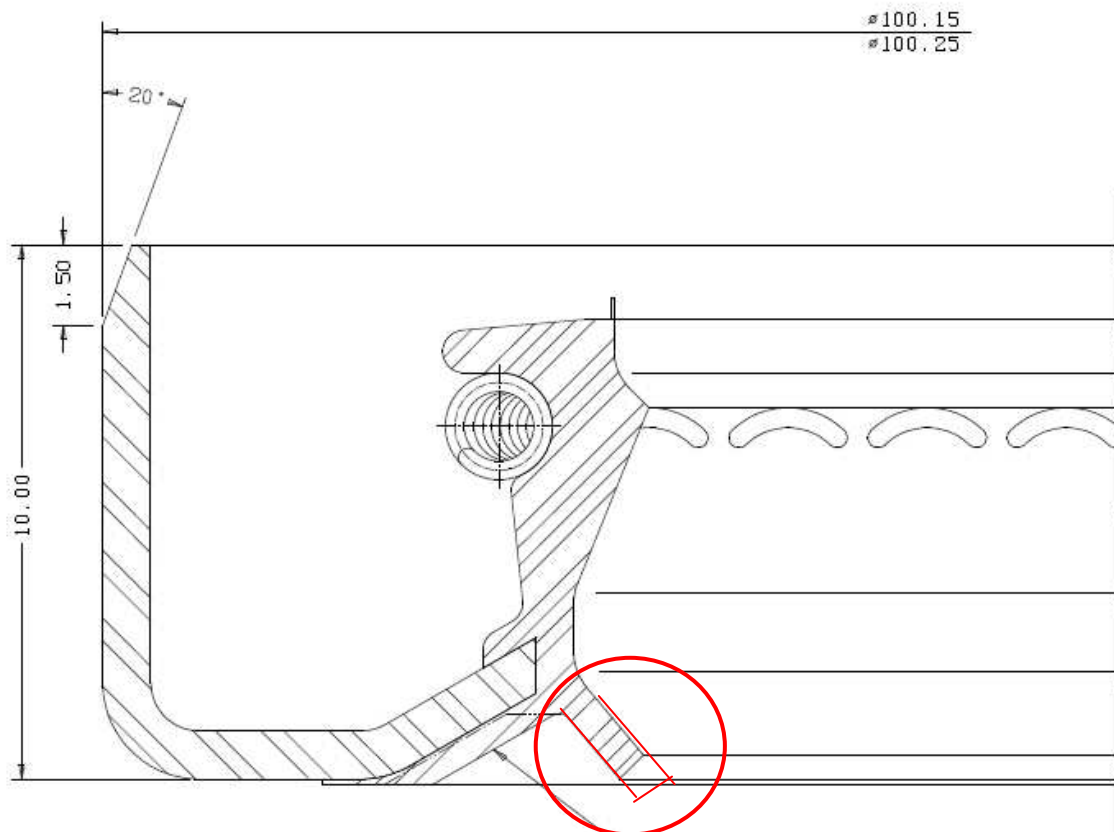


Figura 29 – Detalhe da alteração proposta

5.5. EXECUÇÃO DE ENSAIOS DE VIDA ACELERADO NO PRODUTO ATUAL.

Esse tópico se refere ao Passo 5 apresentado no método de trabalho.

Na Figura 30 pode-se observar uma foto da máquina de teste utilizada.

Esse tipo de equipamento está de acordo com a norma NBR12906/19893. Entre outras características exigidas na norma, permite o controle de rotação do eixo, assim como o sentido de rotação. Permite também o controle de temperatura do fluido a ser vedado, regulagem das excentricidades do eixo e do alojamento, assim como pressão do fluido ou do depósito do fluido.



Figura 30 – Foto da maquina de teste utilizada

Na Figura 31 pode-se observar o dispositivo utilizado para simular a condição de contaminação externa no retentor.

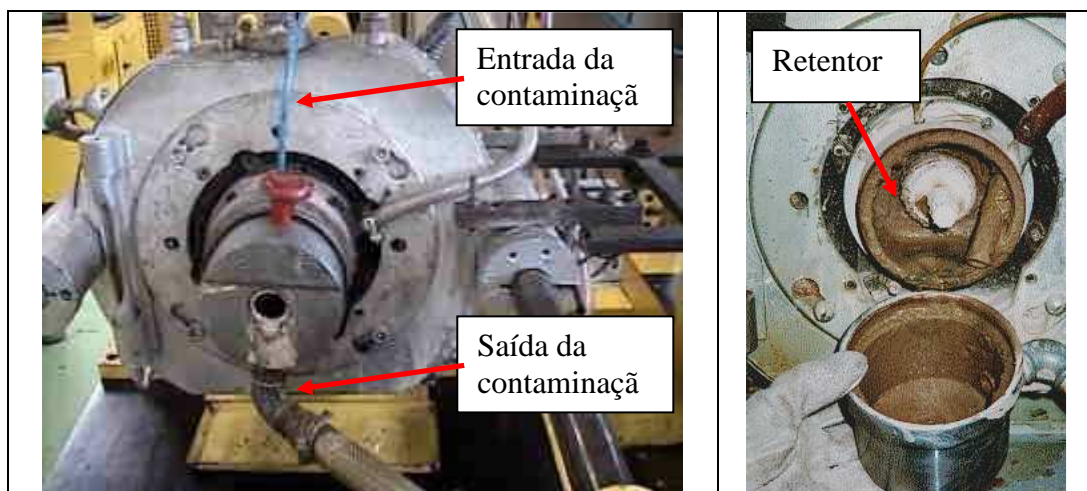


Figura 31 – Foto do dispositivo de simulação de contaminação externa

Essa simulação foi realizada utilizando o bombeamento de lama contra o retentor. A composição da lama foi de 1 parte ISO 12103-1 A2 pó fino para 10 partes de água potável em peso.

5.5.1. Condições de teste para ensaio de contaminação externa na peça corrente

Para a execução dos testes foi utilizado o óleo SPIRAX 90 HD, no nível de linha de centro da peça, conforme ilustrado na Figura 32. Essa condição foi utilizada pois simula a condição da peça em uso real, onde o óleo exerce a função de lubrificação e refrigeração do sistema de troca de marchas, funções essas de vital importância para o funcionamento e durabilidade do sistema.



Figura 32 – Foto exemplificando condição de nível de centro do óleo

Durante a execução do teste foi utilizado o ciclo com variação de tempo, temperatura e rotação constante na Tabela 11.

O ciclo foi montado de acordo com a norma DIN3761 parte 10 onde se solicita:

14 horas em temperatura de exigência e número de rotações máximo

6 horas em temperatura e número de rotações máximo

4 horas em imobilização com resfriamento para a temperatura ambiente de 15°C até 35°C conforme norma DIN 50014

Tabela 11: Ciclo de solicitação utilizada no teste

Tempo	Temperatura	Rotação
14 horas	80 °C	2200 RPM
6 horas	110 °C	2200 RPM
4 horas	25 °C	0 RPM

O ciclo citado na tabela foi realizado até se observar a falha do retentor, ou seja, o vazamento do mesmo caracterizado pela passagem do óleo para a lama ou de lama para o óleo.

A peça a ser testada foi montada com excentricidade de 0,25 mm em relação ao eixo, e de 0,1 mm em relação ao alojamento, condições essas máximas permitidas na aplicação da peça.

5.5.2. Resultados no teste de lama com a peça corrente

Na Tabela 12 observam-se os resultados dos testes

Tabela 12: Tabela com resultados obtidos em teste de lama da peça corrente

Teste #	Início	Término	Duração
1	04/ago/08	05/ago/08	24 hrs
2	06/ago/08	07/ago/08	12 hrs
3	11/ago/08	12/ago/08	15 hrs
4	12/ago/08	13/ago/08	17 hrs
5	18/ago/08	19/ago/08	26 hrs
6	20/ago/08	22/ago/08	32 hrs

Para a aquisição de dado de durabilidade procedeu-se da seguinte maneira:

- Montagem do teste;
- Marcação de hora de início do ciclo;
- Realizar leitura de vazamento a cada 12 horas a partir da hora marcada de início de ciclo.

Com isso têm-se dados agrupados em intervalos de 12 horas, não sendo possível identificar o instante exato da falha.

5.5.3. Análise das peças corrente testadas em lama

Pode-se observar que todas as peças apresentaram o mesmo modo de falha que as peças analisadas de retorno em garantia, ou seja, vazamento devido ao desgaste excessivo da vedação principal pela interação com contaminantes externos em excesso.

Nas fotos constantes das Figuras 33 a 38 pode-se verificar as condições da vedação principal após o teste, assim como o desgaste na mesma. Pode-se também observar a condição da vedação antes do teste, para que se possa ter visão comparativa da condição de desgaste excessivo observado.

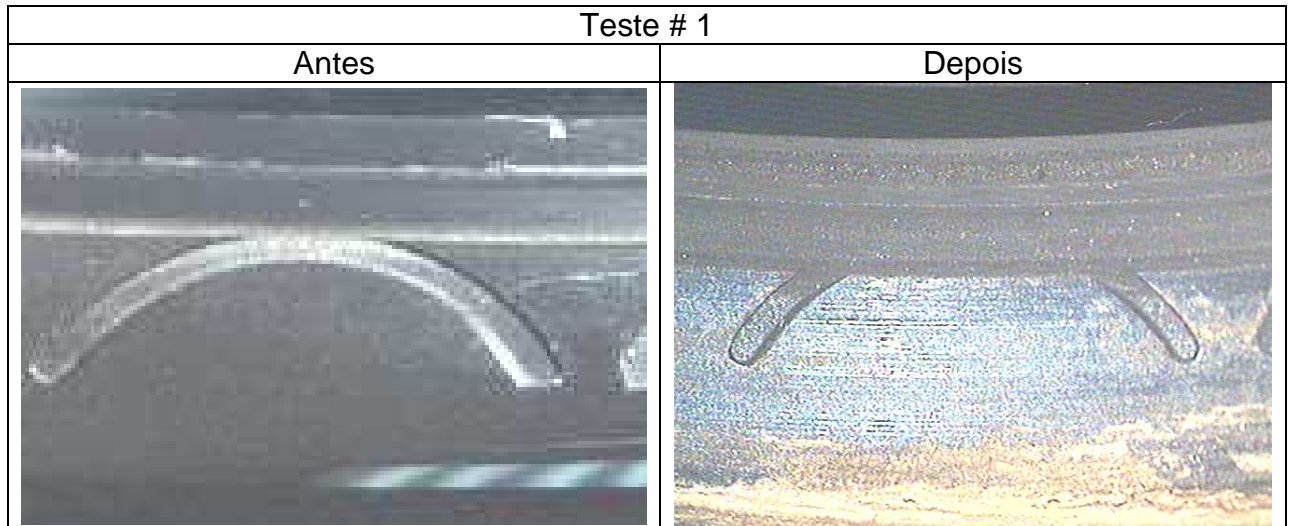


Figura 33 – Detalhe do comparativo em desgaste na região dos ribs na peça do teste # 1

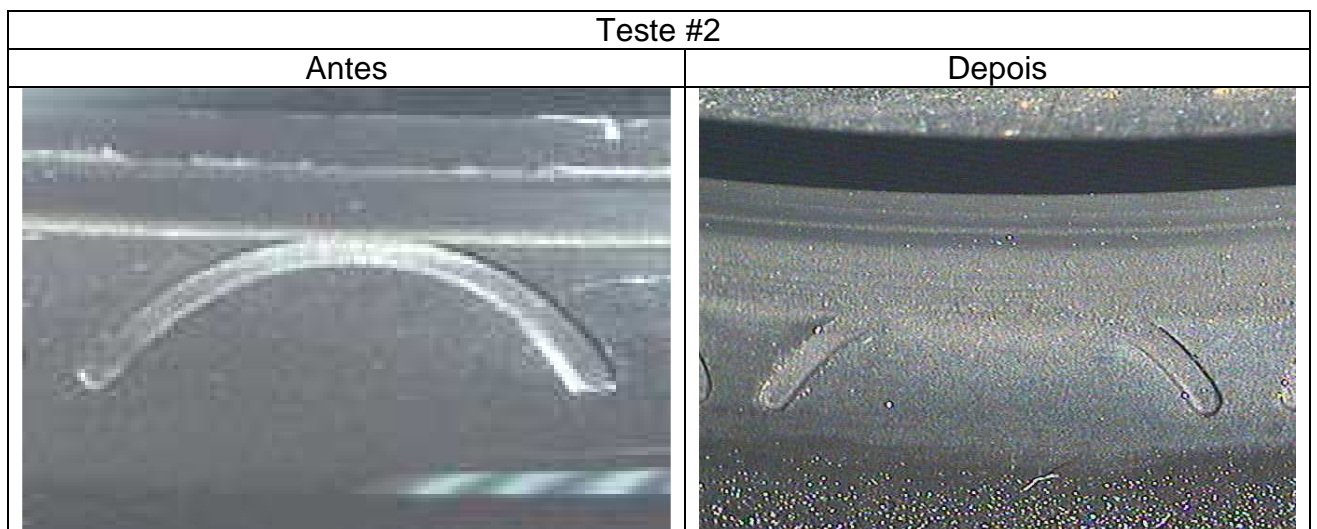


Figura 34 – Detalhe do comparativo em desgaste na região dos ribs na peça do teste # 2

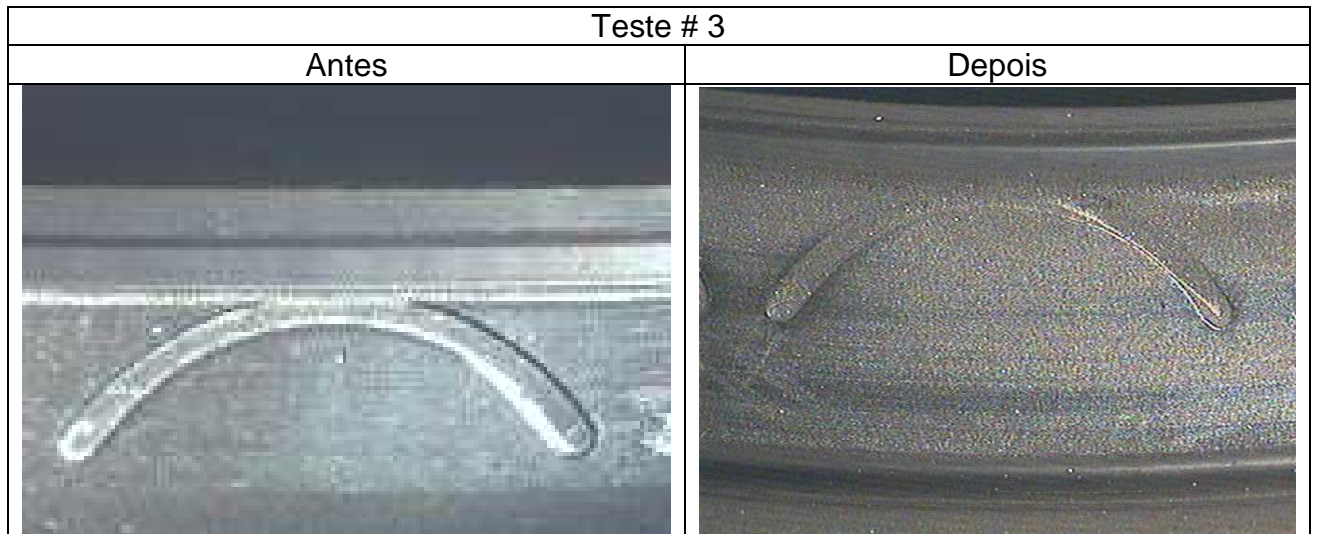


Figura 35 – Detalhe do comparativo em desgaste na região dos ribs na peça do teste # 3

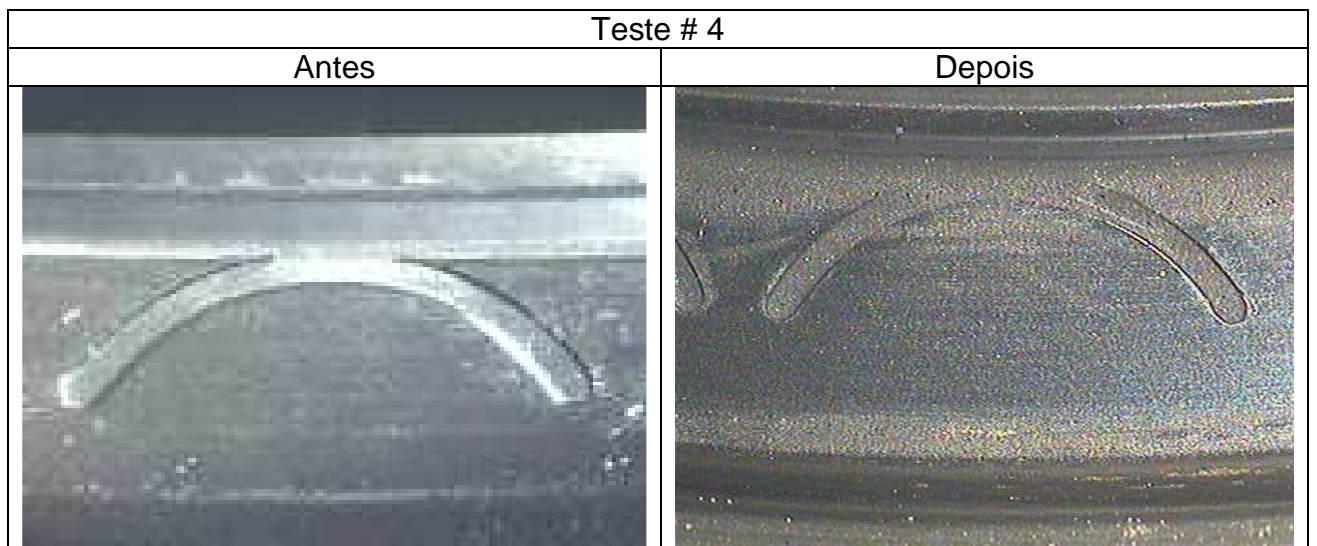


Figura 36 – Detalhe do comparativo em desgaste na região dos ribs na peça do teste # 4

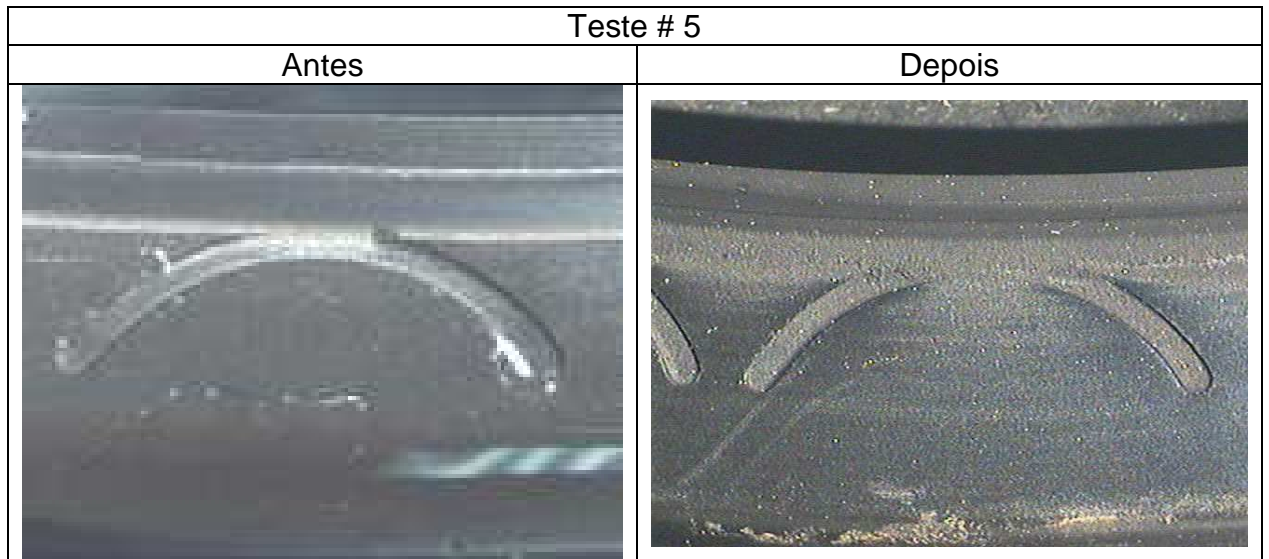


Figura 37 – Detalhe do comparativo em desgaste na região dos ribs na peça do teste # 5



Figura 38 – Detalhe do comparativo em desgaste na região dos ribs na peça do teste # 6

5.5.4. Execução de ensaios de vida acelerado na peça corrente - Teste de durabilidade acelerado

Para a realização do teste de durabilidade acelerado foi utilizada a mesma máquina utilizada para a realização do teste de lama, conforme Figura 30. Excetuando-se pela utilização do dispositivo de simulação de contaminação externa que não se faz necessário nesse tipo de teste,

5.5.5. Condições de teste para ensaio de durabilidade acelerado para peça corrente

Para a execução dos testes foi utilizado o óleo SPIRAX 90 HD, no nível de linha de centro da peça, mesma condição utilizada no teste de contaminação externa, conforme Figura 32.

Durante a execução do teste foi utilizado o ciclo da Tabela 13 abaixo.

O ciclo foi montado de acordo com a norma DIN3761 parte 10 onde se solicita:

14 horas em temperatura de exigência e número de rotações máximo

6 horas em temperatura e número de rotações máximo

4 horas em imobilização com resfriamento para a temperatura ambiente de 15°C até 35°C conforme norma DIN 50014

Tabela 13: Tabela com ciclagem utilizada nos testes de durabilidade acelerada

Tempo	Temperatura	Rotação
14 horas	80 °C	2200 RPM
6 horas	110 °C	2200 RPM
4 horas	25 °C	0 RPM

O ciclo citado na tabela foi realizado até observar a falha do retentor, ou seja o vazamento do mesmo caracterizado pela passagem do óleo para a lama ou de lama para o óleo.

A peça a ser testada foi montada com excentricidade de 0,25 mm em relação ao eixo, e de 0,1 mm em relação ao alojamento, condições essas máximas permitidas na aplicação da peça.

5.5.6. Resultados no teste de durabilidade acelerado com a peça corrente

Na Tabela 14 abaixo podemos observar os resultados dos testes

Tabela 14: Tabela com resultados da peça corrente em teste de durabilidade acelerada

Teste #	Início	Término	Duração
7	6/out/08	8/out/08	62 hrs.
8	9/out/08	13/out/08	98 hrs.
9	14/out/08	19/out/08	112 hrs.
10	20/out/08	27/out/08	160 hrs.
11	28/out/08	3/nov/08	156 hrs.
12	4/nov/08	12/nov/08	184 hrs.

5.5.7. Análise das peças corrente testadas em durabilidade acelerada

Nas fotos abaixo pode-se verificar as condições da vedação principal após o teste, assim como o desgaste na mesma

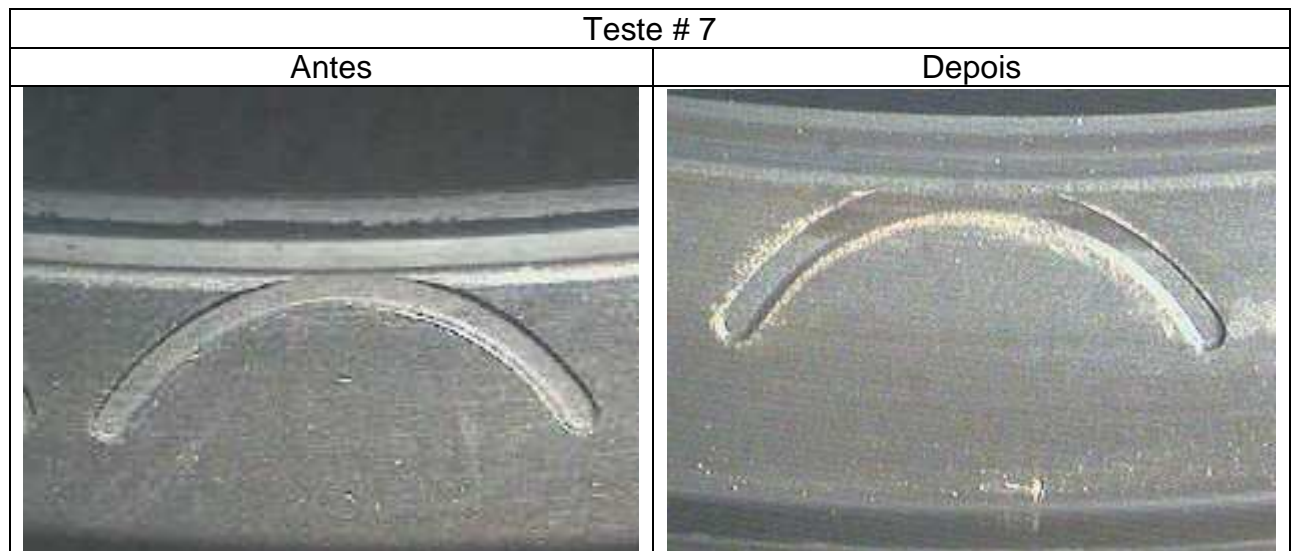


Figura 39 – Detalhe do comparativo em desgaste na região dos ribs na peça do teste # 7

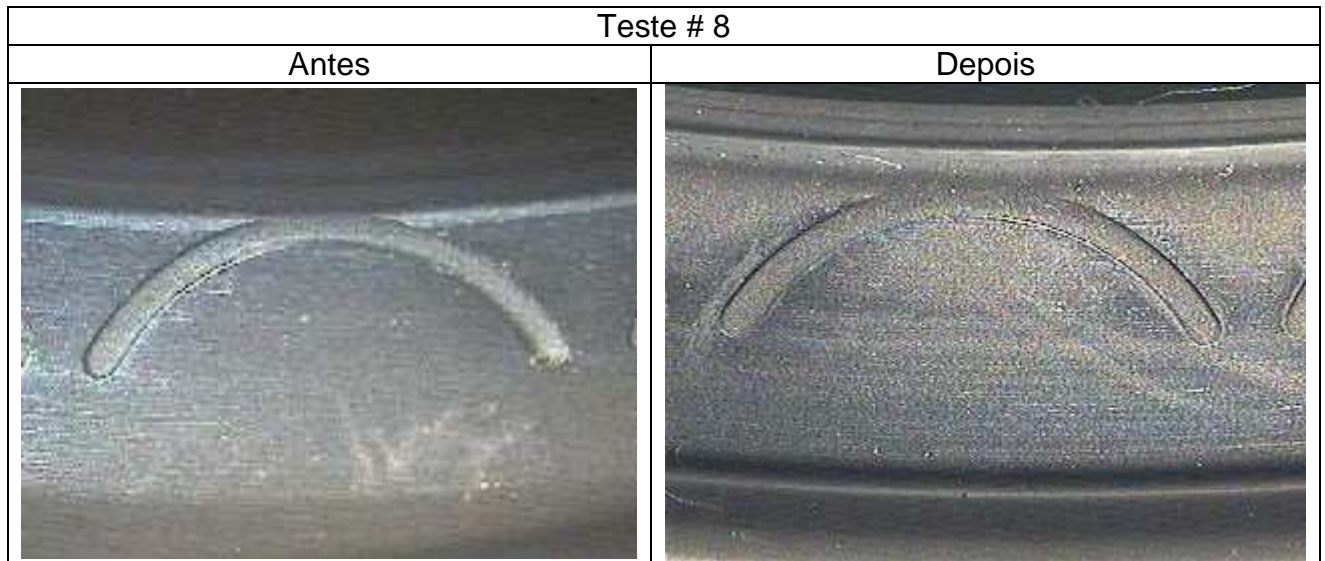


Figura 40 – Detalhe do comparativo em desgaste na região dos ribs na peça do teste # 8

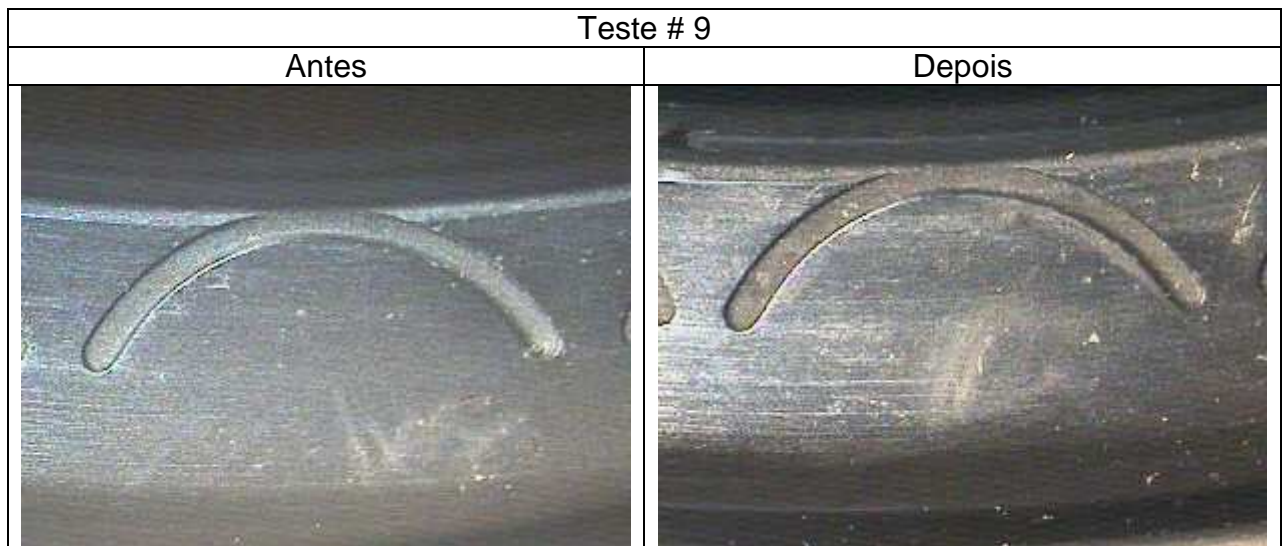


Figura 41 – Detalhe do comparativo em desgaste na região dos ribs na peça do teste # 9

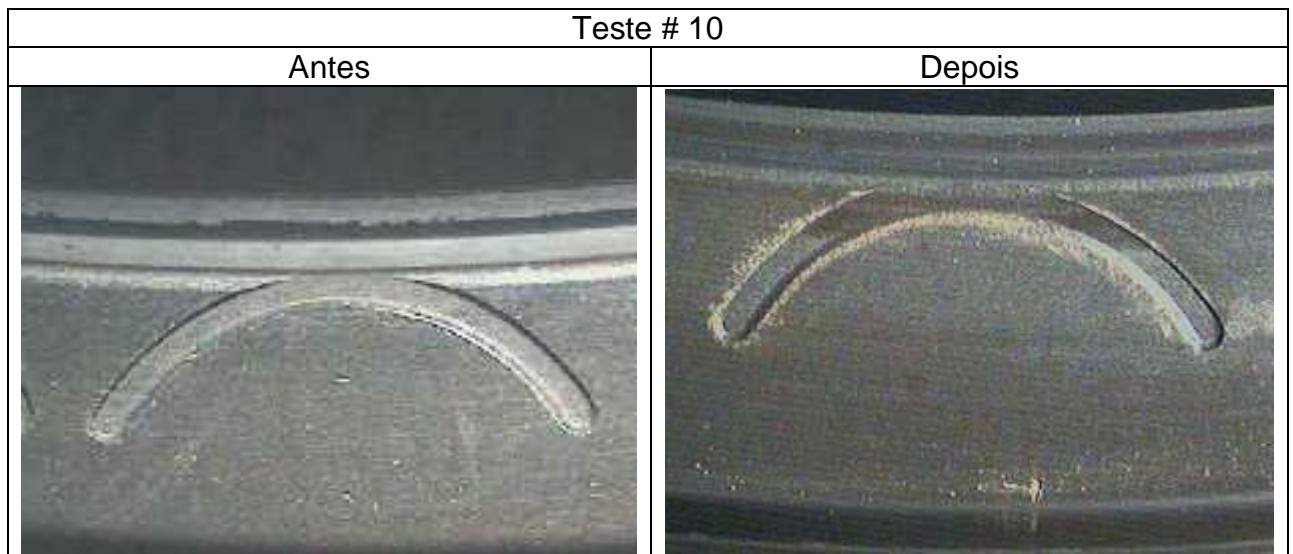


Figura 42 – Detalhe do comparativo em desgaste na região dos ribs na peça do teste # 10

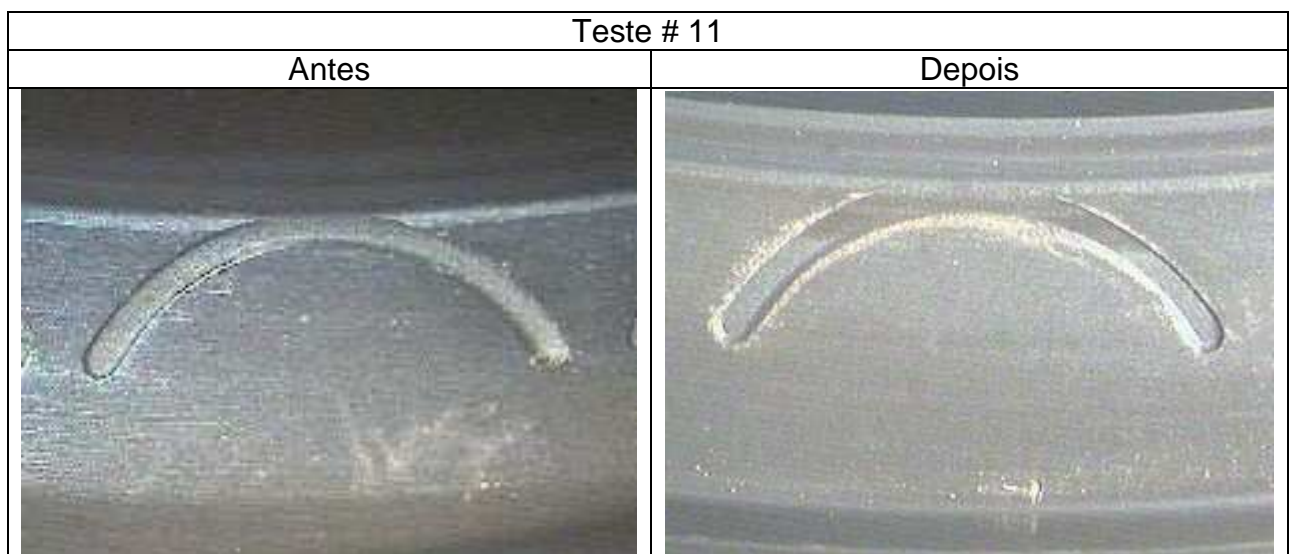


Figura 43 – Detalhe do comparativo em desgaste na região dos ribs na peça do teste # 11

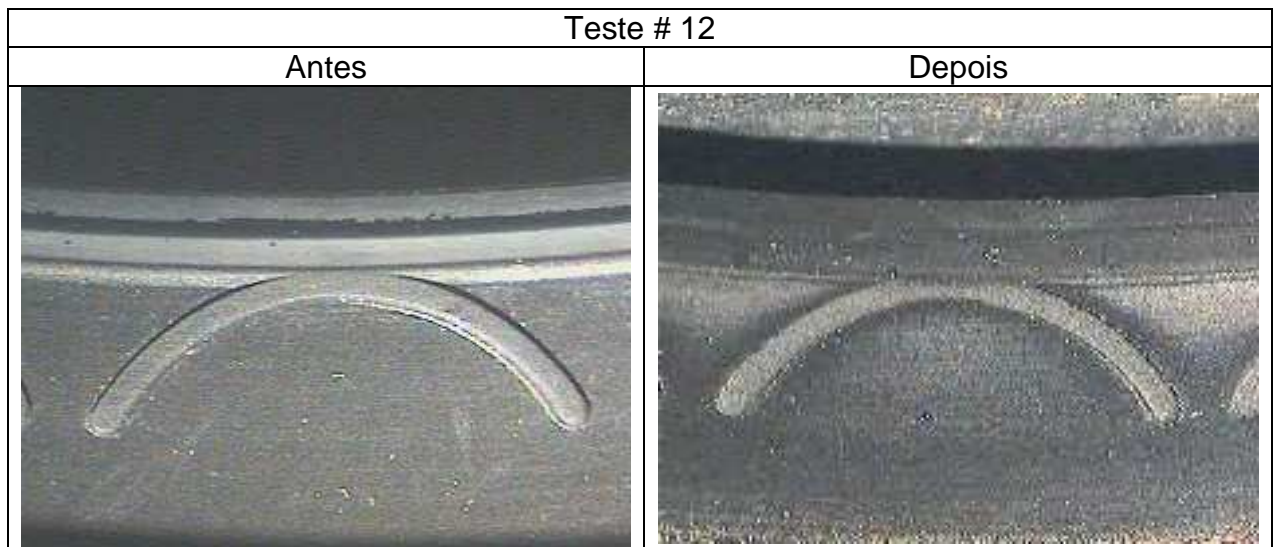


Figura 44 – Detalhe do comparativo em desgaste na região dos ribs na peça do teste # 12

5.6. EXECUÇÃO DE ENSAIOS DE VIDA ACELERADO NO PRODUTO MELHORADO.

Esse tópico se refere ao Passo 6 apresentado no método de trabalho.

Os ensaios realizados, assim como os equipamentos utilizados e métodos de aceleração, verificação e análise de falha são mesmos realizados no produto atual e mostrados no item 5.5.

5.6.1. Condições de teste para ensaio de contaminação externa no produto alterado

Para a execução dos testes de contaminação externa no produto alterado foram utilizadas as mesmas condições de teste utilizada na execução dos ensaios de contaminação acelerada na peça corrente, essas condições podem ser observadas no item 5.5.1.

5.6.2. Resultados no teste de lama com a peça alterada

Na Tabela 15 observa-se os resultados dos testes.

Tabela 15: tabela com resultados obtidos em teste de lama da peça alterada

Teste #	Início	Término	Duração
13	10/ago/09	12/ago/09	42 hrs
14	17/ago/09	19/ago/09	51 hrs
15	24/ago/09	27/ago/09	39 hrs
16	31/ago/09	02/set/09	48 hrs
17	08/set/09	10/set/09	45 hrs
18	14/set/09	16/set/09	53 hrs

Para a aquisição de dado de duração procedeu-se da mesma maneira que a utilizada no teste de lama com a peça corrente (item 5.5.1). Logo, também observam-se dados agrupados em intervalos de 12 horas, não sendo possível identificar o instante exato da falha.

5.6.3. Análise das peças alteradas testadas em lama

Pode-se observar que todas as peças apresentaram o mesmo modo de falha que as peças analisadas no retorno em garantia e que as peças correntes submetidas a ensaio de contaminação externa, ou seja, vazamento devido ao desgaste excessivo da vedação principal pela interação com contaminantes externos em excesso.

Nas fotos constantes das Figuras 44 a 49 pode-se verificar as condições da vedação principal após o teste, assim como o desgaste na mesma. Pode-se também observar a condição da vedação antes do teste, para que se possa ter visão comparativa da condição de desgaste excessivo observado.



Figura 45 – Detalhe do comparativo em desgaste na região dos ribs na peça do teste # 13

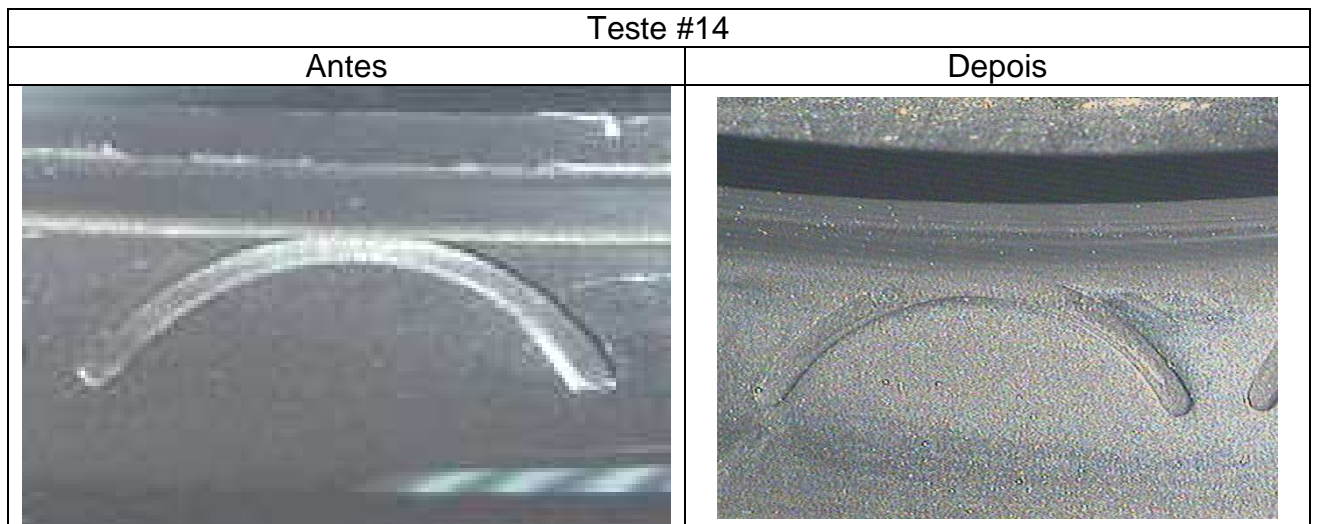


Figura 46 – Detalhe do comparativo em desgaste na região dos ribs na peça do teste # 14

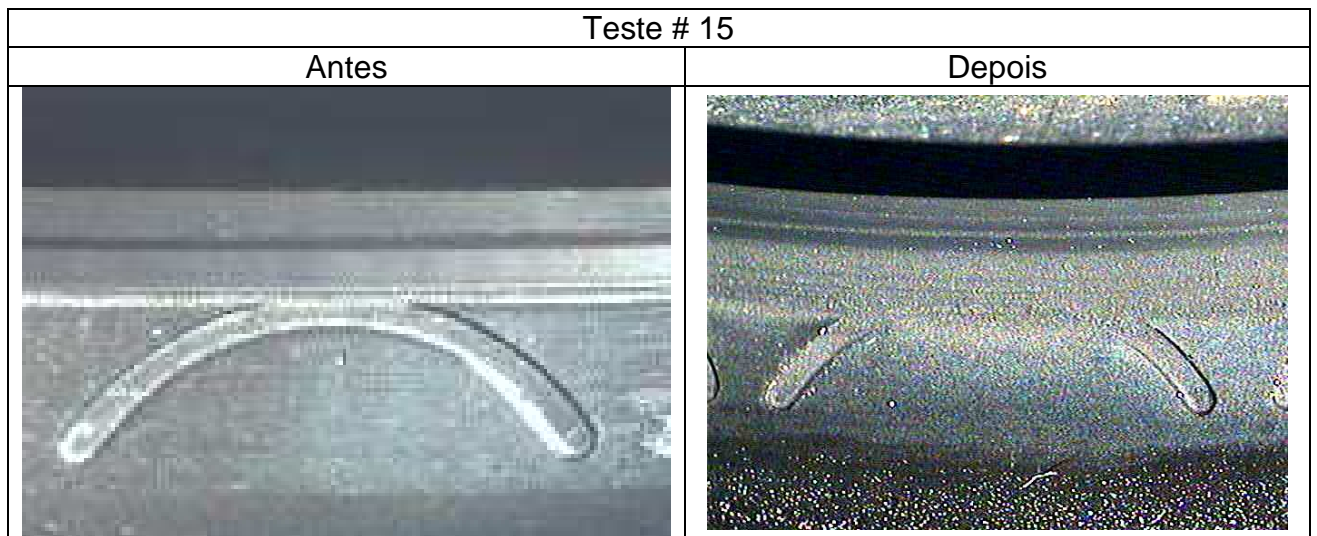


Figura 47 – Detalhe do comparativo em desgaste na região dos ribs na peça do teste # 15

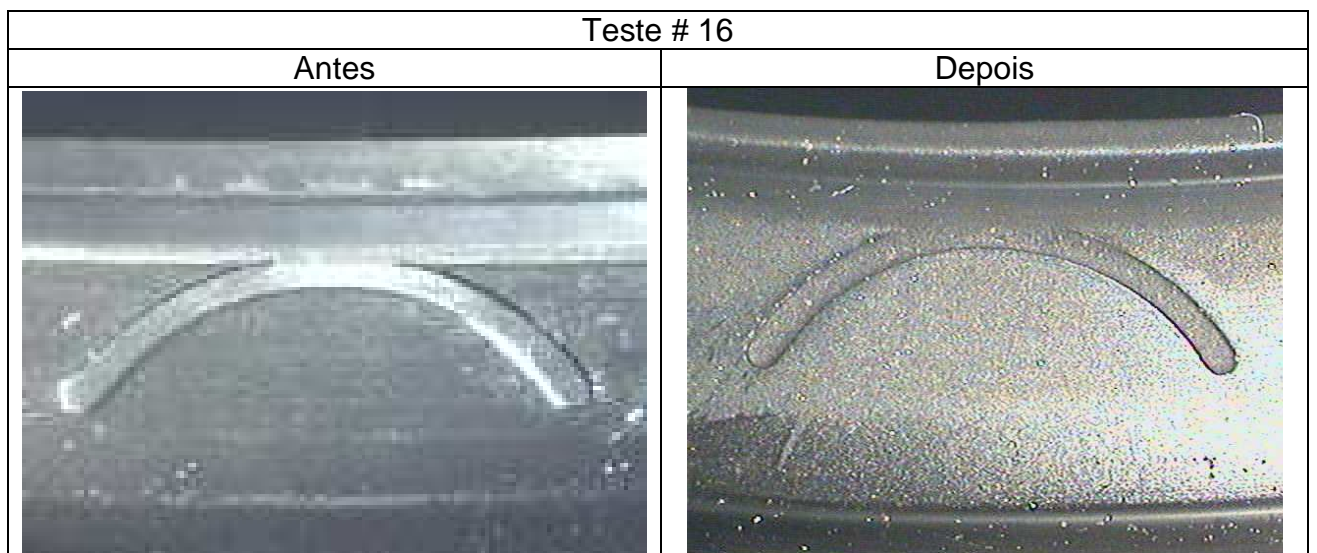


Figura 48 – Detalhe do comparativo em desgaste na região dos ribs na peça do teste # 16

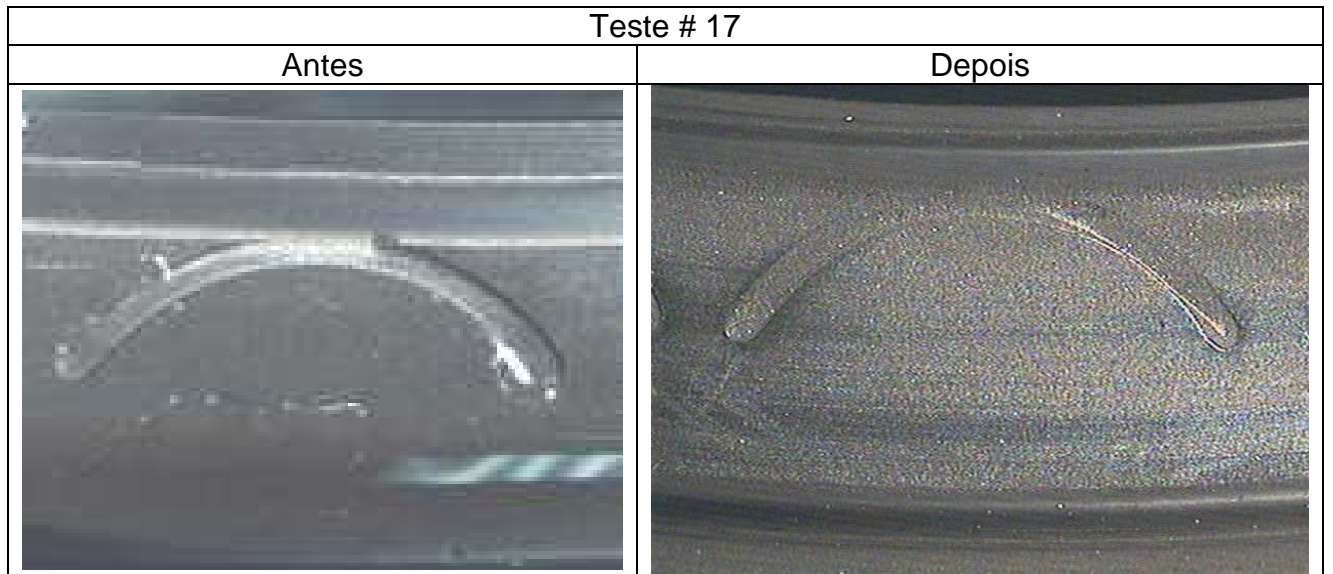


Figura 49 – Detalhe do comparativo em desgaste na região dos ribs na peça do teste # 17

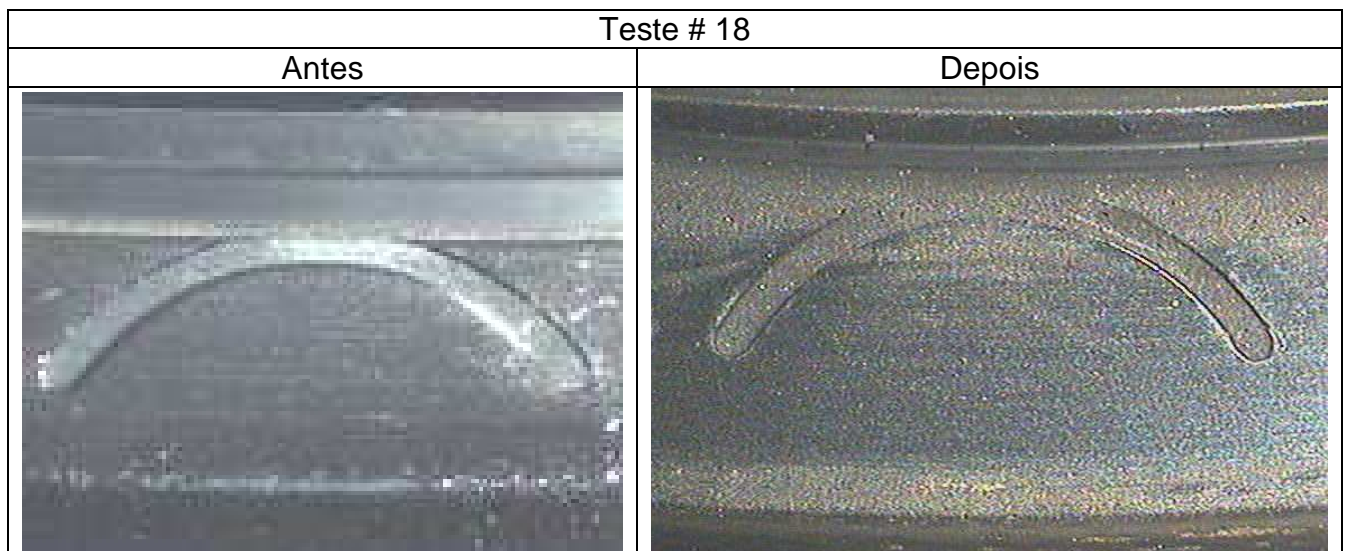


Figura 50 – Detalhe do comparativo em desgaste na região dos ribs na peça do teste # 18

5.6.4. Execução de ensaios de vida acelerado no produto alterado - Teste de durabilidade acelerado

Para a realização do teste de durabilidade acelerado foi utilizada a mesma máquina utilizada para a realização do teste de lama, conforme Figura 29. Excetuando-se pela utilização do dispositivo de simulação de contaminação externa que não se faz necessário nesse tipo de teste, assim como foi realizado no ensaio de vida do produto atual (item 5.5.4)

5.6.5. Condições de teste para ensaio de durabilidade acelerado no produto alterado

Para a realização do teste de durabilidade acelerado foram utilizadas as mesmas condições de teste utilizada na execução dos ensaios de contaminação acelerada na peça corrente, essas condições podem ser observadas no item 5.5.5.

5.6.6. Resultados no teste de durabilidade acelerado com a peça alterada

Na Tabela 16 abaixo podemos observar os resultados dos testes

Tabela 16: Tabela com resultados da peça alterada em teste de durabilidade acelerada

Teste #	Início	Término	Duração
19	03/aug/09	12/aug/09	126 hrs.
20	06/aug/09	14/aug/09	110 hrs.
21	11/aug/09	21/aug/09	168 hrs.
22	17/aug/09	25/aug/09	115 hrs.
23	19/aug/09	02/set/09	179 hrs.
24	24/aug/09	03/set/09	158 hrs.

5.6.7. Análise das peças alteradas testadas em durabilidade acelerada

Nas fotos abaixo pode-se verificar as condições da vedação principal após o teste, assim como o desgaste na mesma.

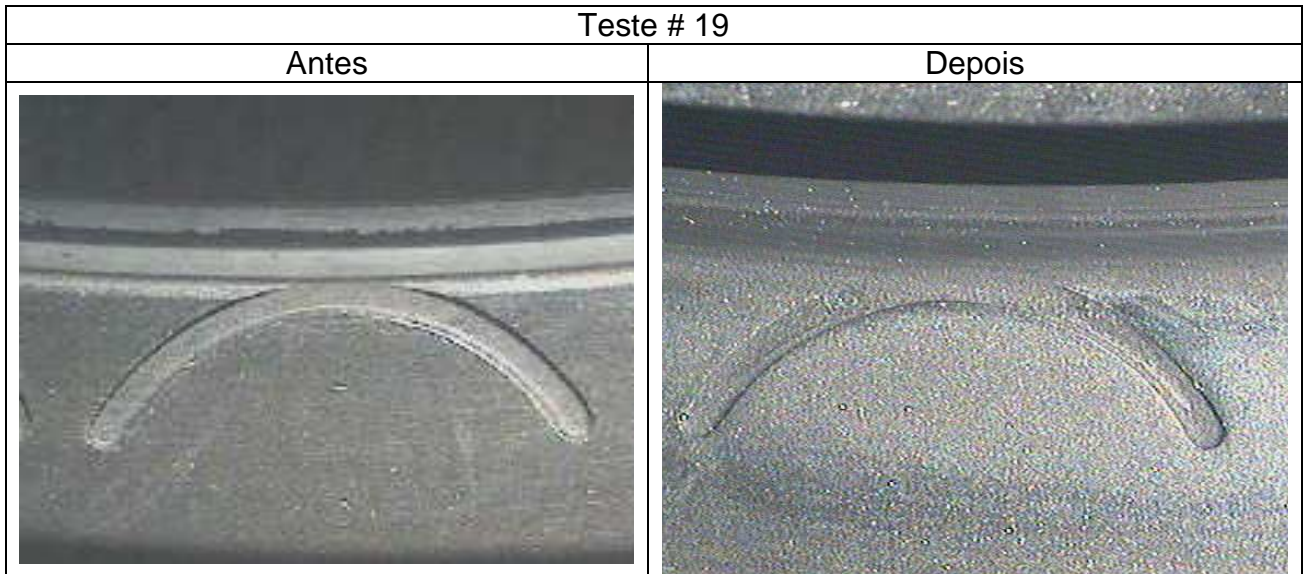


Figura 51 – Detalhe do comparativo em desgaste na região dos ribs na peça do teste # 19

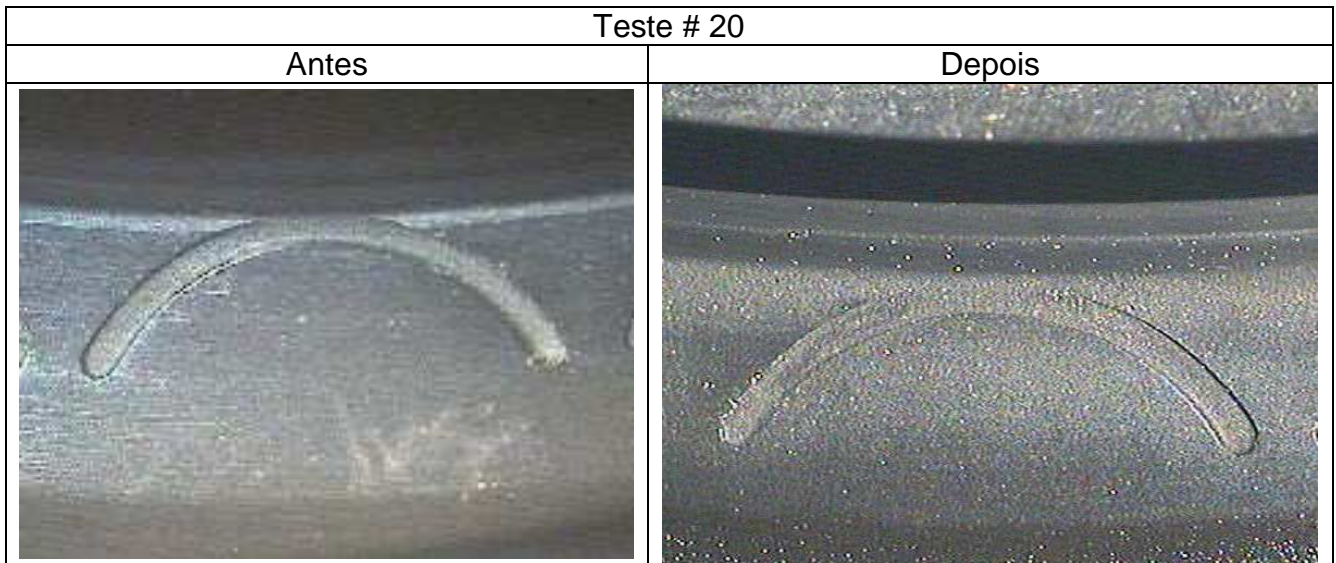


Figura 52 – Detalhe do comparativo em desgaste na região dos ribs na peça do teste # 20

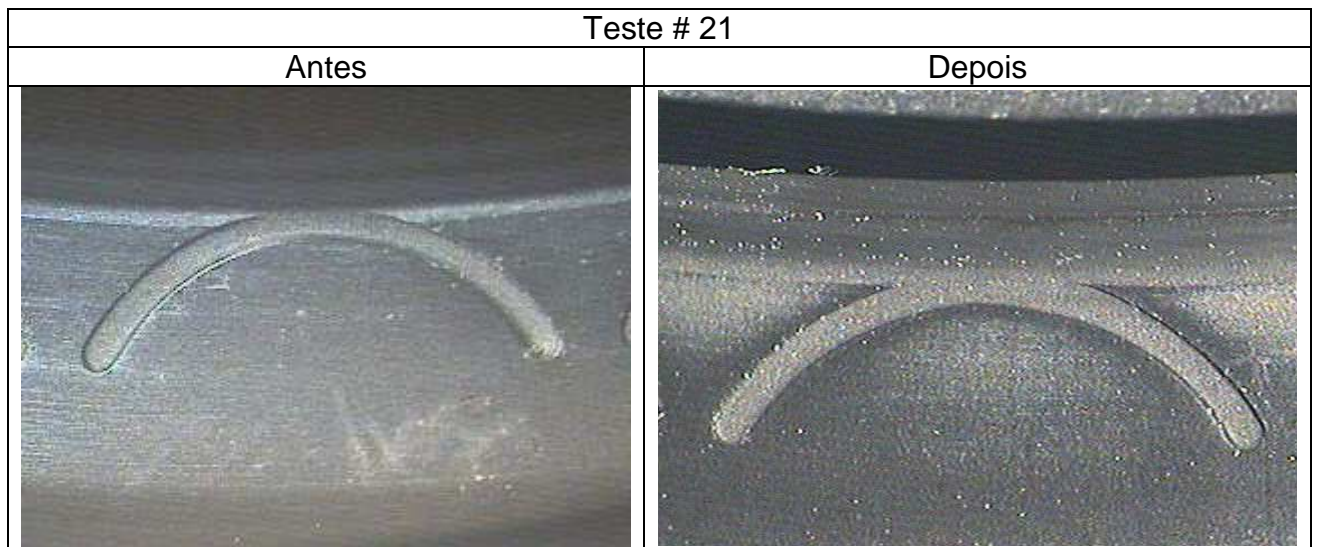


Figura 53 – Detalhe do comparativo em desgaste na região dos ribs na peça do teste # 21

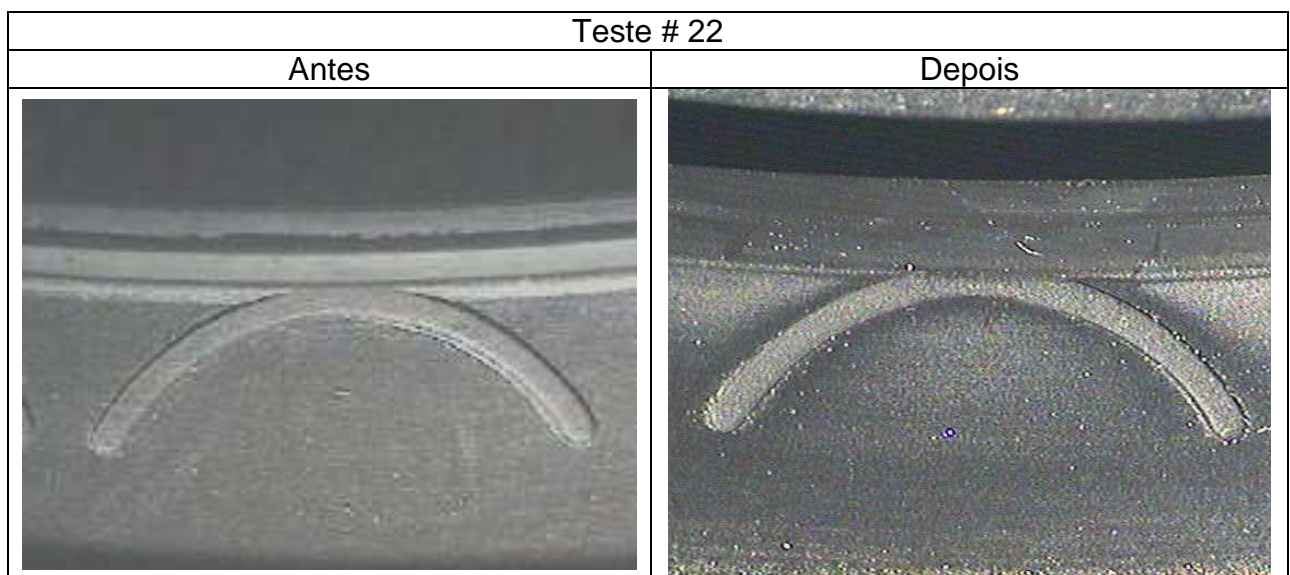


Figura 54 – Detalhe do comparativo em desgaste na região dos ribs na peça do teste # 22

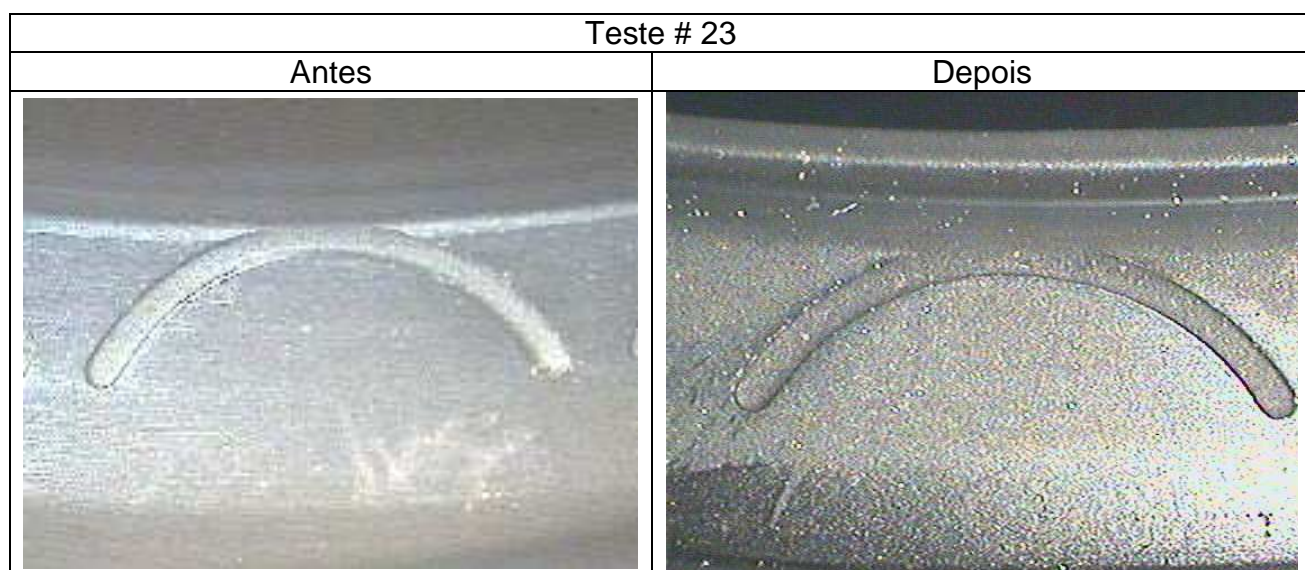


Figura 55 – Detalhe do comparativo em desgaste na região dos ribs na peça do teste # 23

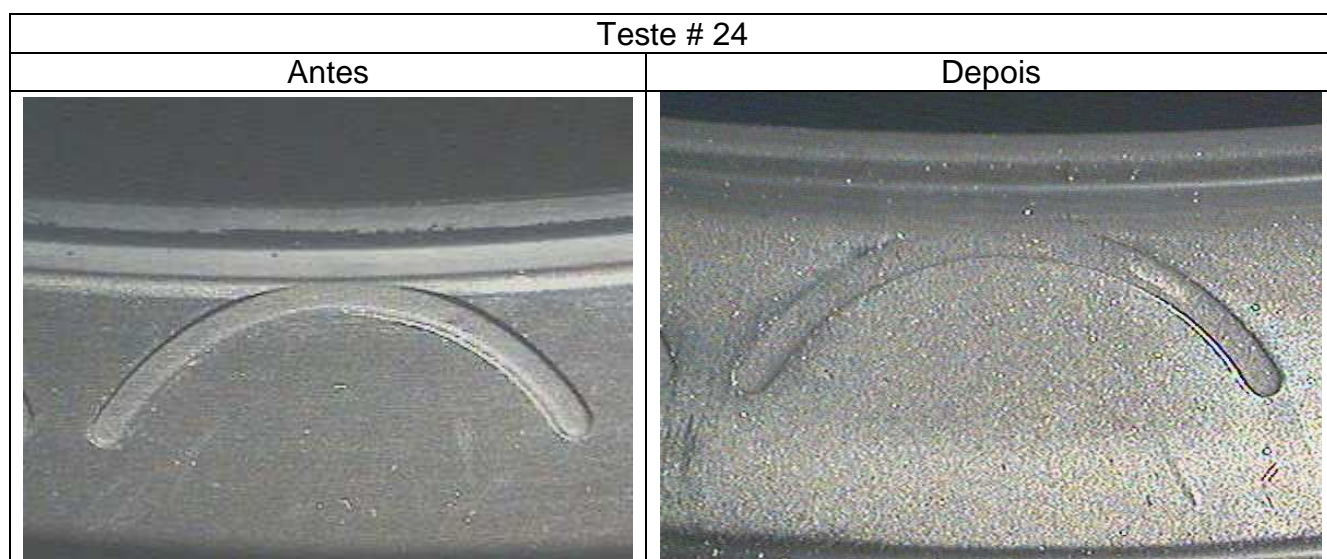


Figura 56 – Detalhe do comparativo em desgaste na região dos ribs na peça do teste # 24

5.7. ESTUDO DE CONFIABILIDADE

Esse tópico se refere ao Passo 7 apresentado no método de trabalho. Nele estar-se-á realizando análise de confiabilidade do produto atual através dos dados de garantia e relacionando o resultado com o estudo de confiabilidade realizado através dos testes de vida acelerado para a versão atual. Essa relação será realizada pela verificação do fator de aceleração.

Estar-se-á também realizando um estudo de confiabilidade dos testes de vida acelerado das peças com nova versão e, através da relação alcançada acima, buscar-se-á a confiabilidade em campo da nova versão.

Á comparação acima será realizada pela utilização do fator de aceleração encontrada na análise entre peças de garantia e testes de vida acelerado para a versão de produto atual.

Para a seleção da distribuição que melhor represente os dados originados, utilizar-se-á os softwares Weibull++7 e Alta 7 Pro, através da inserção dos dados em sua tabela de cálculo, são obtidos os gráficos da caracterização da curva confiabilidade, conforme observa-se nos itens abaixo.

5.7.1 Estudo de confiabilidade da peça atual através dos dados de garantia

A tabela de vida para os dados de garantia foi calculada e apresentada na Tabela 6. Para o estudo de confiabilidade da peça atual através dos dados de garantia, inseriu-se os dados de quilometragem em que os produtos falharam por desgaste acelerado no software Weibull++7.

Na Figura 57, pode-se observar a tela onde os valores são inseridos no software Weibull++7.

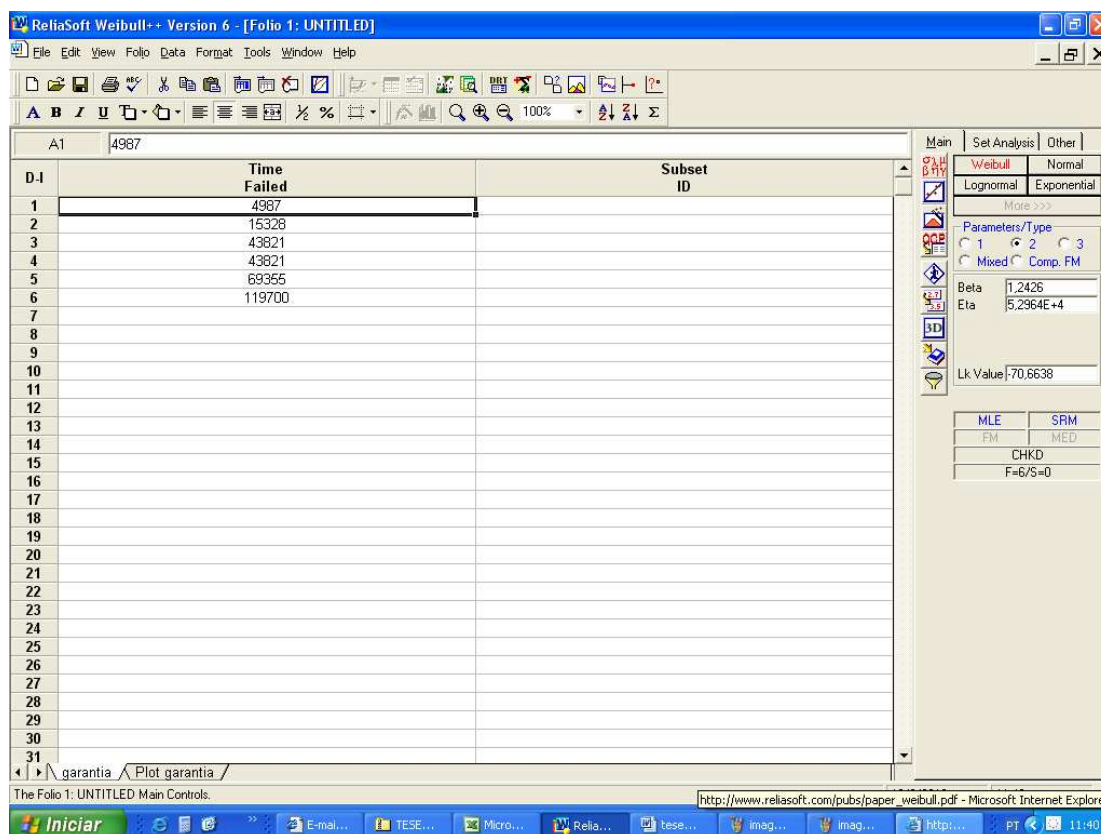


Figura 57 – Tabela de inserção de valores no software.

Na seqüência selecionou-se o método de análise dos dados, ou seja, para determinar os parâmetros de uma função de distribuição de probabilidade que modele o problema em análise. Como se verifica na Figura 58, foi selecionado o método da Máxima Verossimilhança, este método foi introduzido por R. A. Fisher (1912) e foi selecionado por ser baseado em determinar estimativas que tenham a maior eficiência incorporando as censuras, assim como selecionou-se o método de Kaplan-Meier para a ordenação das curvas calculadas, como verifica-se na Figura 58.



Figura 58 – Seleção de parâmetros para cálculo de confiabilidade.

Após realizados os cálculos para todas as curvas, realizou-se o teste de aderência e como verifica-se na Figura 59, a curva que mais se adequou aos dados de garantia foi a Weibull com dois ou três parâmetros.

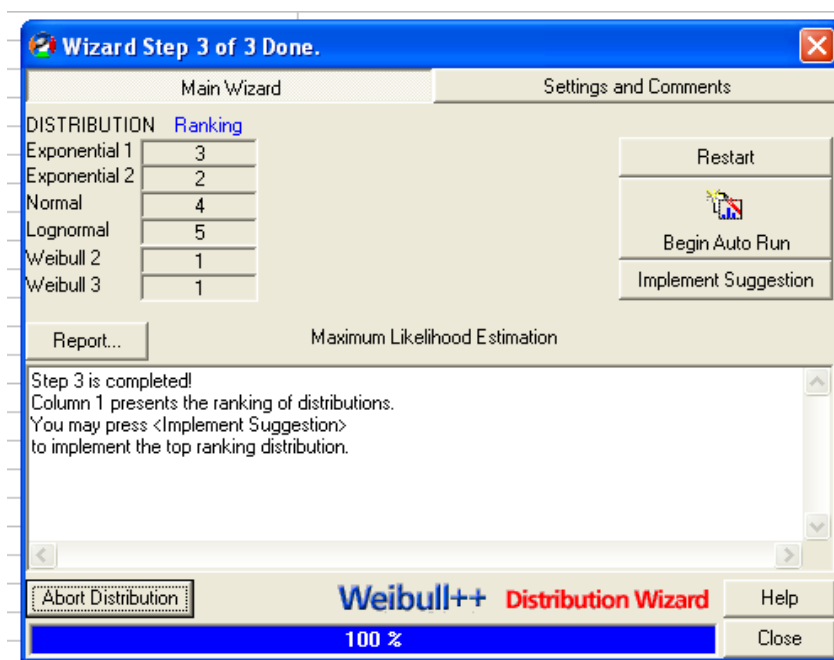


Figura 59 – Organização das curvas do resultado do teste de aderência para as curvas no cálculo de confiabilidade.

Na Figura 60 observam-se os resultados dos três parâmetros que o programa utiliza para realizar o teste de aderência, onde cada parâmetro verifica [RELIASOFT. **User's guide ReliaSoft's Weibull++**(1997)]:

- AVGOF > verifica o ajuste dos dados em relação às distribuições, valores baixos indicam bons ajustes.
- AVPLOT > verifica medida normalizada dos dados em relação às curvas das distribuições
- LKV > verifica a função de verossimilhança e os parâmetros.

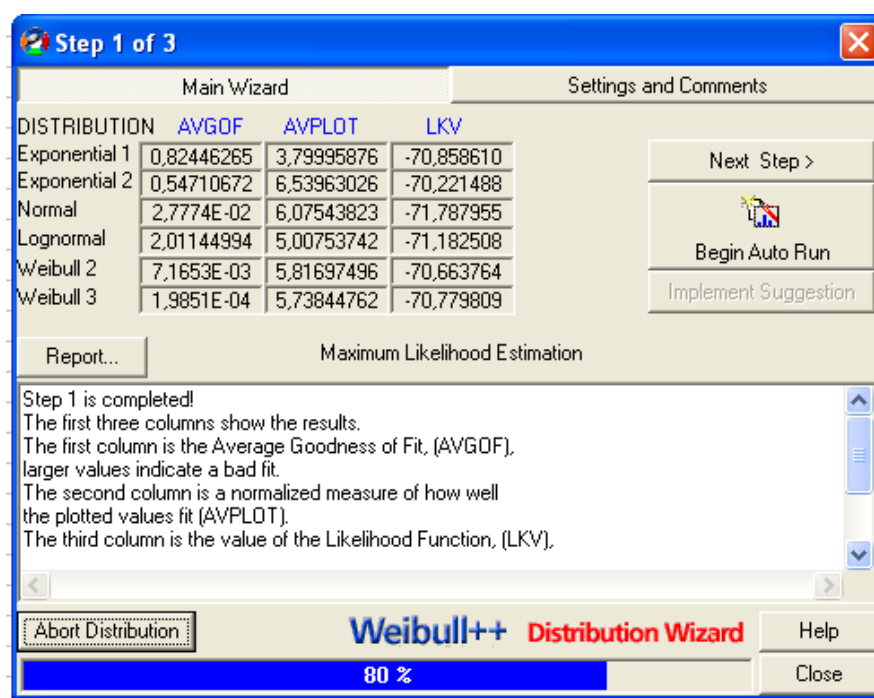


Figura 60 – Parâmetros do resultado do teste de aderência para as distribuições.

Na Figura 61 observam-se os resultados ponderados através da variável DESV. Essa ordenação é realizada através da atribuição de pesos aos parâmetros AVGOF, AVPLOT e LKV, originando respectivamente RAVGOF, RAVPLOT e RLKV.

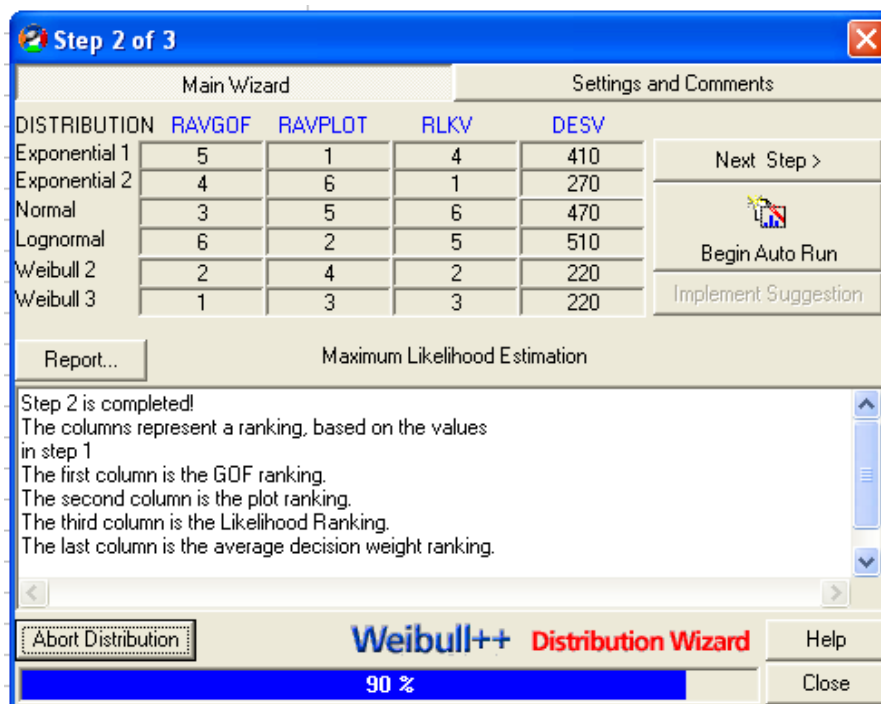


Figura 61 – Resultados ordenados para o teste de aderência para as distribuições.

Observa-se também na Figura 61 o cálculo da variável DESV, que é o resultado de união ponderada das variáveis RAVGOF, RAVPLOT e RLKV, para todas as distribuições.

Os valores das variáveis RAVGOF, RAVPLOT e RLKV são ordenados e a curva que apresenta melhor aderência é possui menores valores para as variáveis.

Os pesos utilizados para as ponderações, são os mesmos da configuração inicial do programa e conforme Figura 62 [RELIASOFT. **User's guide ReliaSoft's Weibull++**(1997)].

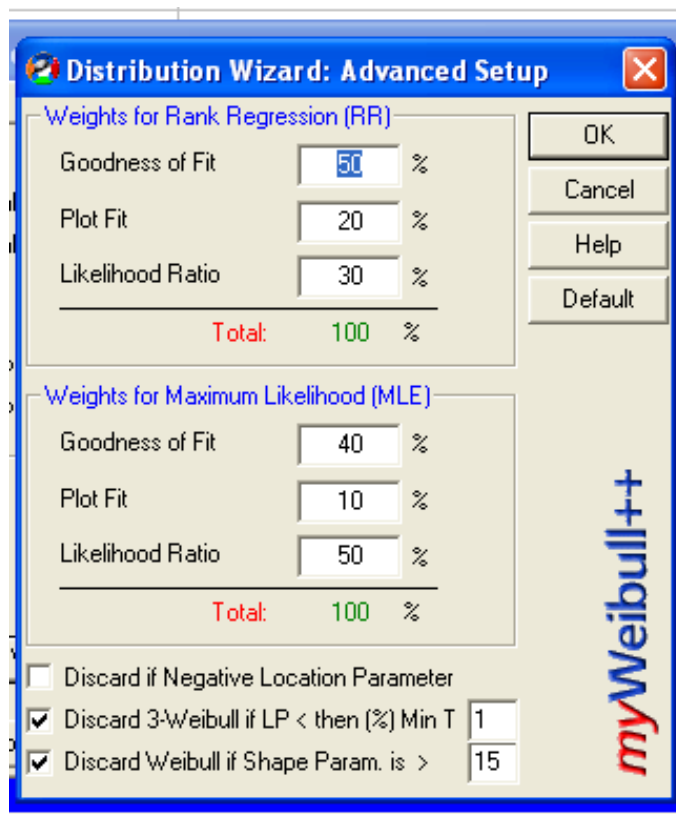


Figura 62 – Pesos utilizados nas ponderações de acordo com simulações de Monte Carlo.

Logo, utiliza-se a distribuição de Weibull com dois parâmetros para representar os dados de garantia, com valores de forma e escala conforme apresentados na Figura 63.

Set Analysis Other

Weibull	Normal
Lognormal	Exponential
More >>>	

Parameters/Type

1 2 3
 Mixed Comp. FM

Parâmetro de forma → Beta: 1,2426
 Parâmetro de escala → Eta: 5,2964E+4

Lk Value: -70,6638

MLE	SRM
FM	MED
CHKD	
F=6/S=0	

Figura 63 – Valores para as variáveis da curva de Weibull para os dados de garantia.

Essa distribuição tem a função densidade de probabilidade descrita pela equação (12).

$$f(x, \beta, \eta) = \frac{\beta}{\eta} \left(\frac{x}{\eta} \right)^{\beta-1} e^{-\left(\frac{x}{\eta} \right)^\beta} \quad (12)$$

Na Figura 64, observa-se a curva de probabilidade em papel probabilístico para os dados de garantia representada pela distribuição Weibull com os parâmetros calculados na Figura 63.

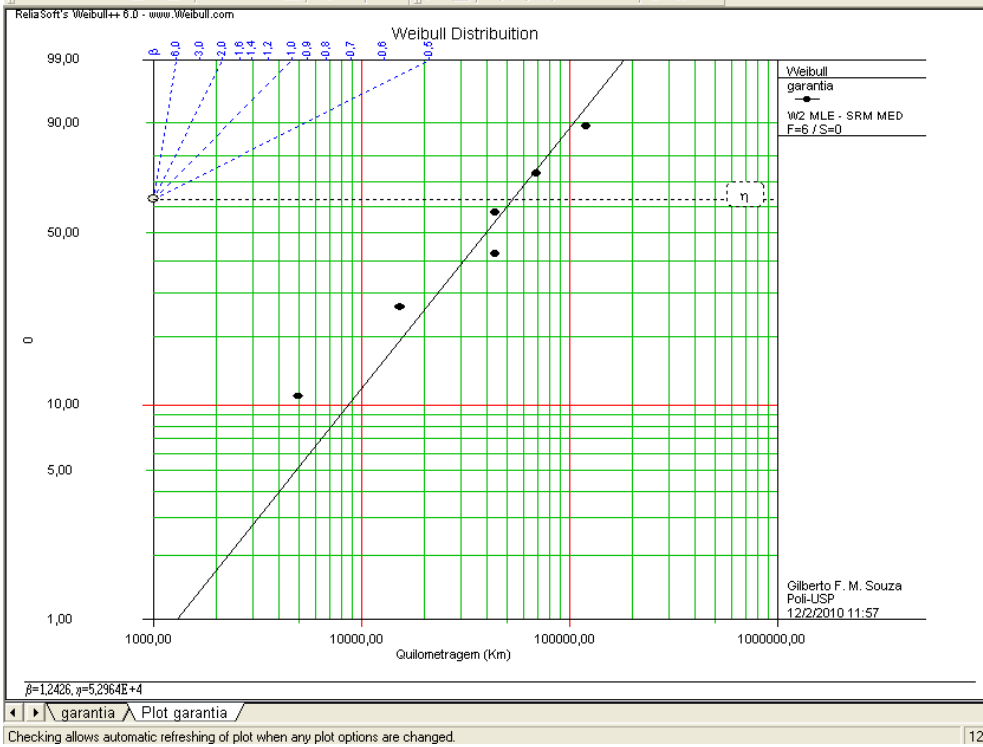


Figura 64 – Curva de probabilidade para os dados de garantia.

Na Figura 65, observa-se o gráfico de confiabilidade em função da quilometragem.

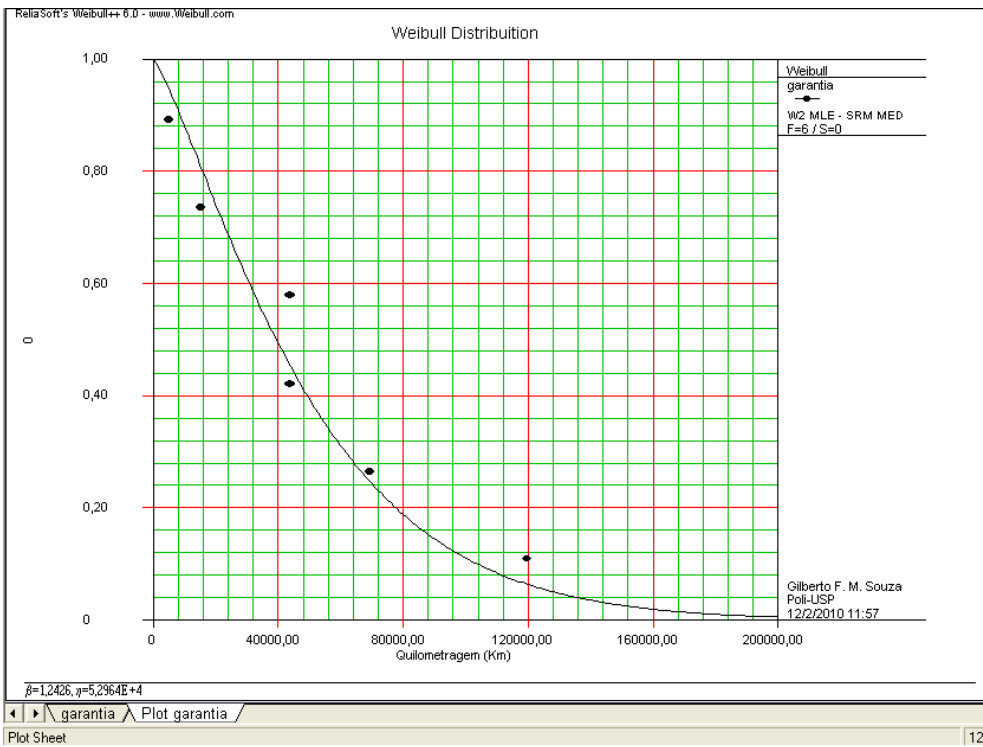


Figura 65 – Gráfico de confiabilidade para os dados de garantia.

Na Figura 66, observa-se o gráfico da probabilidade de falha com o incremento da quilometragem.

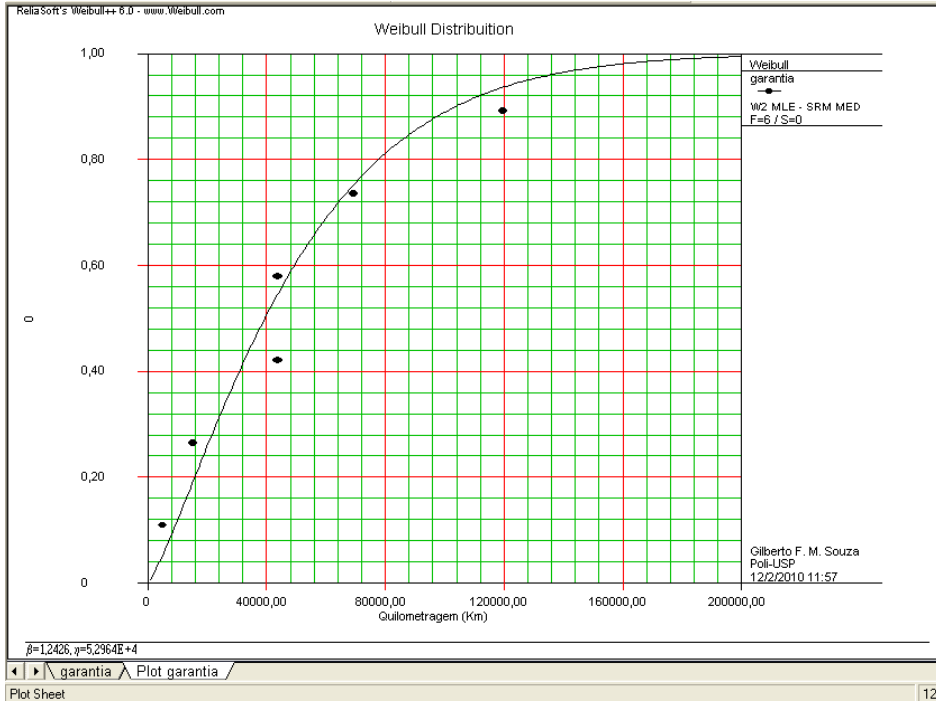


Figura 66 – Gráfico de probabilidade de falha para os dados de garantia.

Na Figura 67, observa-se o gráfico da função densidade de probabilidade.

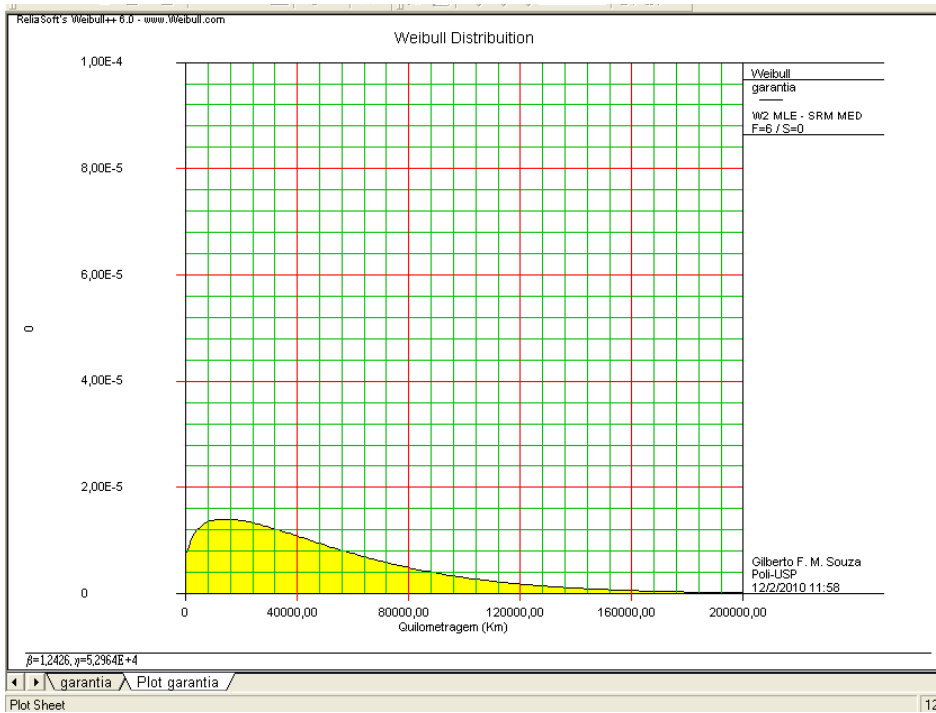


Figura 67 – Gráfico da função densidade de probabilidade para os dados de garantia.

Na Figura 68, observa-se o gráfico da taxa de falha no tempo.

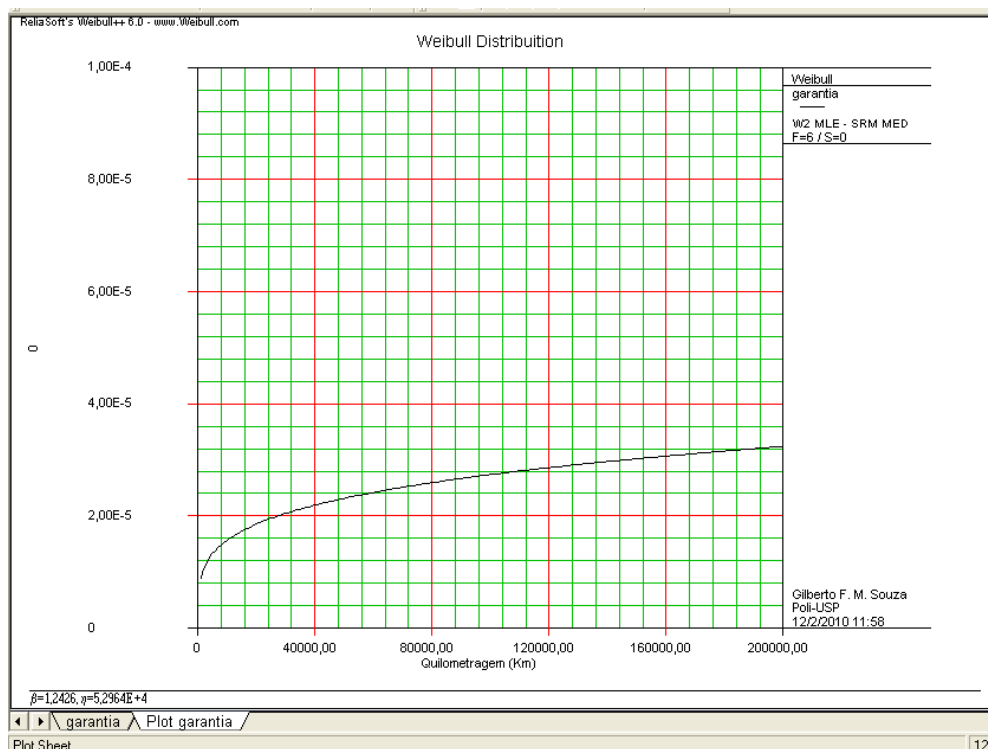


Figura 68 – Gráfico da taxa de falha para os dados de garantia.

Segundo Pinto e Xavier (2001) o significado do parâmetro de forma encontrado para os dados de garantia ($\beta=1,2426$), ou seja, maior que 1, demonstra que observam-se falhas dependentes do tempo de uso, como era de se esperar visto que estamos estudando dados de garantia.

5.7.2 Estudo de confiabilidade da peça atual submetida à ensaio de vida acelerado

Para o estudo de confiabilidade da peça atual através dos dados de ensaio de vida acelerado, inseriu-se os dados tempo de falha observados nos itens 5.5.1 e 5.5.2 no software Alta 7 Pro. Esse software é especificamente utilizado para análise de dados oriundos de ensaios acelerados.

Foram utilizados os dados dos itens 5.5.1 e 5.5.2, ou seja, ensaio acelerado por lama e durabilidade acelerado, pois os mesmos representam dois níveis de solicitação acelerada, ou seja, com lama e sem lama.

Na Figura 69, pode-se observar a tela onde os valores são inseridos.

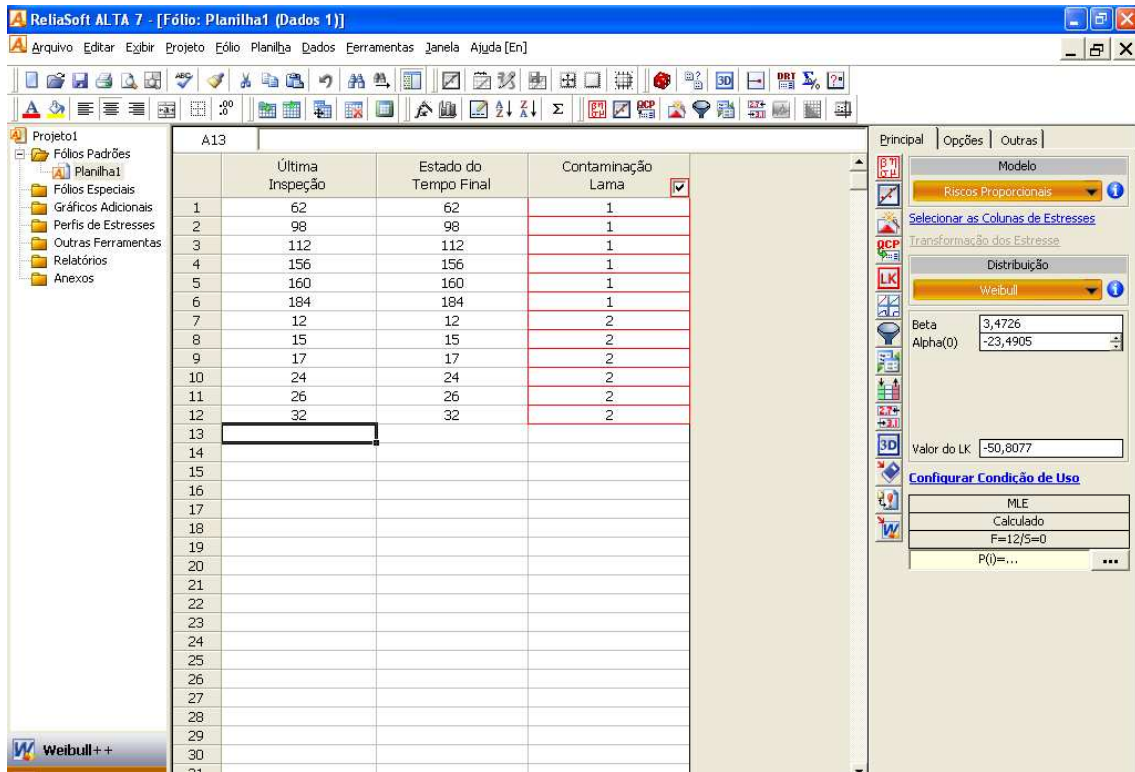


Figura 69 – Tabela onde os resultados dos ensaios com a peça atual são inseridos.

Após realizados os cálculos para todas as curvas, realizou-se o teste de aderência e como verifica-se na Figura 70, a curva que mais se adequou aos dados foi a Weibull.

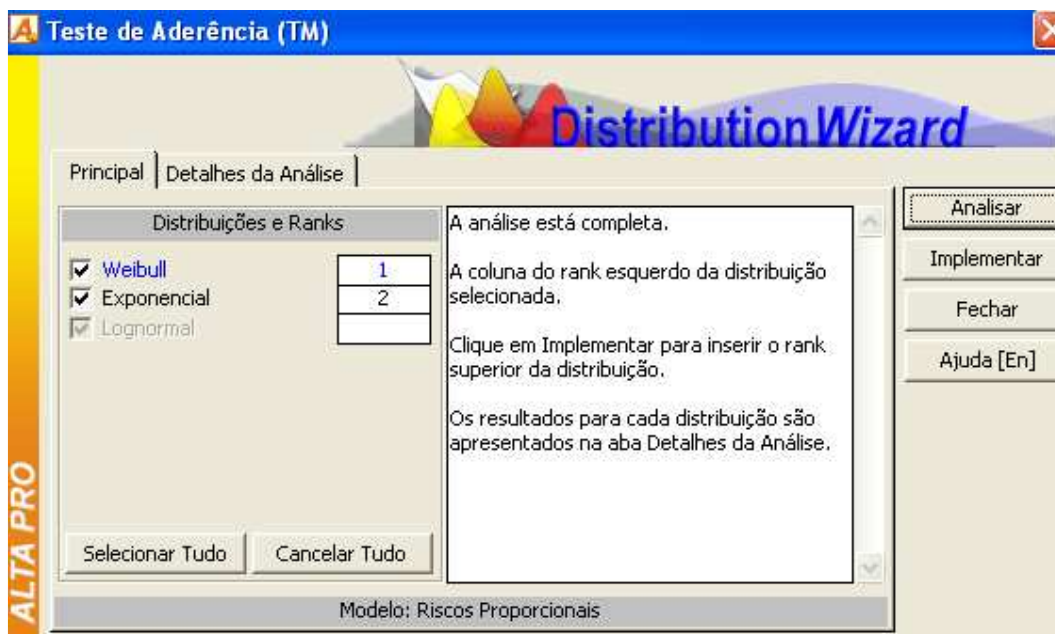


Figura 70 – Ordenação resultante do teste de aderência para os dados de ensaio com a peça atual.

Observa-se na Figura 71 os resultados obtidos pelo teste de aderência.

O parâmetro Alpha(1) representa ETA (η), semelhantemente a variável apresentada pelo programa Weibull++, conforme mostrado para o cálculo com dados de garantia na Figura 63.

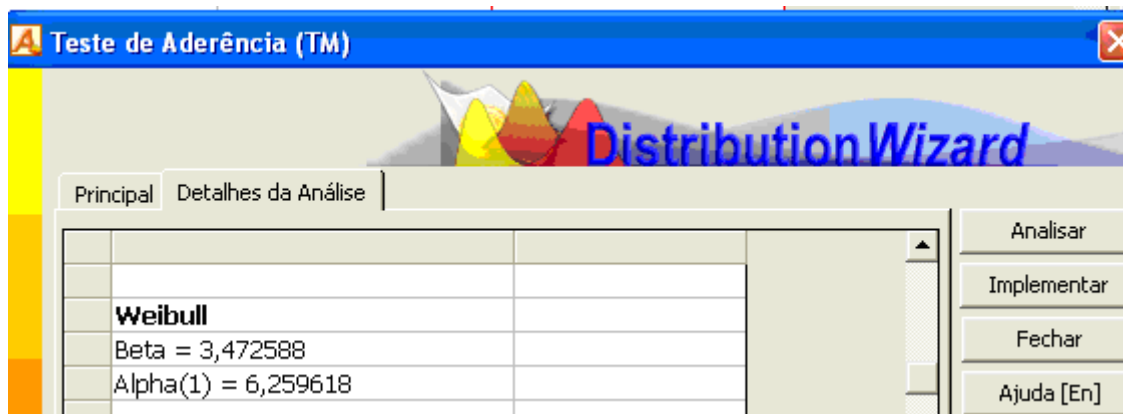


Figura 71 - Resultado do teste de aderência para os dados de ensaio com a peça atual.

Logo, para os dados de ensaio acelerado com lama realizados no produto atual verifica-se uma curva de Weibull com os parâmetros indicados na Figura 72.

Conforme mencionado anteriormente, o parâmetro Alpha(1) representa Eta (η) ou seja, o parâmetro de escala da distribuição.

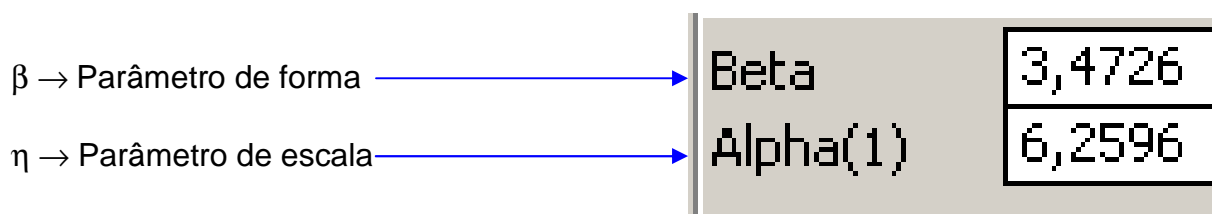


Figura 72 – Valores para as variáveis da curva de Weibull que representa os resultados de ensaios com a peça atual.

Na Figura 73, observa-se a curva de probabilidade em papel probabilístico para os dados de ensaio acelerado com lama representada pelo tipo Weibull com as variáveis acima.

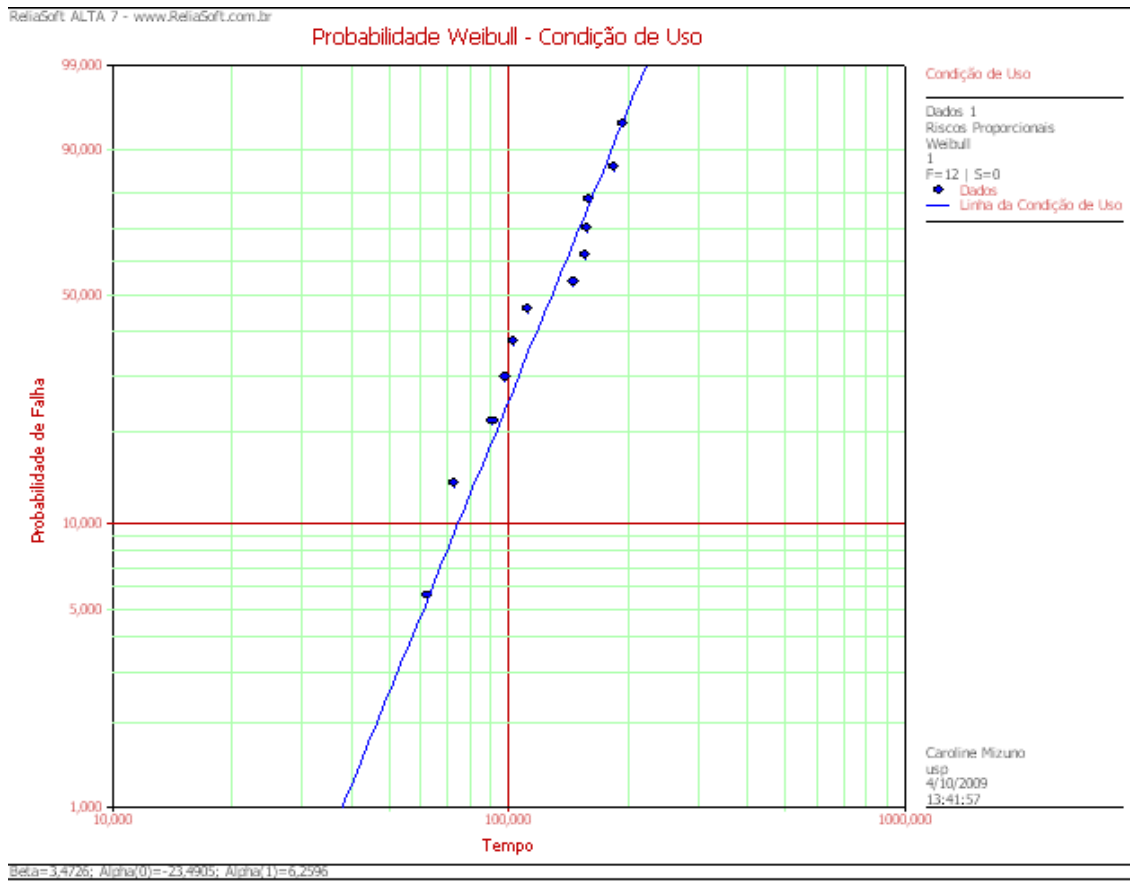


Figura 73 – Curva de probabilidade para a peça atual.

Na Figura 74, observa-se a curva de confiabilidade no tempo para os dados de ensaio acelerado realizados na peça atual.

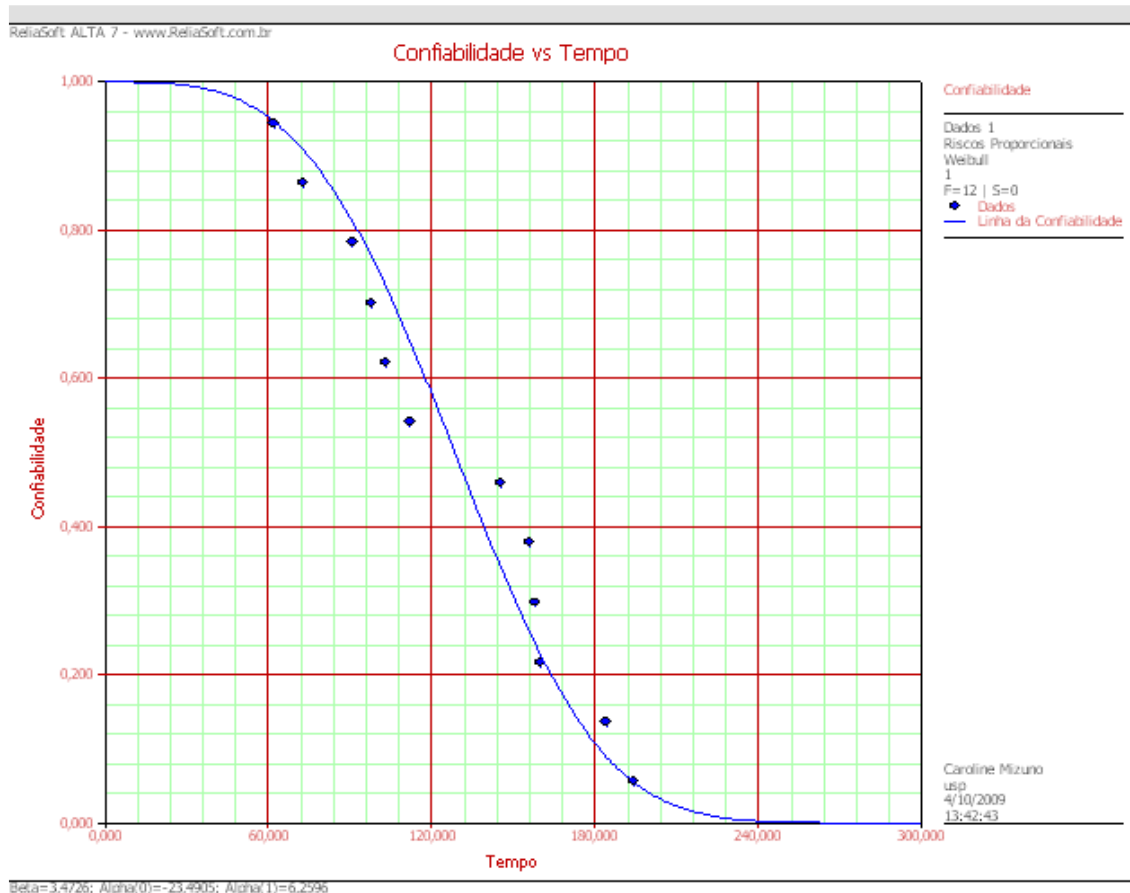


Figura 74 – Curva de confiabilidade para a peça atual.

Na Figura 75, observa-se a curva de probabilidade de falha no tempo para os dados de ensaio acelerado realizados na peça atual.

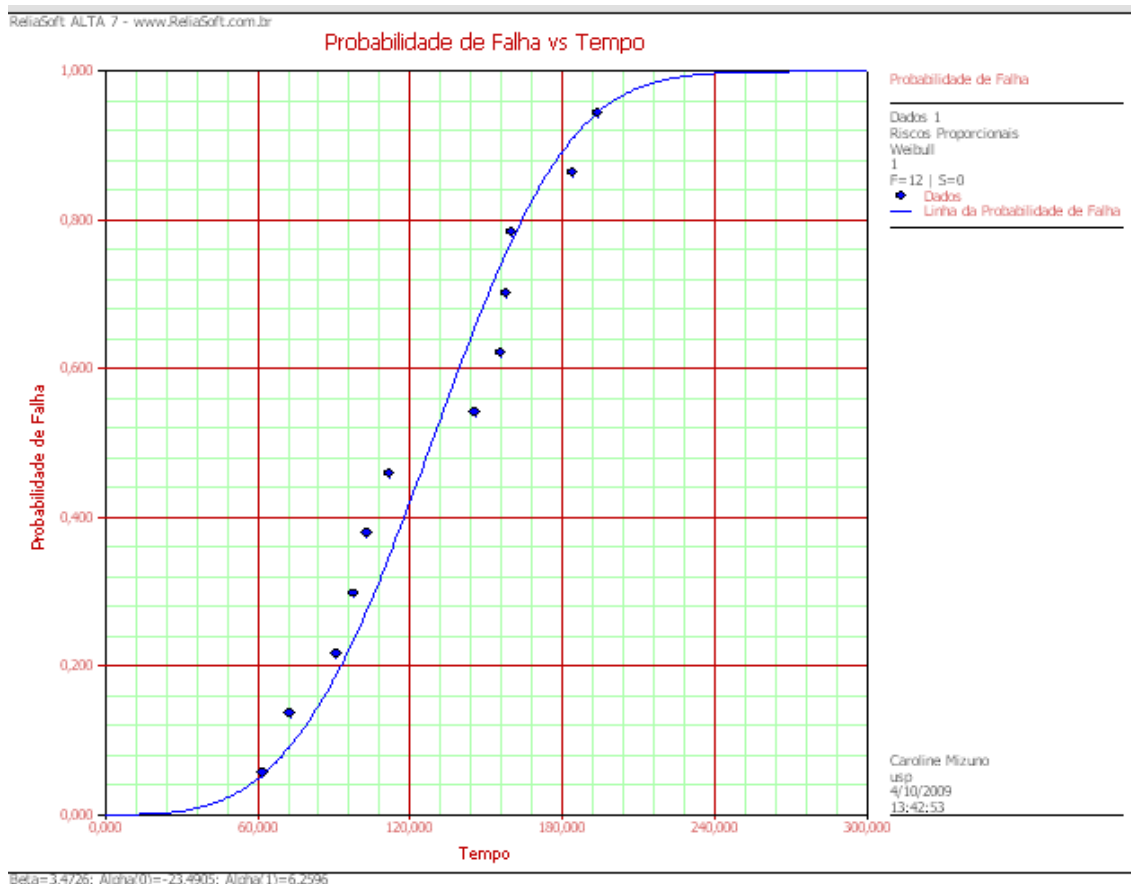


Figura 75 – Curva de probabilidade para a peça atual.

Na Figura 76, observa-se a curva de função densidade de probabilidade.

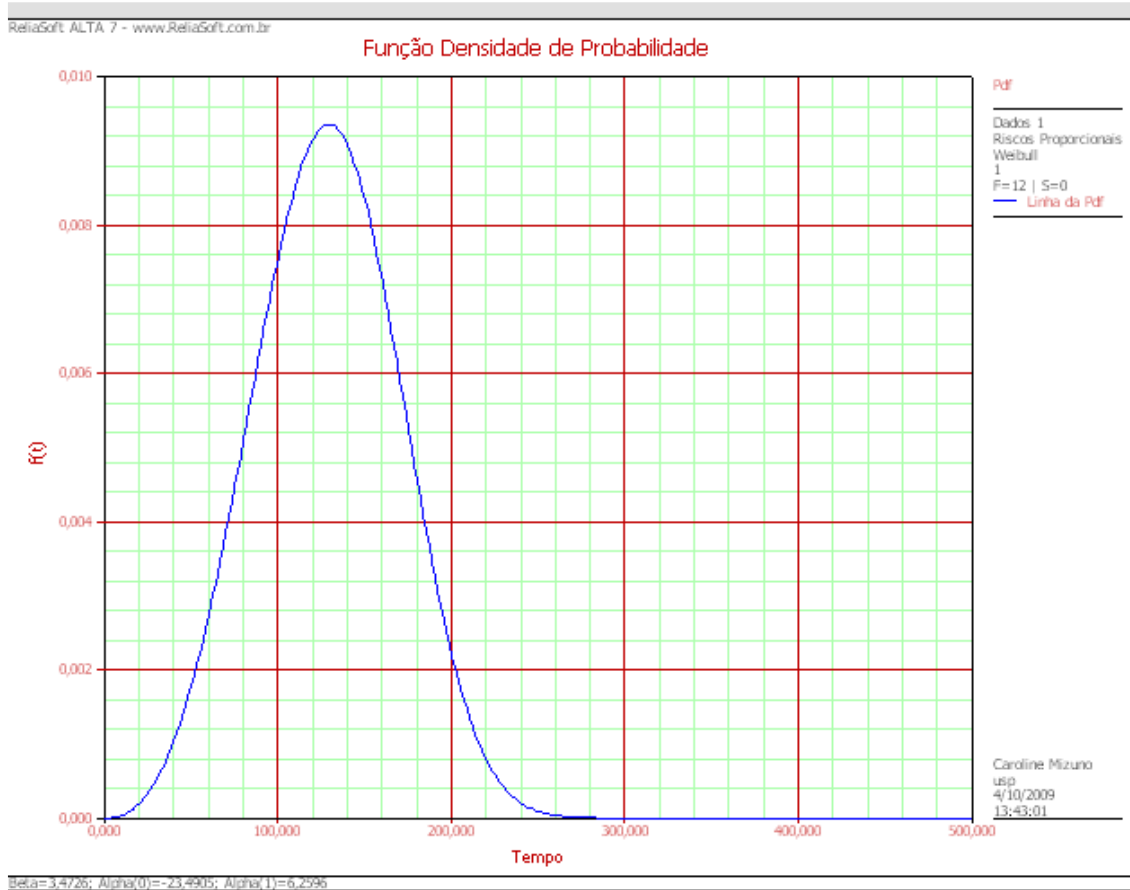


Figura 76 – Curva da função densidade de probabilidade para a peça atual.

Na Figura 77, observa-se a taxa de falha no tempo.

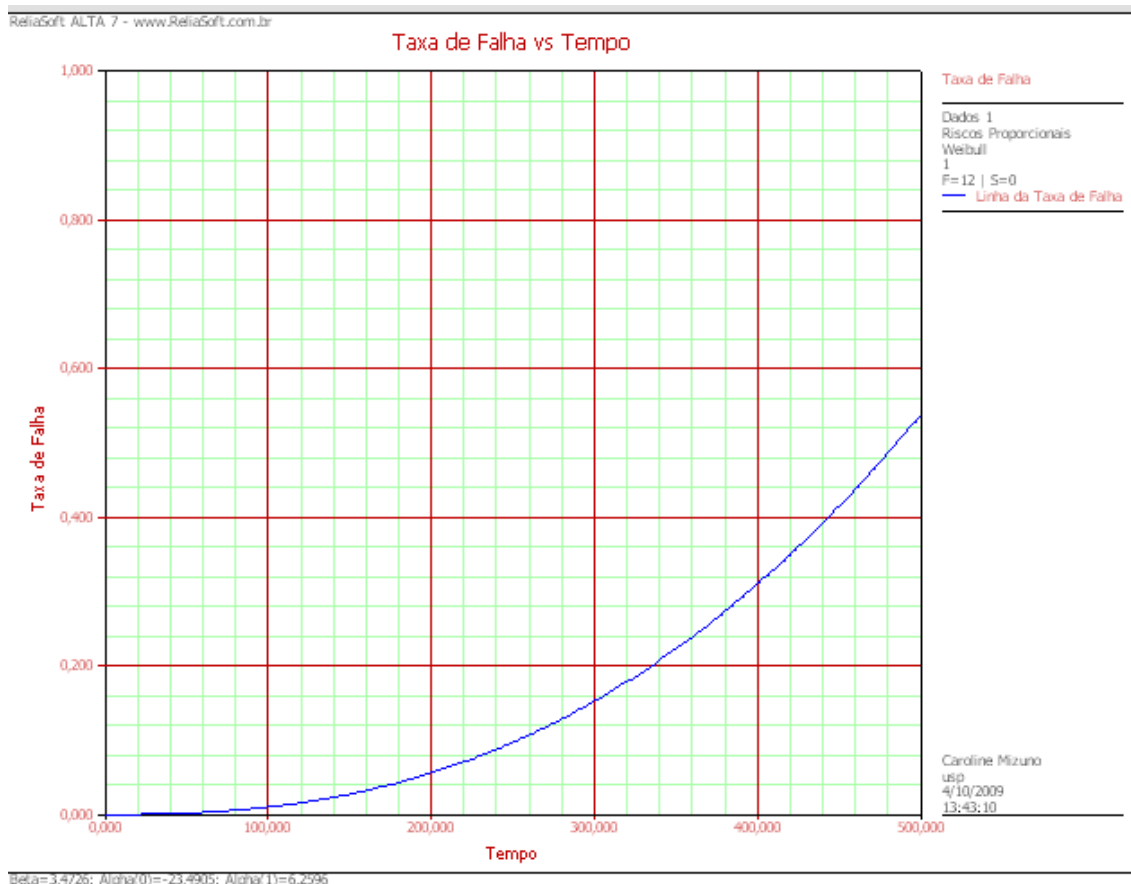


Figura 77 – Taxa de falha para a peça atual.

Na Figura 78, observa-se o fator de aceleração originado pela solicitação de maior magnitude.

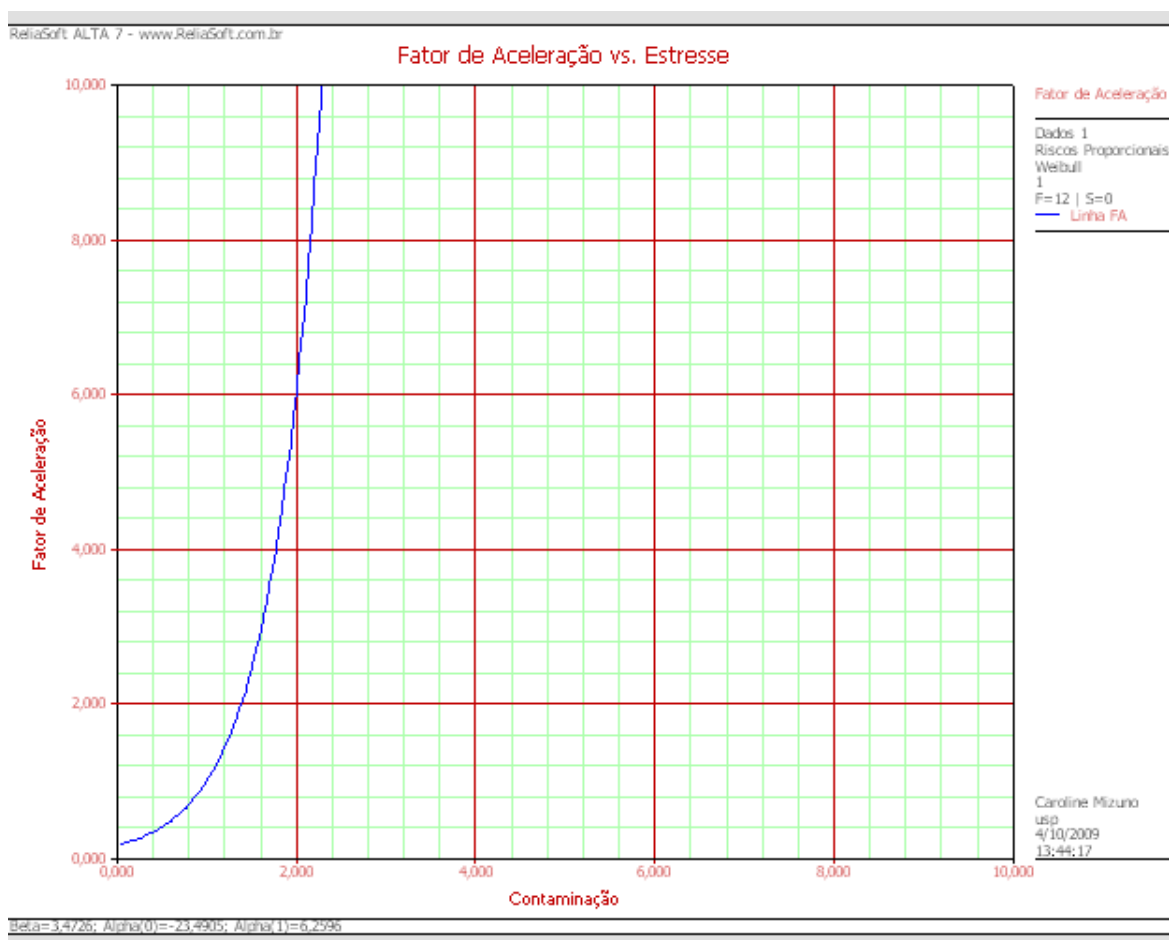


Figura 78 – Fator de aceleração.

5.7.3 Estudo de confiabilidade da peça modificada submetida à ensaio de vida acelerado

Para o estudo de confiabilidade da peça modificada através dos de ensaio acelerado, inseriu-se os dados tempo de falha observados nos itens 5.5.3 e 5.5.4 no software Alta 7, esse software é especificamente utilizado para análise de dados oriundos de ensaios acelerados.

Foram utilizados os dados dos itens 5.5.3 e 5.5.4, ou seja, ensaio acelerado por lama e durabilidade acelerado pois os mesmos representam dois níveis de solicitação, ou seja, com lama e sem lama.

Na Figura 79, pode-se observar a tela onde os valores são inseridos.

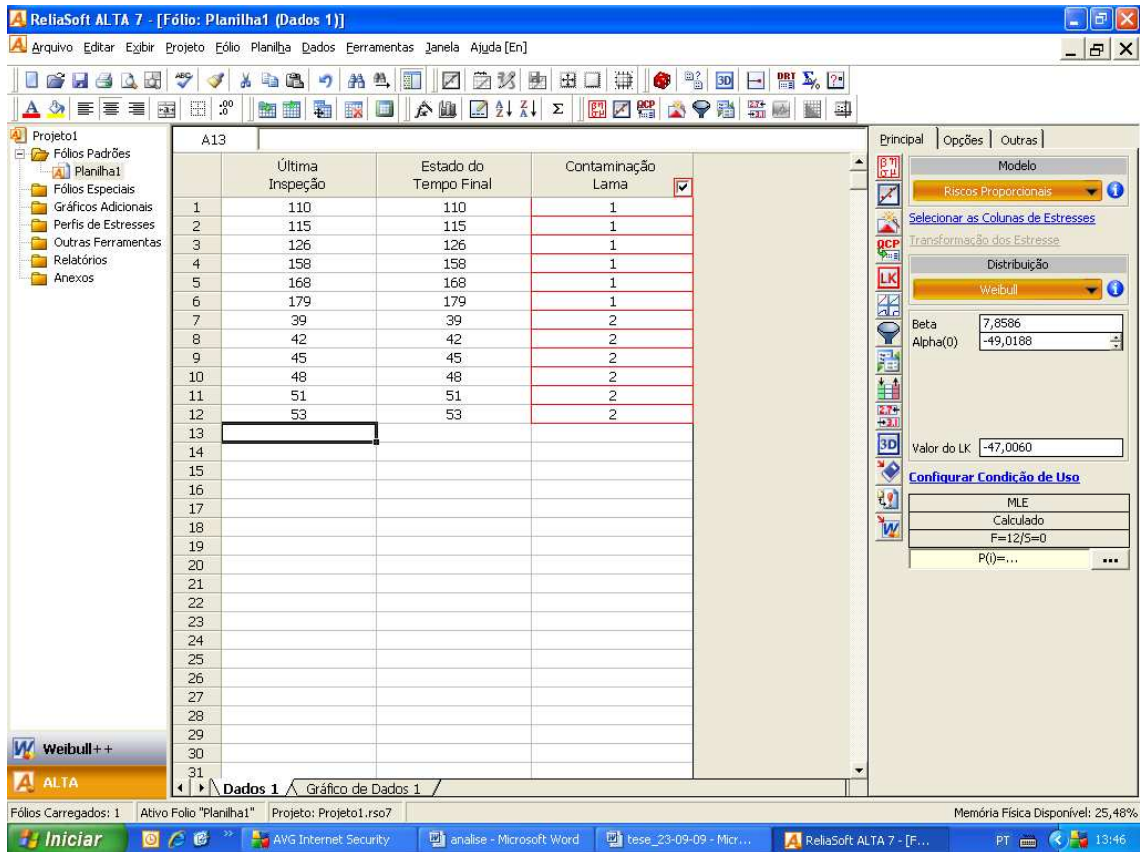


Figura 79 – Tabela onde são inseridos os resultados dos testes com a peça modificada.

Após realizados os cálculos para todas as curvas, realizou-se o teste de aderência e como pode-se verificar na Figura 80, a curva que mais se adequou aos dados foi a Weibull.

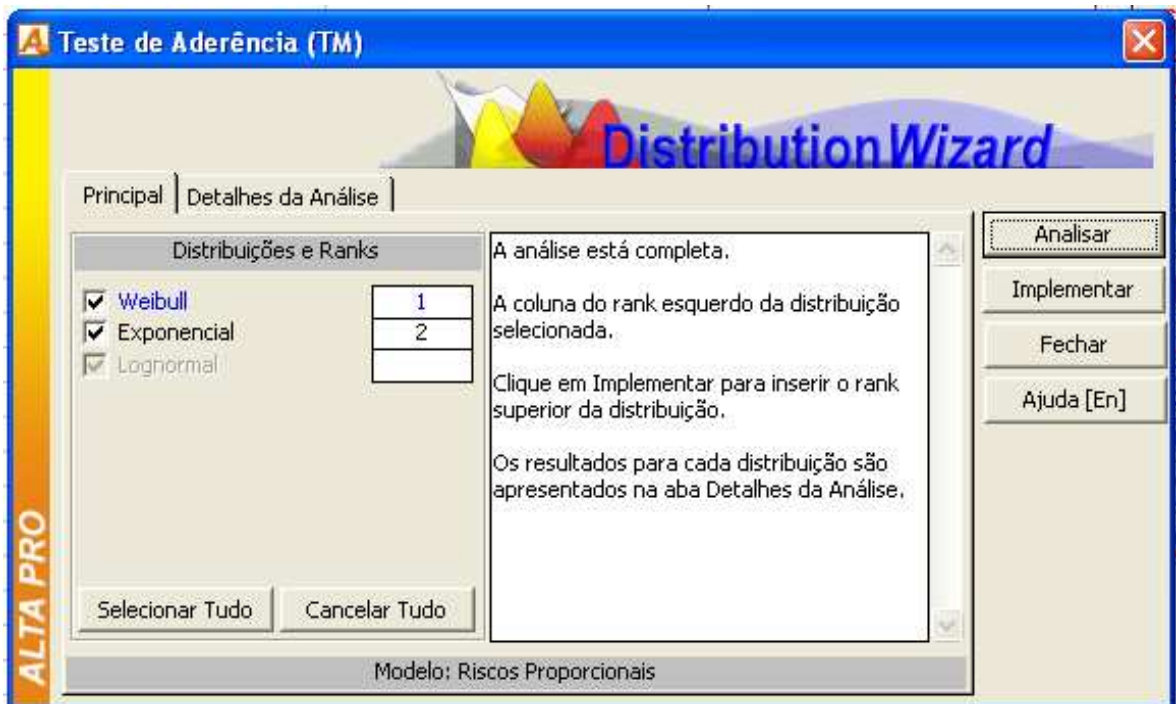


Figura 80 – Ordenação do resultado do testes de aderência.

Pode-se observar na Figura 81 os resultados obtidos pelo o teste de aderência.

O parâmetro Alpha(1) representa η (ETA), semelhantemente a variável apresentada pelo programa Weibull++, conforme mostrado para o cálculo com dados de garantia na Figura 63

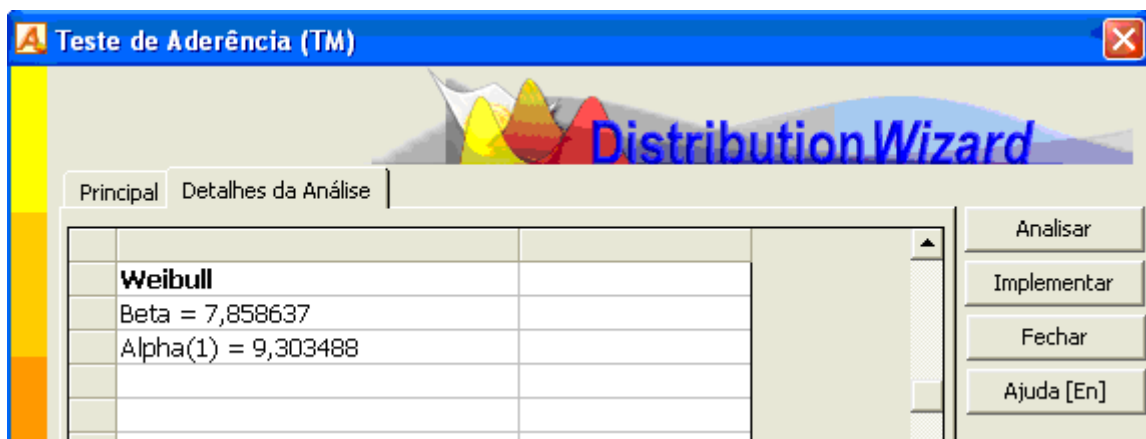


Figura 81 – Resultado do teste de aderência.

Logo, para os dados de ensaio acelerado com lama realizados no produto modificado teremos uma curva de Weibull com os seguintes valores variáveis que a descrevem.

Conforme mencionado anteriormente, o parâmetro Alpha(1) representa Eta (η) ou seja, o parâmetro de escala da distribuição.

$\beta \rightarrow$ Parâmetro de forma	\longrightarrow	Beta	7,8586
$\eta \rightarrow$ Parâmetro de escala	\longrightarrow	Alpha(1)	9,3035

Figura 82 - Valores para as variáveis da curva de Weibull que representa os resultados de ensaios com a peça modificada.

Na Figura 83, podemos observar a curva de probabilidade em papel probabilístico para os dados de ensaio acelerado com lama representada pelo tipo Weibull com as variáveis acima.

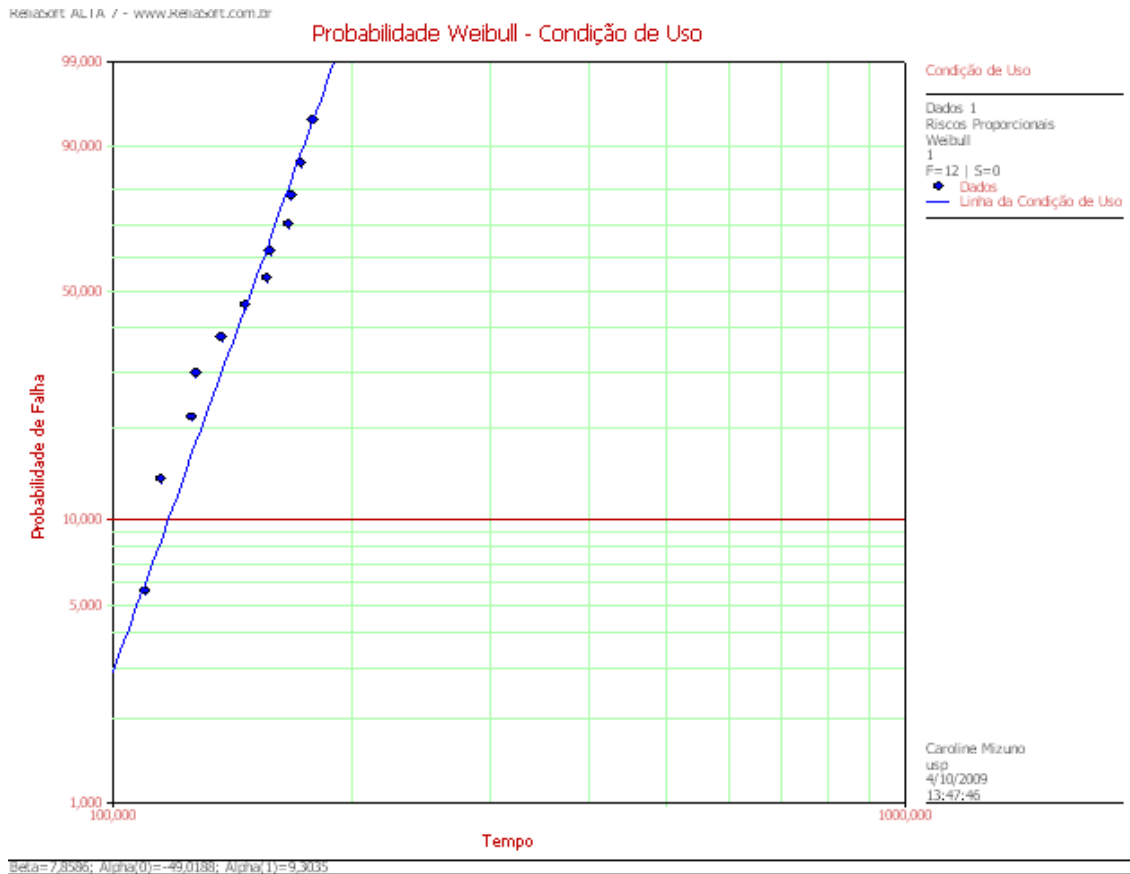


Figura 83 – Curva de probabilidade para a peça modificada.

Na Figura 84, observa-se a curva de confiabilidade no tempo para os dados de ensaio acelerado realizados na peça modificada.

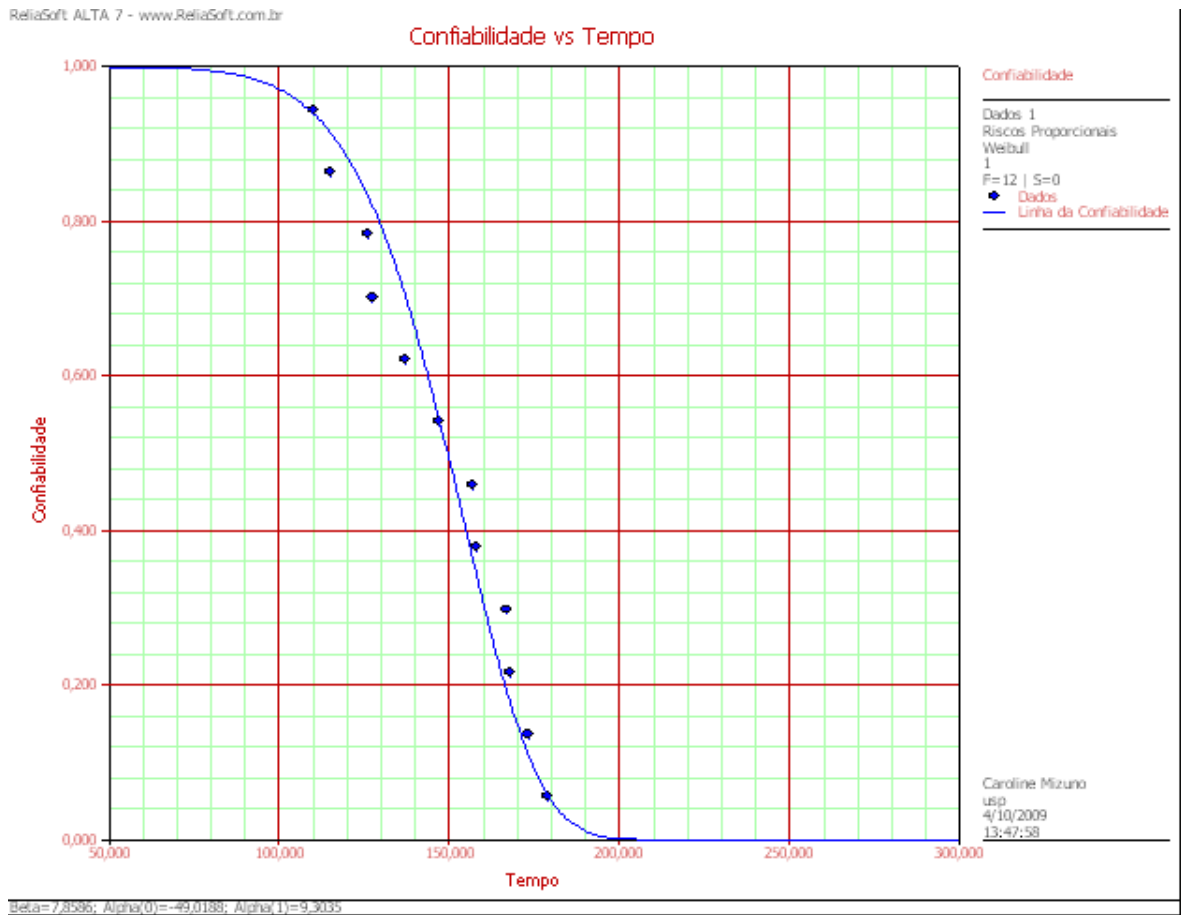


Figura 84 – Curva de confiabilidade para a peça modificada.

Na Figura 85, observa-se a curva de probabilidade de falha no tempo para os dados de ensaio acelerado realizados na peça modificada.

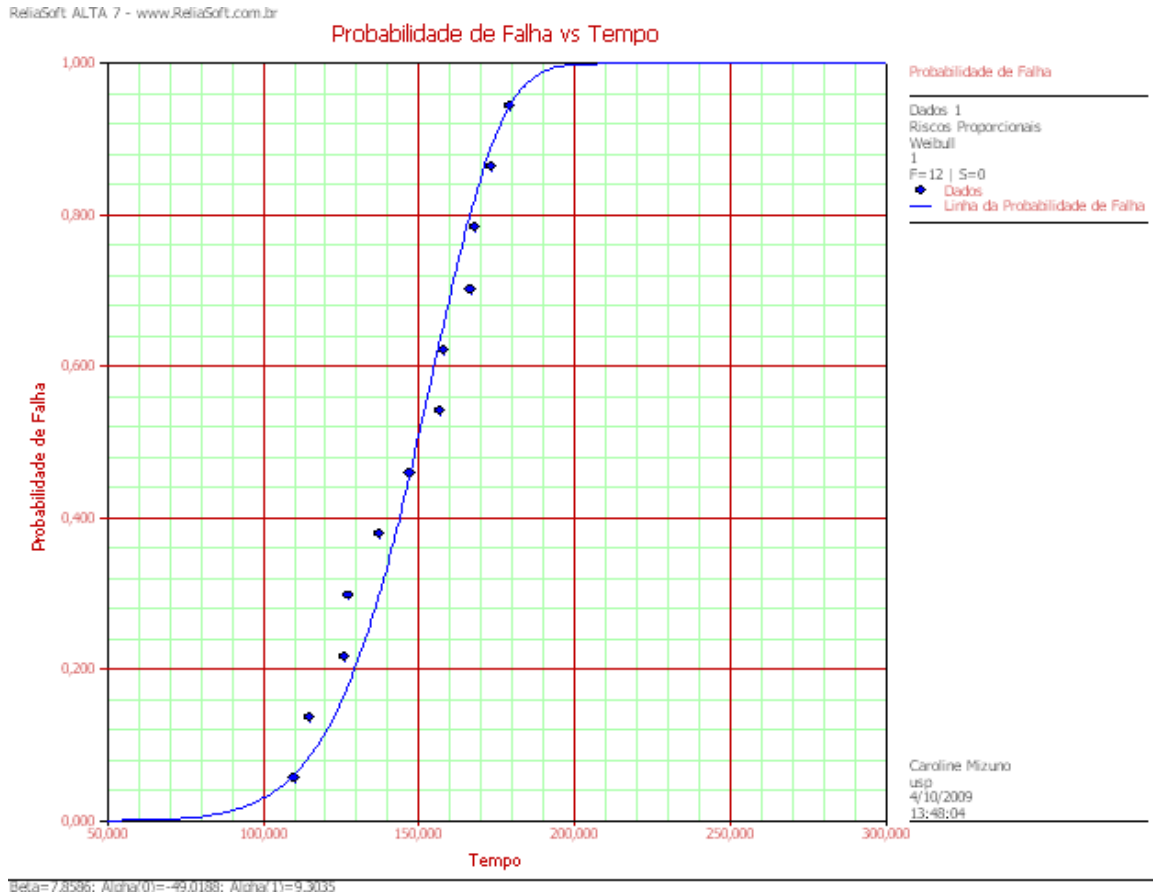


Figura 85 – Curva de probabilidade para a peça modificada.

Na Figura 86, observa-se a curva de função densidade de probabilidade.

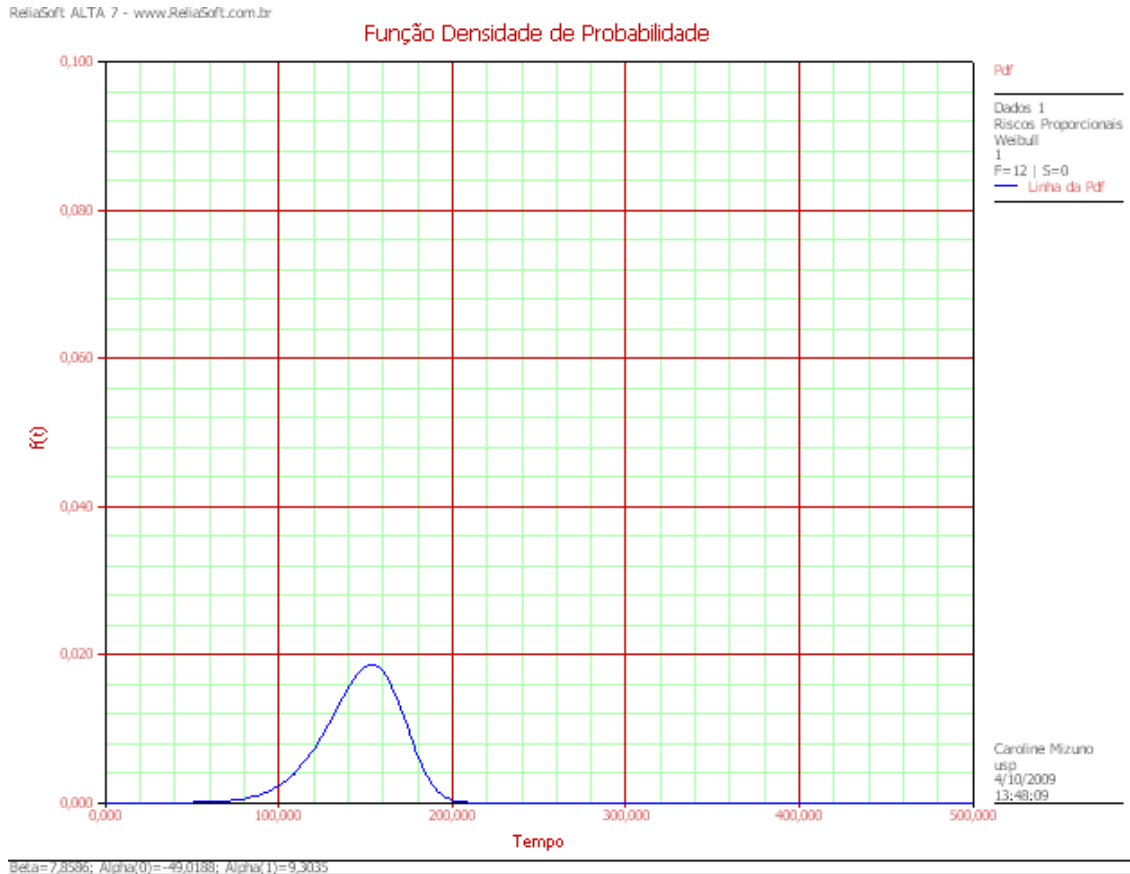


Figura 86 – Curva de função densidade de probabilidade para a peça modificada.

Na Figura 87, observa-se a taxa de falha no tempo.

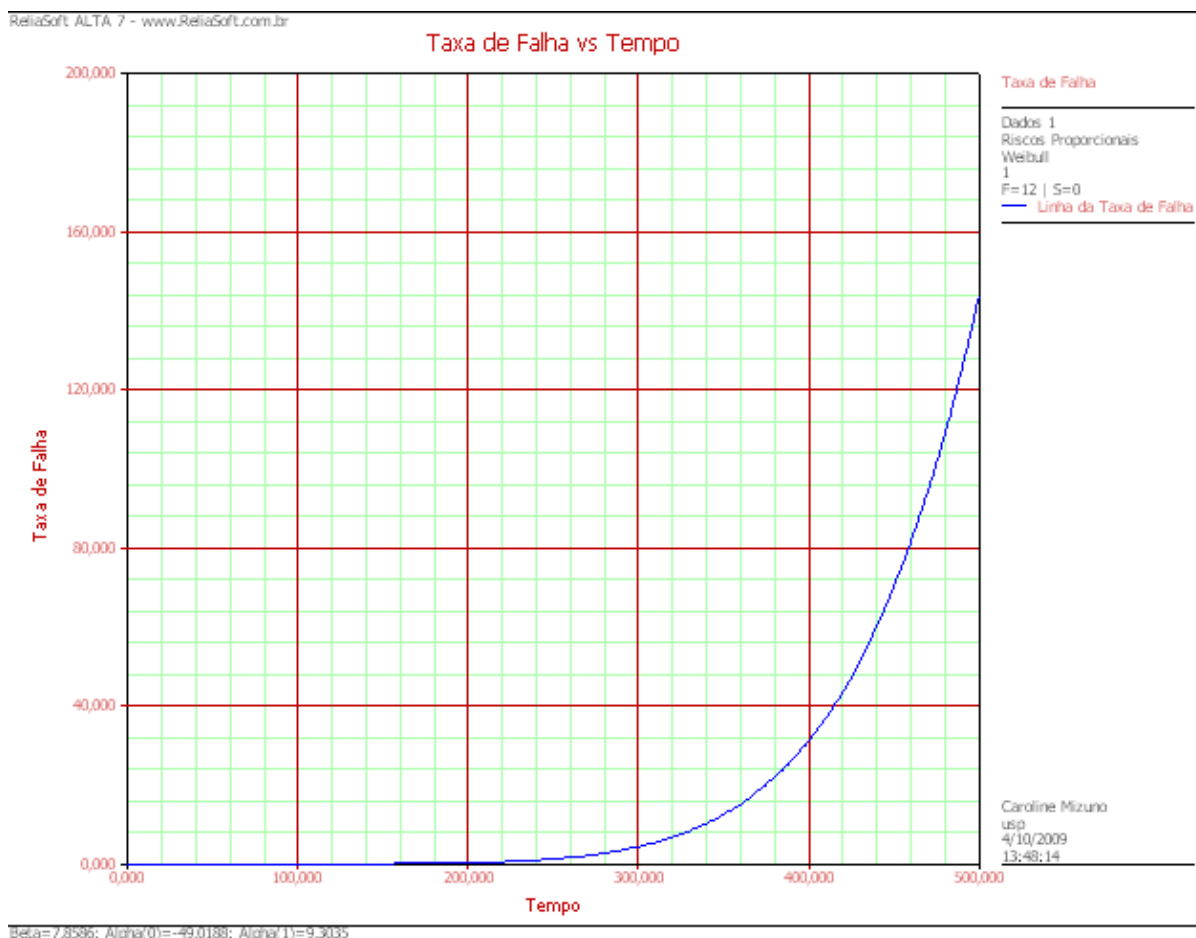


Figura 87 – Taxa de falha da peça modificada.

5.7.4 Comparativo entre dados de garantia e dados do ensaio de vida acelerado por lama

Para calcular o fator de aceleração gerado pelo teste de contaminação externa com lama, primeiramente deve-se buscar a equivalência do tempo do teste com a quilometragem que o mesmo significa.

Para isso deve-se salientar que devido à localização do retentor em estudo ser no eixo de saída da transmissão, a cada unidade de ciclo RPM (rotação por minuto) equivale a uma volta da roda do caminhão.

Sendo o tipo de caminhão em estudo considerado de grande porte, pois se trata de caminhão do tipo canavieiro, considera-se como medida média do diâmetro do pneu o valor de 80 cm, e calcula-se a distância percorrida por uma volta desse pneu utilizando a fórmula de comprimento para um círculo conforme equação **(13)**.

$$C = 2 \pi * r \quad (13)$$

C > comprimento percorrido

2π > constante de cálculo

r > raio da circunferência

Com a aplicação da fórmula acima para um diâmetro de 80cm, o comprimento será de aproximadamente 2510mm, ou seja, 0,00251 km.

Sendo o ciclo de ensaio utilizado conforme Tabela 13, para cada 24 horas de teste tem-se 20 horas à 2200 rpm, ou seja, percorre-se $0,00251 * 2200 * 20$, ou seja 1104 km.

Utilizando-se a relação de quilometragem por hora de ensaio através de divisão de 1104 por 24, chegando ao resultado de 46km rodados/hora de teste.

Com a relação acima é construída a Tabela 17, onde observa-se para os testes realizados, os tempos de falha e a quilometragem equivalente para os mesmos.

Tabela 17: Tabela com ciclagem utilizada nos testes de durabilidade acelerada

Teste #	Peça	Tipo	Início	Término	Duração [hr.]	Duração [km]
1	Atual	Lama	4/ago/08	5/ago/08	24	1104
2			6/ago/08	7/ago/08	12	552
3			11/ago/08	12/ago/08	15	690
4			12/ago/08	13/ago/08	17	782
5			18/ago/08	19/ago/08	26	1196
6			20/ago/08	22/ago/08	32	1472
7		Durabilidade	6/out/08	8/out/08	62	2852
8			9/out/08	13/out/08	98	4508
9			14/out/08	19/out/08	112	5152
10			20/out/08	27/out/08	160	7360
11			28/out/08	3/nov/08	156	7176
12			4/nov/08	12/nov/08	184	8464
13	Modificada	Lama	10/ago/09	12/ago/09	42	1932
14			17/ago/09	19/ago/09	51	2346
15			24/ago/09	27/ago/09	39	1794
16			31/ago/09	2/set/09	48	2208
17			8/set/09	10/set/09	45	2070
18			14/set/09	16/set/09	53	2438
19		Durabilidade	03/ago/09	12/ago/09	126	5796
20			06/ago/09	14/ago/09	110	5060
21			11/ago/09	21/ago/09	168	7728
22			17/ago/09	25/ago/09	115	5290
23			19/ago/09	2/set/09	179	8234
24			24/ago/09	3/set/09	158	7268

Os valores da Tabela 17 foram calculados sem a utilização do fator de aceleração, apenas foi utilizada a relação para transformar a unidade dos dados de horas para quilômetros.

O software Alta 7 calcula o fator de aceleração através da relação entre dados de vida com solicitação de uso e dados de vida com o nível de solicitação. [RELIASOFT. **User's Guide ReliaSoft's Alta 7 Pro** (1997)].

Nesse estudo, os dados são originários dos testes realizados com a peça atual, onde, os dados de vida com solicitação de uso serão os resultados dos testes de durabilidade, e os dados de vida com nível de solicitação serão os dados resultantes do teste de contaminação com lama.

Assim o fator de aceleração calculado é 46,12, como pode ser observado na Figura 88.



Figura 88 – Fator de aceleração gerado pelo teste.

O fator de aceleração também foi calculado utilizando o valor de garantia em quilometragem para as peças que vazaram devido à contaminação externa e os resultados obtidos, transformados de tempo para quilometragem, nos testes de lama com a peça atual, isso porque tem-se o mesmo modo de falha para ambos.

Para esse cálculo foram utilizados valores médios, ou seja, calculou-se a média dos resultados dos testes 1 à 6, chegando ao valor de 966 quilômetros, e a média das peças que retornaram de garantia, chegando à 45 216 quilômetros. Para calcular o

fator de aceleração foi realizada a divisão de 45216 por 966 chegando ao valor de 46,81.

Observa-se que os valores para o fator de aceleração obtidos pelos dois tipos de cálculo foram próximos e que a diferença entre eles pode ser explicada pelo fato de que pelo software a relação é buscada entre os dados de teste de durabilidade e de contaminação externa, e, para a segunda maneira, foram utilizados dados de garantia e de teste de contaminação externa, logo pode-se ter uma diferença entre a relação do teste de durabilidade e a vida do produto.

Para os demais cálculos à realizar utilizar-se-á como fator de aceleração o valor de 46,81.

Com o fator de aceleração acima calcula-se a equivalência em quilômetros para a peça modificada. Para isso, multiplica-se o fator de aceleração 46,81 pelos resultados obtidos em teste de lama na peça modificada, e os resultados podem ser observados na Tabela 18.

Tabela 18: Tabela com ciclagem utilizada nos testes de durabilidade acelerada

Teste #	Início	Término	Duração [hr.]	Duração [km]	Duração com fator de aceleração [km]
13	10/ago/09	12/ago/09	42	1932	90436,92
14	17/ago/09	19/ago/09	51	2346	109816,26
15	24/ago/09	27/ago/09	39	1794	83977,14
16	31/ago/09	2/set/09	48	2208	103356,48
17	8/set/09	10/set/09	45	2070	96896,7
18	14/set/09	16/set/09	53	2438	114122,78

Observa-se que a média de duração com fator de aceleração em quilômetros é de 99767.

Na Tabela 19, pode-se verificar o comparativo para os resultados obtidos em cálculo de confiabilidade para dados de ensaios com a peça atual e ensaios com a peça modificada, utilizando o fator de aceleração. Os resultados de confiabilidade observados foram calculados pelo software Alta 7.

Os dados inseridos conforme observado nas Figuras 69 e 79, ou seja, dados dos ensaios com a peça atual e dados dos ensaios com a peça modificada, foram os valores utilizados para os cálculos das confiabilidades observadas.

Tabela 19: Tabela comparativa com os resultados de confiabilidade para dados de testes com peça atual e modificada.

	Ensaio em peça atual	Ensaio em peça modificada
Confiabilidade Cond.	0,6682	0,9396
Inferior	0,1457	0,3774
Confiância	15 @ 0,999	15 @ 0,999

Como se pode verificar o valor de confiabilidade esperado de 99,99% enunciado no início do estudo não foi obtido com a alteração na peça, pois chegamos ao valor de 93,96%.

Se pode observar que se aperfeiçoou a confiabilidade do item de 66,82% para os 93,96%, ou, em cálculos com o fator de aceleração essa melhora foi de uma média de 45218km para 99767km.

No gráfico a Figura 89 observam-se as curvas para os dados de garantia e para os dados dos ensaios nas peças com versão atual e versão modificada em um mesmo gráfico para a comparação dos betas (β), ou seja, o parâmetro de forma que caracteriza a curva Weibull.

Pode-se observar que a curva para os dados de garantia apresenta β igual a 1,24, para a curva referente aos resultados dos testes acelerados com e sem lama na peça atual tem-se β igual a 3,47 e na curva referente aos resultados dos testes acelerados com e sem lama na peça modificada tem-se β igual 7,86.

Devido à característica do parâmetro β na curva de Weibull ser relacionado à forma da curva e todos serem positivos e maiores que 1, conclui-se que todas as curvas apresentam taxa de falhas crescente ou seja, as curvas caracterizam fatos localizados na mesma fase da curva da banheira mostrada na Figura 3, ou seja, falhas por desgaste.

O fato de os β 's das curvas referentes aos ensaios acelerados tanto para a peça atual quanto para a peça modificada, serem maiores que o β da curva referente aos dados de garantia demonstra que o desgaste obtido através dos ensaios acelerados se apresenta com crescimento constante durante a vida e abrupto no final da vida, se comparado com o encontrado nos dados de garantia.

Deve-se ressaltar que um dos motivos de observarmos β 's diferentes para as curvas de dados de garantia, dado dos ensaios nas peças com versão atual e versão modificada se deve ao envelhecimento da borracha e ao fator de aceleração, pois mesmo utilizando contaminação e temperatura controladas durante os testes, temos uma grande variação dessas características durante a utilização do produto, refletindo nos dados de garantia.

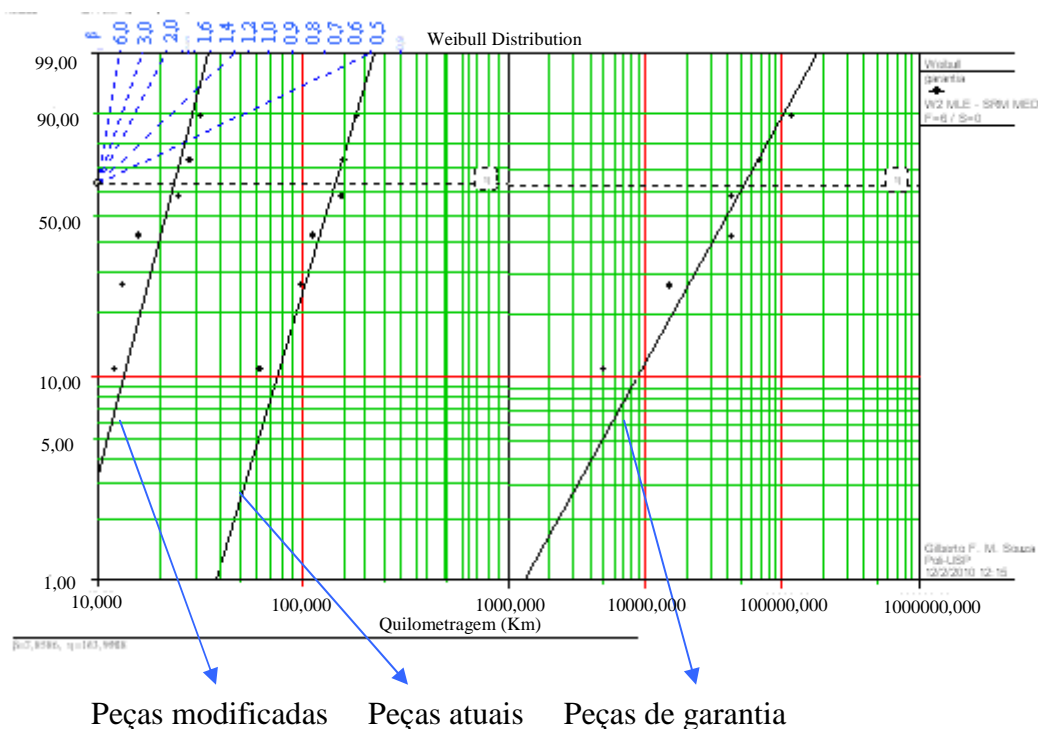


Figura 89 – Gráfico comparativo com curvas de confiabilidade para dados de garantia, dados de ensaios em peça atual e ensaios em peça modificada.

De acordo com Pinto e Xavier (2002) tem-se que na curva para os dados de garantia, que apresenta β igual a 1,24, observam-se falhas que dependem do tempo de uso, o que implica em desgaste prematuro sendo que as falhas ocorrem dentro

da vida projetada e mecanicamente as falhas que caem nesta classe são: fadiga em baixos ciclos, a maior parte das falhas de mancais, erosão e corrosão.

Já para a curva referente aos resultados dos testes acelerados com e sem lama na peça atual, com β igual a 3,47 tem-se falhas por desgaste, de corrosão ou de ultrapassagem de um patamar de deformação plástica, o que também implica em desgaste prematuro e estas falhas ocorrem dentro da vida e as falhas que caem nesta classe, assim como para os dados de garantia, são: fadiga em baixos ciclos, a maior parte das falhas de mancais, erosão e corrosão.

E finalmente, na curva referente aos resultados dos testes acelerados com e sem lama na peça modificada, tem-se β igual 7,86, o que implica em idade avançada ou fim de vida, com desgaste rápido a partir de certo ponto ou tempo de uso, onde a falha típica é por corrosão, por fadiga, por variação e/ou perda das propriedades físicas e/ou químicas dos materiais, material com revestimento de cerâmica, erosão e/ou fratura sem deformação plástica prévia

Ainda segundo Pinto e Xavier (2001) tem-se que o fato de o β da curva referente aos ensaios acelerados com as peças modificadas ser o maior demonstra que as peças modificadas apresentam o desgaste em um intervalo de tempo que tende a zero, e em um pequeno instante a mais, um desgaste abrupto, originando a falha.

Na Figura 90 observa-se um comparativo da confiabilidade para os dados de garantia, dados de ensaios, já utilizando o fator de aceleração, em peça atual e ensaios em peça modificada.

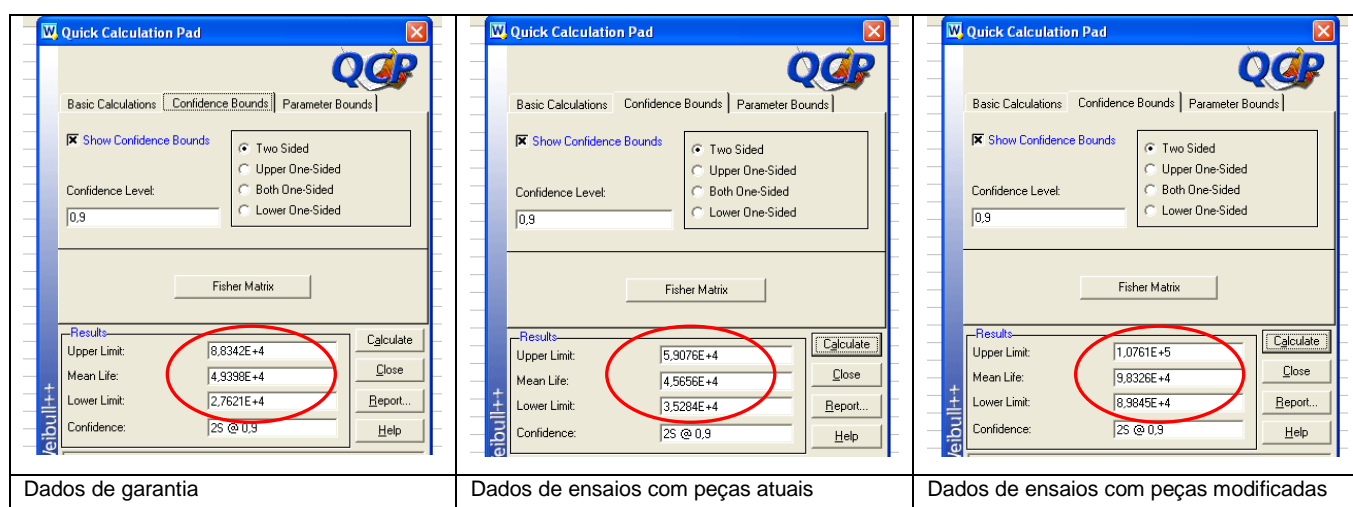


Figura 90 – Comparativo dos cálculos de tempo médio até a falha para os dados de garantia, dados de ensaios em peça atual e ensaios em peça modificada.

Dos dados da Figura 90 observa-se que o intervalo de confiança para a quilometragem média até a falha é com um nível de confiança de 90% é:

- dados de garantia: 27621 à 88342 km;
- dados de ensaio com a peça atual: 35284 à 59076 km;
- dados de ensaio com a peça modificada: 89845 à 107610 km.

Nos dados acima já está considerado o fator de aceleração.

6 CONCLUSÃO

Esse trabalho teve como objetivo exemplificar o processo de melhoria de um produto através da utilização de estudos de confiabilidade somados à técnica de análise de valor, o qual foi atingido através das passagens do Capítulo 5.

Esses métodos podem auxiliar a planejar e garantir que os requisitos dos clientes sejam atendidos na concepção do produto, pois sendo utilizados no início do desenvolvimento de um item similar faz com que o item novo tenha uma maior confiabilidade.

Durante esse trabalho, realizou-se análise de confiabilidade de um item de produção através de seus dados de retorno em garantia, na seqüência aplicou-se a técnica de análise de valor para selecionar o item a ser melhorado no produto.

Para verificar a eficácia da melhoria realizada, foram utilizados testes acelerados com e sem lama nas duas versões do produto.

Os ensaios acelerados indicaram o mesmo mecanismo de falha que o observado nas peças de garantia, ou seja, falha por desgaste excessivo gerado por atrito com contaminação externa, evidenciando que o mecanismo de degradação foi corretamente selecionado.

Adicionalmente, a execução deste tipo de ensaio exige a determinação de um princípio de extrapolação dos resultados obtidos nas condições aceleradas para as condições normais de uso, ou seja, uma forma de definir a confiabilidade na condição normal de uso a partir da estimativa de confiabilidade obtida experimentalmente. Para a extrapolação mencionada utilizou-se o fator de aceleração obtido nos ensaios.

A extrapolação dos resultados obtidos nos ensaios acelerados para as condições normais de uso apresentou um aumento significativo na confiabilidade, de 66,82% para os 93,96%, comparando-se a confiabilidade do produto corrente e do produto melhorado.

Durante a execução da análise de confiabilidade com dados de garantia do produto em estudo observou-se ser de fundamental importância analisar os dados considerando a censura dos produtos que não falharam no período de garantia, e que se deve conhecer com precisão o número de produtos fabricados, os tempos

até a falha e o número de produtos que falharam, para se ter um estudo com alta credibilidade.

Durante a execução do estudo, verificou-se que na execução de um estudo de confiabilidade, mais relevante que os cálculos estatísticos que se deve realizar, a maneira de trabalhar, planejar, coletar informações, assim como a visão sistêmica do produto em estudo, são pontos relevantes no processo.

Observa-se também que o tema confiabilidade é bem recente, década de 70 aproximadamente, logo se tem muito a explorar sobre o mesmo assim como aumentar sua utilização em grandes indústrias.

Para o método proposto, ficou demonstrado através do exemplo utilizado que o mesmo auxilia no aperfeiçoamento de produto, podendo ser utilizado em muitos produtos nas mais diversas indústrias. Prova disso foi o resultado verificado no aperfeiçoamento do exemplo realizado, onde os cálculos com o fator de aceleração mostraram um aumento na quilometragem de ocorrência da falha, melhoria de uma média de 45216 km para 99767 km.

Ao longo do desenvolvimento desta pesquisa verificou-se que a confiabilidade de sistemas mecânicos que utilizam borracha é um estudo complexo e que até o presente momento não existem grandes quantidades de literaturas ou normas sobre o assunto.

Considerando as conclusões anteriores e visando complementar o trabalho exposto, sugere-se as seguintes recomendações para trabalhos futuros:

- i) Avaliação da confiabilidade do processo de manufatura dos retentores a fim de verificar a influencia funcional em defeitos originados durante o processo de fabricação
- ii) Além da variável analisada no presente estudo, referente à contaminação externa, poderiam ser avaliadas outras condições como, por exemplo, contaminação interna gerada por desgaste de componentes internos do sistema a ser vedado, ou a reação devido ao uso de óleos lubrificantes diferentes a serem vedados.

REFERENCIAS

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS NBR-12906,
Vedadores radiais de fluidos para veículos automotores – NBR, 1993.

BAZOVSKY, I. **Reliability theory and practice** 4 th ed. New Jersey: Prentice-Hall, Inc, 1965. (International series in engineering)

BILLINTON, R., ALLAN, R.N., **Reliability Evaluation of Engineering Systems**, England: The Bath Press, Avon, 1987, 349p.

BORGES, W.S.; COLOSIMO, E.A.; FREITAS, M.A. **Métodos estatísticos e melhoria da qualidade: construindo confiabilidade em produtos** São Paulo: ABE-Associação Brasileira de Estatística, 1996

CBV VEDAÇÕES. **Catálogo Técnico**, São Paulo, Brasil. Disponível em:
< <http://www.vedacoes.com.br/catalogo/Retentor.pdf> > Acesso em 18 maio 2009

COOPER, R.G.; EDGETT, S.J.; KLEINSCHMIDT, E.J. **Portfolio Mangement for New Products**, second edition, 2001

CROWE, D. & FEINBERG A. **Design for reliability**, CRC Press, Washington, D.C., 2000.

CSILLAG, J. M. **Análise do valor: metodologia do valor: engenharia do valor, Gerenciamento do valor, redução de custos, racionalização administrativa**, 3.ed. São Paulo: Atlas, 1991, 303p.

CUEDRAS, C.M., CUEDRAS D., LAHLOU Y,. **Principal directions of the general Pareto distribution with applications**. JOURNAL OF STATISTICAL PLANNING AND INFERENCE. December 07 2004. Disponível em:
<http://www.sciencedirect.com/science?_ob=ArticleURL&_udi=B6V0M-4DYVTPY-1&_user=10&_rdoc=1&_fmt=&_orig=search&_sort=d&_docanchor=&view=c&_searc

hStrId=935456607&_rerunOrigin=google&_acct=C000050221&_version=1&_urlVersion=0&_userid=10&md5=ae5105d7b8eb78a2bb1a2b6a41eefbb4>Acesso em 18 maio 2009

DEUTSCHES INSTITUT FÜR NORMUNG DIN 3760 – Rotary shaft lip type seals - 1983

DEUTSCHES INSTITUT FÜR NORMUNG DIN 1367-1 - Seal Wires of Galvanized Steel Wire - 1974

DEUTSCHES INSTITUT FÜR NORMUNG DIN 19541 - Trap seals for special uses - Requirements and test methods - 2004

DEUTSCHES INSTITUT FÜR NORMUNG DIN EN 14840 - Joint fillers and sealants - Test methods for preformed joint seals; German version EN 14840:2005

DEUTSCHES INSTITUT FÜR NORMUNG DIN 51524 – Pressure fluids; hydraulic oils; HLP hydraulic oils; minimum requirements - 2006

DEUTSCHES INSTITUT FÜR NORMUNG DIN EN ISO 15783 - Seal-less rotodynamic pumps - Class II - Specification (ISO 15783:2002); German version EN ISO 15783:2003

DEUTSCHES INSTITUT FÜR NORMUNG DIN ISO 8791-4 - Paper and board - Determination of roughness/smoothness (air leak methods) - Part 4: Print-surf method (ISO/DIS 8791-4:2006)

DELLARETTI, O. F. **As sete ferramentas do planejamento da qualidade**, Fundação Cristiano Ottoni, Escola de Engenharia da UFMG, 1996

DENSON W. **The History of Reliability Prediction**, IEEE Transaction on Reliability, Vol 47, 321 – 328, 1998.

EBEL, G.H. **Reliability Physics in Electronic: A Historical View**. IEEE

Transaction on Reliability, Vol 47, 379 – 389, [S.I.], 1998.

ESTADOS UNIDOS. DEPRATMENT OF COMMERCE RADC-TR-58-111: **RADC – Rome Air Development Center - Reliability notebook** New York: 1959 (Astia document No. AD-148868)

ESTADOS UNIDOS. DEPARTMENT OF DEFFENCE MIL-HDBK-338: **RELIABILITY DESIGN HANDBOOK** Washington: 1950

FISHER, R. A. **On an absolute criterion for fitting frequency**. Messeng. Math., v.41, p.155-160, 1912.

FREITAS, M. A, COLOSIMO, E. A. **Confiabilidade: análise de tempo de falha e testes de vida acelerados**, Belo Horizonte: Fundação Cristiano Ottoni, Escola de Engenharia da UFMG, 1997, 326p.

GUIDA, M., PULCINI, G. **Automotive reliability inference based on past data and technical knowledge**, Reliability Engineering and System Safety 76 (2002) 129-137.

HELMAN, H., ANDERY, P.R.P. **Análise de Falhas (Aplicação dos métodos de FMEA e FTA)**, Belo Horizonte, MG: Fundação Cristiano Ottoni, Escola de Engenharia da UFMG, 1995

IRESON, G.; CLYDE F. COOMBS; JR., RICHARD Y. MOSS. **Handbook of reliability engineering and management**, 2º edição, McGraw- Hill Companies, Estados Unidos, 1995.

ISHIKAWA, K. **TQC - total quality control; estratégia e administração da qualidade**. São Paulo, SP: IMCI, 1986. 220p.

JURAN, J. M. **Planejando para a Qualidade**, São Paulo: Pioneira,1992, 394p.

JURAN, J M.. **A qualidade desde o projeto; novos passos para o planejamento da qualidade em produtos e serviços**. São Paulo, SP: Pioneira, 2001. 551p.

KAMINSKI, P. C. **Desenvolvendo Produtos com Planejamento, Criatividade e Qualidade**, Livros Técnicos e Científicos SA. ISBN 85-216-1200-1. 2000.

LAFRAIA, J.R.B. **Manual de Confiabilidade, Manutenibilidade e Disponibilidade**. Editora. Qualitymark, Petrobrás, Rio de Janeiro, 2001.

LEITCH, R. **Reliability Analysis for Engineering**. Oxford Press, New York, 1995.

LEME, E C. **Aspectos da distribuição de pareto no problema de ajustamento de distribuições a dados alterados**. Universidade de São Paulo – Instituto de Ciências Matemáticas de São Carlos, 1985.

MAJESKE, K.D. **A Mixture model for automobile warranty data**, *Reliability Engineering and System Safety* 81 (2003) 71-77.

MANN, N. R.; SCHAFER, R.E.; SINGPURWALLA, N.D. **Methods for statistical analysis of reliability and life data** New York: John Wiley & Sons, Inc, 1974 (Wiley Series in Probability and Mathematical Statistics

McCORMICK, N.J. **Reliability and Risk Analysis** New York; Academic Press. 1981.
KALBFLEISCH, J.D.; PRENTICE, R.L. **The Statistical Analysis of Failure Time Data**. 2nd ed. New Jersey : John Wiley & Sons, Inc., 2002 (Wiley series in probability and statistics)

MEEKER, W. Q. & NELSON, W. **Optimum accelerated life tests for Weibull and extreme value distribution and censored data**, *IEEE Transaction on Reliability*, vol 24, 1975.

MEEKER, W. Q. & ESCOBAR L. A. **Pitfalls of Accelerated Testing**, *IEEE Transaction on Reliability*, vol. 47, 1998.

MEEKER, W. Q. JR. & ESCOBAR, L. A., **Statistical Methods for Reliability Data**, Wiley, New York, 1999.

MOHAMMADI, B., REDONT, P., **Improving the identification of general Pareto fronts by global optimization.** COMPUTERS RENDUS MATHEMATIQUE. February 12 2009. Disponível em:

<http://www.sciencedirect.com/science?_ob=ArticleURL&_udi=B6V0M-4DYVTPY-1&_user=10&_rdoc=1&_fmt=&_orig=search&_sort=d&_docanchor=&view=c&_searchStrId=935458749&_rerunOrigin=google&_acct=C000050221&_version=1&_urlVersion=0&_userid=10&md5=5e692f3f57731d5850925f4d5de39d4b> Acesso em: 10 maio 2009

MOURA. E. C. **A Method to Estimate the Acceleration Factor for Subassemblies.** IEEE Transactions on Reliability, Vol 41, No3, 1992.

LYNN, H. **PROVIDING A TURN FOR THE BETTER.** NASA TECHNICAL REPORTS – NTRS, 2004

Disponível em:

<<http://ntrs.nasa.gov/search.jsp?R=991457&id=3&qs=Ntt%3Dcause%252Bchallenge%252Baccident%26Ntk%3Dall%26Ntx%3Dmode%2520matchall%26N%3D0%26Ns%3DHarvestDate%257c1>>. Acesso em: 22 mar. 2009

NELSON, W. **Accelerated Testing: Statistical Models, Test Plans, Data Analyses.** Wiley, New York, 1990.

NELSON, W. **A Bibliography of Accelerated Test Plans,** IEEE Transaction on Reliability, Vol 54, No 2, 2005.

NELSON, W. **Applied life data analysis** New York: Jonh Wiley & Sons, Inc., 1936 (Wiley series in probability and statistics)

OH, Y.S., BAI, D.S. **Field data analyses with additional after-warranty failure data,** Reliability Engineering and System Safety 72 (2001) 1-8

PERROW, C. **Normal Accidents: Living with High Risk Technologies,** Princeton University Press, 1999.

PINTO, A. K; XAVIER, J. A. N. **Manutenção: Função estratégica**. 4° ed. Rio de Janeiro. Qualitymark Ed. 2001

RAI, B., SINGH, N., **Hazard rate estimation from incomplete and unclean warranty data**, *Reliability Engineering and System Safety* 81 (2003) 79-92.

RAMAKUMAR, R. **Engineering Reliability: Fundamentals and Applications**, Oklahoma: Prentice- Hall International, 482p. 1993.

RELIASOFT CORPORATION. **User's Guide ReliaSoft's Weibull++ Version 6**, [S.I.], 1997

RELIASOFT CORPORATION. **User's Guide ReliaSoft's Alta 7 Pro**, [S.I.], 2008

SABÓ. **Catálogo Técnico**, São Paulo, Brasil, 1998. Disponível em: <<http://www.sabo.com.br/si/site/0708?idioma=portugues>> Acesso em 18 maio 2009

SOUZA, G. F. M. **Análise de Confiabilidade Aplicada ao Projeto de Sistemas Mecânicos**, Apostila do curso, São Paulo, Brasil, 2003.

SILVA, C. L. **Gestão Estratégica de Custos em Cadeias de Valor**, VI Congresso Brasileiro de Custos, São Paulo, Universidade de São Paulo, 1999.

TERNINKO, J. **Step-by-Step QFD – Customer-Driven Product Design**, Florida: St.Lucie Press, 1997, 224p.

VDMA 24317 – Líquidos de pressão dificilmente inflamáveis, 2005

VDMA 24320 – Fluidos hidráulicos de rápida degradação biológica, 2005

ZHAO, Y.X., et al., **An approach for determining an appropriate assumed distribution of fatigue life under limited data**, Reliability Engineering and System Safety 67 (2000) 1-7.

ZOU, T., et al., **Reliability analysis of automotive body-door subsystem**, Reliability Engineering and System Safety 78 (2002) 315-324.

APÊNDICE A – Tabela 4 - Modos de falha dos dados de retorno

peça#	data do retorno	Relatorio#	Nota fiscal recebida#	quant.peças recebidas para analise	Cód	Conclusão	KM
1	jan	6	510	2	4	Desgaste acentuado	963
2	jan	6	510	2	7	não apresentaram problemas que justificasse o vazamento	772
3	fev	15	733	6	1	Descolagem	1437
4	fev	15	733	6	5	impurezas na área de vedação	1424
5	fev	15	733	6	6	montagem inadequada	1001
6	fev	15	733	6	7	não apresentaram problemas que justificasse o vazamento	1001
7	fev	15	733	6	7	não apresentaram problemas que justificasse o vazamento	1048
8	fev	15	733	6	7	não apresentaram problemas que justificasse o vazamento	1310
9	mar	24	930	11	3	danificadas na desmontagem impossibilitado sua análise	1493
10	mar	24	930	11	3	danificadas na desmontagem impossibilitado sua análise	1612
11	mar	24	930	11	3	danificadas na desmontagem impossibilitado sua análise	2071
12	mar	24	930	11	3	danificadas na desmontagem impossibilitado sua análise	2297
13	mar	24	930	11	5	impurezas na área de vedação	1703
14	mar	24	930	11	5	impurezas na área de vedação	1944
15	mar	24	930	11	5	impurezas na área de vedação	1944
16	mar	24	930	11	6	montagem inadequada	1603
17	mar	24	930	11	6	montagem inadequada	1603
18	Mar	24	930	11	6	montagem inadequada	1612

Continuação da Tabela 4 – Modos de falha dos dados de retorno

19	Mar	24	930	11	6	montagem inadequada	1800
20	abr	29	1115	16	6	danificadas na desmontagem impossibilitado sua análise	2634
21	abr	29	1115	16	6	danificadas na desmontagem impossibilitado sua análise	3050
22	abr	29	1115	16	6	danificadas na desmontagem impossibilitado sua análise	4549
23	abr	29	1115	16	3	danificadas na desmontagem impossibilitado sua análise	4658
24	abr	29	1115	16	2	deformações e riscos na vedação	2930
25	abr	29	1115	16	2	deformações e riscos na vedação	3100
26	abr	29	1115	16	2	deformações e riscos na vedação	3284
27	abr	29	1115	16	5	impurezas na área de vedação	3200
28	abr	29	1115	16	5	impurezas na área de vedação	3284
29	abr	29	1115	16	5	impurezas na área de vedação	4243
30	abr	29	1115	16	6	montagem inadequada	2406
31	abr	29	1115	16	6	montagem inadequada	3525
32	abr	29	1115	16	6	montagem inadequada	3525
33	abr	29	1115	16	6	montagem inadequada	4078
34	abr	29	1115	16	7	não apresentaram problemas que justificasse o vazamento	2479
35	abr	29	1115	16	7	não apresentaram problemas que justificasse o vazamento	4078
36	mai	42	1254	18	3	danificadas na desmontagem impossibilitado sua análise	4780
37	mai	42	1254	18	3	danificadas na desmontagem impossibilitado sua análise	4868
38	mai	42	1254	18	3	danificadas na desmontagem impossibilitado sua análise	4987
39	mai	42	1254	18	3	danificadas na desmontagem impossibilitado análise	8155

Continuação da Tabela 4 – Modos de falha dos dados de retorno

40	mai	42	1254	18	1	Descolagem	4992
41	mai	42	1254	18	4	desgaste acentuado	4987
42	mai	42	1254	18	5	impurezas na área de vedação	5000
43	mai	42	1254	18	5	impurezas na área de vedação	9747
44	mai	42	1254	18	6	montagem inadequada	4952
45	mai	42	1254	18	6	montagem inadequada	4952
46	mai	42	1254	18	6	montagem inadequada	4981
47	mai	42	1254	18	6	montagem inadequada	4997
48	mai	42	1254	18	6	montagem inadequada	9625
49	mai	42	1254	18	6	montagem inadequada	10535
50	mai	42	1254	18	6	montagem inadequada	10535
51	mai	42	1254	18	7	não apresentaram problemas que justificasse o vazamento	4981
52	mai	42	1254	18	7	não apresentaram problemas que justificasse o vazamento	8921
53	mai	42	1254	18	7	não apresentaram problemas que justificasse o vazamento	9657
54	jun	47	1315	21	3	danificadas na desmontagem impossibilitado sua análise	10666
55	jun	47	1315	21	3	danificadas na desmontagem impossibilitado sua análise	11369
56	jun	47	1315	21	3	danificadas na desmontagem impossibilitado sua análise	11992
57	jun	47	1315	21	3	danificadas na desmontagem impossibilitado sua análise	12384
58	jun	47	1315	21	3	danificadas na desmontagem impossibilitado sua análise	13300
59	jun	47	1315	21	3	danificadas na desmontagem impossibilitado sua análise	13300
60	jun	47	1315	21	3	danificadas na desmontagem impossibilitado sua análise	14121

Continuação da Tabela 4 – Modos de falha dos dados de retorno

61	jun	47	1315	21	3	danificadas na desmontagem impossibilitado sua análise	15473
62	jun	47	1315	21	3	danificadas na desmontagem impossibilitado sua análise	16025
63	jun	47	1315	21	4	desgaste acentuado	15328
64	jun	47	1315	21	5	impurezas na área de vedação	10974
65	jun	47	1315	21	6	montagem inadequada	10666
66	jun	47	1315	21	6	montagem inadequada	11001
67	jun	47	1315	21	6	montagem inadequada	11001
68	jun	47	1315	21	6	montagem inadequada	11566
69	jun	47	1315	21	6	montagem inadequada	11566
70	jun	47	1315	21	6	montagem inadequada	13300
71	jun	47	1315	21	6	montagem inadequada	15474
72	jun	47	1315	21	7	não apresentaram problemas que justificasse o vazamento	12066
73	jun	47	1315	21	7	não apresentaram problemas que justificasse o vazamento	14059
74	jun	47	1315	21	7	não apresentaram problemas que justificasse o vazamento	15912
75	jul	60	1752	16	3	danificadas na desmontagem impossibilitado sua análise	18881
76	jul	60	1752	16	3	danificadas na desmontagem impossibilitado sua análise	20352
77	jul	60	1752	16	3	danificadas na desmontagem impossibilitado sua análise	21122
78	jul	60	1752	16	3	danificadas na desmontagem impossibilitado sua análise	21388
79	jul	60	1752	16	3	danificadas na desmontagem impossibilitado sua análise	22235
80	jul	60	1752	16	3	danificadas na desmontagem impossibilitado análise	22457

Continuação da Tabela 4 – Modos de falha dos dados de retorno

81	jul	60	1752	16	3	danificadas na desmontagem impossibilitado sua análise	24318
82	jul	60	1752	16	1	Descolagem	18152
83	jul	60	1752	16	1	Descolagem	20529
84	jul	60	1752	16	5	impurezas na área de vedação	17756
85	jul	60	1752	16	5	impurezas na área de vedação	19873
86	jul	60	1752	16	6	montagem inadequada	17925
87	jul	60	1752	16	6	montagem inadequada	18257
88	jul	60	1752	16	6	montagem inadequada	20352
89	jul	60	1752	16	6	montagem inadequada	20852
90	jul	60	1752	16	7	não apresentaram problemas que justificasse o vazamento	17106
91	ago	63	1824	24	3	danificadas na desmontagem impossibilitado sua análise	30852
92	ago	63	1824	24	2	deformações e riscos na vedação	30374
93	ago	63	1824	24	2	deformações e riscos na vedação	30732
94	ago	63	1824	24	1	Descolagem	36413
95	ago	63	1824	24	5	impurezas na área de vedação	34987
96	ago	63	1824	24	5	impurezas na área de vedação	36413
97	ago	63	1824	24	5	impurezas na área de vedação	36509
98	ago	63	1824	24	5	impurezas na área de vedação	37598
99	ago	63	1824	24	6	montagem inadequada	24318
100	ago	63	1824	24	6	montagem inadequada	24329
101	ago	63	1824	24	6	montagem inadequada	29170
102	ago	63	1824	24	6	montagem inadequada	30000
103	ago	63	1824	24	6	montagem inadequada	30019
104	ago	63	1824	24	6	montagem inadequada	30374
105	ago	63	1824	24	6	montagem inadequada	30852
106	ago	63	1824	24	6	montagem inadequada	30988
107	ago	63	1824	24	6	montagem inadequada	33470
108	ago	63	1824	24	6	montagem inadequada	33470
109	ago	63	1824	24	6	montagem inadequada	34626
110	ago	63	1824	24	6	montagem inadequada	35815
111	ago	63	1824	24	6	montagem inadequada	37598

Continuação da Tabela 4 – Modos de falha dos dados de retorno

112	ago	63	1824	24	7	não apresentaram problemas que justificasse o vazamento	24329
113	ago	63	1824	24	7	não apresentaram problemas que justificasse o vazamento	30792
114	ago	63	1824	24	7	não apresentaram problemas que justificasse o vazamento	34408
115	set	71	1915	18	3	danificadas na desmontagem impossibilitado sua análise	37766
116	set	71	1915	18	3	danificadas na desmontagem impossibilitado sua análise	38015
117	set	71	1915	18	3	danificadas na desmontagem impossibilitado sua análise	39937
118	set	71	1915	18	3	danificadas na desmontagem impossibilitado sua análise	39962
119	set	71	1915	18	3	danificadas na desmontagem impossibilitado sua análise	47956
120	set	71	1915	18	3	danificadas na desmontagem impossibilitado sua análise	47956
121	set	71	1915	18	2	deformações e riscos na vedação	49588
122	set	71	1915	18	4	desgaste acentuado	43821
123	set	71	1915	18	4	desgaste acentuado	43821
124	set	71	1915	18	5	impurezas na área de vedação	49215
125	set	71	1915	18	5	impurezas na área de vedação	50845
126	set	71	1915	18	6	montagem inadequada	44874
127	set	71	1915	18	6	montagem inadequada	44874
128	set	71	1915	18	6	montagem inadequada	45775
129	set	71	1915	18	6	montagem inadequada	47639
130	set	71	1915	18	6	montagem inadequada	47639
131	set	71	1915	18	7	não apresentaram problemas que justificasse o vazamento	37664

Continuação da Tabela 4 – Modos de falha dos dados de retorno

132	set	71	1915	18	7	não apresentaram problemas que justificasse o vazamento	38050
133	out	78	2003	16	3	danificadas na desmontagem impossibilitado sua análise	53028
134	out	78	2003	16	3	danificadas na desmontagem impossibilitado sua análise	55225
135	out	78	2003	16	3	danificadas na desmontagem impossibilitado sua análise	56846
136	out	78	2003	16	3	danificadas na desmontagem impossibilitado sua análise	59499
137	out	78	2003	16	3	danificadas na desmontagem impossibilitado sua análise	64865
138	out	78	2003	16	3	danificadas na desmontagem impossibilitado sua análise	65854
139	out	78	2003	16	2	deformações e riscos na vedação	50969
140	out	78	2003	16	5	impurezas na área de vedação	58595
141	out	78	2003	16	5	impurezas na área de vedação	63444
142	out	78	2003	16	5	impurezas na área de vedação	65025
143	out	78	2003	16	6	montagem inadequada	52493
144	out	78	2003	16	6	montagem inadequada	60680
145	out	78	2003	16	6	montagem inadequada	60680
146	out	78	2003	16	6	montagem inadequada	64279
147	out	78	2003	16	6	montagem inadequada	64359
148	out	78	2003	16	7	não apresentaram problemas que justificasse o vazamento	62159
149	nov	83	2145	24	3	danificadas na desmontagem impossibilitado sua análise	71649
150	nov	83	2145	24	3	danificadas na desmontagem impossibilitado sua análise	72741
151	nov	83	2145	24	3	danificadas na desmontagem impossibilitado análise	72958

Continuação da Tabela 4 – Modos de falha dos dados de retorno

152	nov	83	2145	24	3	danificadas na desmontagem impossibilitado sua análise	75671
153	nov	83	2145	24	2	deformações e riscos na vedação	72958
154	nov	83	2145	24	2	deformações e riscos na vedação	78340
155	nov	83	2145	24	4	desgaste acentuado	69355
156	nov	83	2145	24	5	impurezas na área de vedação	74999
157	nov	83	2145	24	5	impurezas na área de vedação	78340
158	nov	83	2145	24	5	impurezas na área de vedação	81188
159	nov	83	2145	24	5	impurezas na área de vedação	88799
160	nov	83	2145	24	6	montagem inadequada	71903
161	nov	83	2145	24	6	montagem inadequada	72156
162	nov	83	2145	24	6	montagem inadequada	72365
163	nov	83	2145	24	6	montagem inadequada	72411
164	nov	83	2145	24	6	montagem inadequada	72872
165	nov	83	2145	24	6	montagem inadequada	74996
166	nov	83	2145	24	6	montagem inadequada	79135
167	nov	83	2145	24	6	montagem inadequada	82613
168	nov	83	2145	24	6	montagem inadequada	90212
169	nov	83	2145	24	6	montagem inadequada	90212
170	nov	83	2145	24	7	não apresentaram problemas que justificasse o vazamento	66059
171	nov	83	2145	24	7	não apresentaram problemas que justificasse o vazamento	69355
172	nov	83	2145	24	7	não apresentaram problemas que justificasse o vazamento	87879
173	dez	91	2315	39	3	danificadas na desmontagem impossibilitado sua análise	96000
174	dez	91	2315	39	3	danificadas na desmontagem impossibilitado sua análise	104580
175	dez	91	2315	39	3	danificadas na desmontagem impossibilitado sua análise	105117
176	dez	91	2315	39	3	danificadas na desmontagem impossibilitado análise	105994

Continuação da Tabela 4 – Modos de falha dos dados de retorno

177	dez	91	2315	39	3	danificadas na desmontagem impossibilitado sua análise	143553
178	dez	91	2315	39	3	danificadas na desmontagem impossibilitado sua análise	143553
179	dez	91	2315	39	3	danificadas na desmontagem impossibilitado sua análise	148949
180	dez	91	2315	39	3	danificadas na desmontagem impossibilitado sua análise	149936
181	dez	91	2315	39	3	danificadas na desmontagem impossibilitado sua análise	149936
182	dez	91	2315	39	3	danificadas na desmontagem impossibilitado sua análise	152022
183	dez	91	2315	39	3	danificadas na desmontagem impossibilitado sua análise	375550
184	dez	91	2315	39	3	danificadas na desmontagem impossibilitado sua análise	962240
185	dez	91	2315	39	2	deformações e riscos na vedação	164582
186	dez	91	2315	39	2	deformações e riscos na vedação	166038
187	dez	91	2315	39	2	deformações e riscos na vedação	261180
188	dez	91	2315	39	4	desgaste acentuado	119700
189	dez	91	2315	39	5	impurezas na área de vedação	104995
190	dez	91	2315	39	5	impurezas na área de vedação	152022
191	dez	91	2315	39	6	montagem inadequada	90759
192	dez	91	2315	39	6	montagem inadequada	90759
193	dez	91	2315	39	6	montagem inadequada	93226
194	dez	91	2315	39	6	montagem inadequada	96000
195	dez	91	2315	39	6	montagem inadequada	108180
196	dez	91	2315	39	6	montagem inadequada	140315
197	dez	91	2315	39	6	montagem inadequada	143553
198	dez	91	2315	39	6	montagem inadequada	147942
199	dez	91	2315	39	6	montagem inadequada	147942
200	dez	91	2315	39	6	montagem inadequada	148291

Continuação da Tabela 4 – Modos de falha dos dados de retorno

201	dez	91	2315	39	6	montagem inadequada	164358
202	dez	91	2315	39	6	montagem inadequada	166038
203	dez	91	2315	39	6	montagem inadequada	223222
204	dez	91	2315	39	6	montagem inadequada	264852
205	dez	91	2315	39	6	montagem inadequada	313871
206	dez	91	2315	39	6	montagem inadequada	335306
207	dez	91	2315	39	7	não apresentaram problemas que justificasse o vazamento	90935
208	dez	91	2315	39	7	não apresentaram problemas que justificasse o vazamento	102914
209	dez	91	2315	39	7	não apresentaram problemas que justificasse o vazamento	103237
210	dez	91	2315	39	7	não apresentaram problemas que justificasse o vazamento	136880
211	dez	91	2315	39	7	não apresentaram problemas que justificasse o vazamento	168839

APÊNDICE B – Tabela 7 – Tabela para o cálculo do estimador de Kaplan Meier

T	d	N	Confiabilidade R(t)
0	0	11818	1
772	1	11817	0,999915376
963	1	11816	0,999830752
1001	1	11815	0,999746128
1001	1	11814	0,999661505
1048	1	11813	0,999576881
1310	1	11812	0,999492257
1424	1	11811	0,999407633
1437	1	11810	0,999323009
1493	1	11809	0,999238385
1603	1	11808	0,999153762
1603	1	11807	0,999069138
1612	1	11806	0,998984514
1612	1	11805	0,99889989
1703	1	11804	0,998815266
1800	1	11803	0,998730642
1944	1	11802	0,998646018
1944	1	11801	0,998561395
2071	1	11800	0,998476771
2297	1	11799	0,998392147
2406	1	11798	0,998307523
2479	1	11797	0,998222899
2634	1	11796	0,998138275
2930	1	11795	0,998053652
3050	1	11794	0,997969028
3100	1	11793	0,997884404
3200	1	11792	0,99779978
3284	1	11791	0,997715156
3284	1	11790	0,997630532
3525	1	11789	0,997545908
3525	1	11788	0,997461285
4078	1	11787	0,997376661
4078	1	11786	0,997292037
4243	1	11785	0,997207413
4549	1	11784	0,997122789
4658	1	11783	0,997038165
4780	1	11782	0,996953542
4868	1	11781	0,996868918
4952	1	11780	0,996784294
4952	1	11779	0,99669967
4981	1	11778	0,996615046
4981	1	11777	0,996530422

Continuação da Tabela 7 – Tabela para cálculo de estimador de Kaplan-Meier

4987	1	11776	0,996445798
4987	1	11775	0,996361175
4992	1	11774	0,996276551
4997	1	11773	0,996191927
5000	1	11772	0,996107303
8155	1	11771	0,996022679
8921	1	11770	0,995938055
9625	1	11769	0,995853431
9657	1	11768	0,995768808
9747	1	11767	0,995684184
10535	1	11766	0,99559956
10535	1	11765	0,995514936
10666	1	11764	0,995430312
10666	1	11763	0,995345688
10974	1	11762	0,995261065
11001	1	11761	0,995176441
11001	1	11760	0,995091817
11369	1	11759	0,995007193
11566	1	11758	0,994922569
11566	1	11757	0,994837945
11992	1	11756	0,994753321
12066	1	11755	0,994668698
12384	1	11754	0,994584074
13300	1	11753	0,99449945
13300	1	11752	0,994414826
13300	1	11751	0,994330202
14059	1	11750	0,994245578
14121	1	11749	0,994160955
15328	1	11748	0,994076331
15473	1	11747	0,993991707
15474	1	11746	0,993907083
15912	1	11745	0,993822459
16025	1	11744	0,993737835
17106	1	11743	0,993653211
17756	1	11742	0,993568588
17925	1	11741	0,993483964
18152	1	11740	0,99339934
18257	1	11739	0,993314716
18881	1	11738	0,993230092
19873	1	11737	0,993145468
20352	1	11736	0,993060845
20352	1	11735	0,992976221
20529	1	11734	0,992891597

Continuação da Tabela 7 – Tabela para cálculo de estimador de Kaplan-Meier

20852	1	11733	0,992806973
21122	1	11732	0,992722349
21388	1	11731	0,992637725
22235	1	11730	0,992553101
22457	1	11729	0,992468478
24318	1	11728	0,992383854
24318	1	11727	0,99229923
24329	1	11726	0,992214606
24329	1	11725	0,992129982
29170	1	11724	0,992045358
30000	1	11723	0,991960735
30019	1	11722	0,991876111
30374	1	11721	0,991791487
30374	1	11720	0,991706863
30732	1	11719	0,991622239
30792	1	11718	0,991537615
30852	1	11717	0,991452991
30852	1	11716	0,991368368
30988	1	11715	0,991283744
33470	1	11714	0,99119912
33470	1	11713	0,991114496
34408	1	11712	0,991029872
34626	1	11711	0,990945248
34987	1	11710	0,990860625
35815	1	11709	0,990776001
36413	1	11708	0,990691377
36413	1	11707	0,990606753
36509	1	11706	0,990522129
37598	1	11705	0,990437505
37598	1	11704	0,990352881
37664	1	11703	0,990268258
37766	1	11702	0,990183634
38015	1	11701	0,99009901
38050	1	11700	0,990014386
39937	1	11699	0,989929762
39962	1	11698	0,989845138
43821	1	11697	0,989760515
43821	1	11696	0,989675891
44874	1	11695	0,989591267
44874	1	11694	0,989506643
45775	1	11693	0,989422019
47639	1	11692	0,989337395
47639	1	11691	0,989252771

Continuação da Tabela 7 – Tabela para cálculo de estimador de Kaplan-Meier

47956	1	11690	0,989168148
47956	1	11689	0,989083524
49215	1	11688	0,9889989
49588	1	11687	0,988914276
50845	1	11686	0,988829652
50969	1	11685	0,988745028
52493	1	11684	0,988660405
53028	1	11683	0,988575781
55225	1	11682	0,988491157
56846	1	11681	0,988406533
58595	1	11680	0,988321909
59499	1	11679	0,988237285
60680	1	11678	0,988152661
60680	1	11677	0,988068038
62159	1	11676	0,987983414
63444	1	11675	0,98789879
64279	1	11674	0,987814166
64359	1	11673	0,987729542
64865	1	11672	0,987644918
65025	1	11671	0,987560294
65854	1	11670	0,987475671
66059	1	11669	0,987391047
69355	1	11668	0,987306423
69355	1	11667	0,987221799
71649	1	11666	0,987137175
71903	1	11665	0,987052551
72156	1	11664	0,986967928
72365	1	11663	0,986883304
72411	1	11662	0,98679868
72741	1	11661	0,986714056
72872	1	11660	0,986629432
72958	1	11659	0,986544808
72958	1	11658	0,986460184
74996	1	11657	0,986375561
74999	1	11656	0,986290937
75671	1	11655	0,986206313
78340	1	11654	0,986121689
78340	1	11653	0,986037065
79135	1	11652	0,985952441
81188	1	11651	0,985867818
82613	1	11650	0,985783194
87879	1	11649	0,98569857
88799	1	11648	0,985613946

Continuação da Tabela 7 – Tabela para cálculo de estimador de Kaplan-Meier

90212	1	11647	0,985529322
90212	1	11646	0,985444698
90759	1	11645	0,985360074
90759	1	11644	0,985275451
90935	1	11643	0,985190827
93226	1	11642	0,985106203
96000	1	11641	0,985021579
96000	1	11640	0,984936955
102914	1	11639	0,984852331
103237	1	11638	0,984767708
104580	1	11637	0,984683084
104995	1	11636	0,98459846
105117	1	11635	0,984513836
105994	1	11634	0,984429212
108180	1	11633	0,984344588
119700	1	11632	0,984259964
136880	1	11631	0,984175341
140315	1	11630	0,984090717
143553	1	11629	0,984006093
143553	1	11628	0,983921469
143553	1	11627	0,983836845
147942	1	11626	0,983752221
147942	1	11625	0,983667598
148291	1	11624	0,983582974
148949	1	11623	0,98349835
149936	1	11622	0,983413726
149936	1	11621	0,983329102
152022	1	11620	0,983244478
152022	1	11619	0,983159854
164358	1	11618	0,983075231
164582	1	11617	0,982990607
166038	1	11616	0,982905983
166038	1	11615	0,982821359
168839	1	11614	0,982736735
170135	1	11613	0,982652111
175408	1	11612	0,982567488
179123	1	11611	0,982482864
184553	1	11610	0,98239824
193257	1	11609	0,982313616
195725	1	11608	0,982228992
198352	1	11607	0,982144368

Livros Grátis

(<http://www.livrosgratis.com.br>)

Milhares de Livros para Download:

[Baixar livros de Administração](#)

[Baixar livros de Agronomia](#)

[Baixar livros de Arquitetura](#)

[Baixar livros de Artes](#)

[Baixar livros de Astronomia](#)

[Baixar livros de Biologia Geral](#)

[Baixar livros de Ciência da Computação](#)

[Baixar livros de Ciência da Informação](#)

[Baixar livros de Ciência Política](#)

[Baixar livros de Ciências da Saúde](#)

[Baixar livros de Comunicação](#)

[Baixar livros do Conselho Nacional de Educação - CNE](#)

[Baixar livros de Defesa civil](#)

[Baixar livros de Direito](#)

[Baixar livros de Direitos humanos](#)

[Baixar livros de Economia](#)

[Baixar livros de Economia Doméstica](#)

[Baixar livros de Educação](#)

[Baixar livros de Educação - Trânsito](#)

[Baixar livros de Educação Física](#)

[Baixar livros de Engenharia Aeroespacial](#)

[Baixar livros de Farmácia](#)

[Baixar livros de Filosofia](#)

[Baixar livros de Física](#)

[Baixar livros de Geociências](#)

[Baixar livros de Geografia](#)

[Baixar livros de História](#)

[Baixar livros de Línguas](#)

[Baixar livros de Literatura](#)
[Baixar livros de Literatura de Cordel](#)
[Baixar livros de Literatura Infantil](#)
[Baixar livros de Matemática](#)
[Baixar livros de Medicina](#)
[Baixar livros de Medicina Veterinária](#)
[Baixar livros de Meio Ambiente](#)
[Baixar livros de Meteorologia](#)
[Baixar Monografias e TCC](#)
[Baixar livros Multidisciplinar](#)
[Baixar livros de Música](#)
[Baixar livros de Psicologia](#)
[Baixar livros de Química](#)
[Baixar livros de Saúde Coletiva](#)
[Baixar livros de Serviço Social](#)
[Baixar livros de Sociologia](#)
[Baixar livros de Teologia](#)
[Baixar livros de Trabalho](#)
[Baixar livros de Turismo](#)