



Fabiana Camila Simon

**TESTE ACELERADO DE DURABILIDADE EM
ROLAMENTOS**

Horizontina

2012

Fabiana Camila Simon

TESTE ACELERADO DE DURABILIDADE EM ROLAMENTOS

Trabalho Final de Curso apresentado como
requisito parcial para a obtenção do título de
Bacharel em Engenharia Mecânica, pelo Curso
de Engenharia Mecânica da Faculdade
Horizontina.

ORIENTADOR: Anderson Dal Molin, Mestre.

Horizontina

2012

FAHOR - FACULDADE HORIZONTINA
CURSO DE ENGENHARIA MECÂNICA

A Comissão Examinadora, abaixo assinada, aprova a monografia:

“Teste acelerado de durabilidade em rolamentos”

Elaborada por:

Fabiana Camila Simon

Como requisito parcial para a obtenção do grau de Bacharel em
Engenharia Mecânica

Aprovado em: 26/11/2012
Pela Comissão Examinadora

Prof. Me. Anderson Dal Molin
Presidente da Comissão Examinadora
Orientador

Prof. Esp. Vilmar Bueno Silva
FAHOR – Faculdade Horizontina

Prof. Dr. Richard Thomas Lermen
FAHOR – Faculdade Horizontina

Horizontina
2012

AGRADECIMENTOS

À minha família que sempre esteve presente, me concedendo apoio incondicional, e ao meu namorado Luis Leidemer.

Ao meu orientador Anderson Dal Molin por sua colaboração para o desenvolvimento deste trabalho e sua constante dedicação.

Aos orientadores da empresa, Daniel Brandalise e Hugo Scheid pelo apoio e dedicação para com este trabalho.

Aos colegas de trabalho, em especial aos colegas Alan Weiland e Marcelo Ioris, pelo apoio e ajuda para a realização deste trabalho.

À John Deere Brasil, pela grande oportunidade ofertada para o desenvolvimento deste trabalho e principalmente pelo meu desenvolvimento pessoal e profissional.

À todos professores da FAHOR que contribuíram para minha formação, tanto técnica quanto pessoal.

“A mente que se abre a uma nova ideia jamais voltará ao seu tamanho original.”

Albert Einstein

RESUMO

A realização de testes, tanto em laboratório quanto em campo, visam a avaliação da confiabilidade dos produtos. A avaliação de amostras de rolamentos esféricos em bancada de testes tende a simular condições reais de utilização em campo. A contaminação de rolamentos em campo por contaminantes do solo caracteriza-se como um problema de grandes proporções, que afeta a vida útil e o comportamento dos rolamentos. Desta forma, faz-se necessário o conhecimento do comportamento e a avaliação da confiabilidade dos mesmos. A avaliação da confiabilidade permite o diagnóstico de falhas ao longo do tempo e viabiliza a análise comparativa da estimativa da vida útil. Desta forma, o estudo vem a propor um teste comparativo entre rolamentos de semelhantes especificações em bancada de teste, a fim de estimar a durabilidade dos mesmos e avaliar a sua confiabilidade. Neste contexto, foram realizados testes em rolamentos de esferas que estão em constante contato com contaminantes do solo. Tratadas como amostras de rolamento do tipo A e rolamento do tipo B, as mesmas foram submetidas a parâmetros iguais de teste, onde através da manipulação de contaminantes sólidos na graxa de lubrificação obteve-se a aceleração do teste, visto que os contaminantes aceleraram o processo de falha. A comparação entre as amostras de rolamento tipo A e B com contaminantes 1 e 2, realiza-se através de análise de folga dos rolamentos ao longo do tempo de bancada, permitindo que as amostras tenham suas folgas individualmente controladas e que o gráfico de comportamento possa ser traçado. A utilização de softwares permitiu que a aceleração das amostras fosse estimada e que os rolamentos testados em bancada tenham sua vida útil aferida baseado no percentual estimado de contaminação em campo e no percentual imposto em bancada de teste. Os resultados obtidos indicam que a variação do contaminante imposto atua diretamente no comportamento das amostras ao longo do tempo, logo amostras A e B possuem comportamentos diferentes. As amostras de rolamento do tipo A demonstraram maior confiabilidade no teste realizado em bancada, possuindo maior durabilidade em comparação aos rolamentos do tipo B.

Palavras-chave:

Teste acelerado, Rolamentos, Confiabilidade.

ABSTRACT

The testing in both laboratory and field, aims to evaluate the reliability of products. The evaluate samples of ball bearings in test bench tends to simulate actual conditions of use in the field. The contamination of bearings in the field is characterized as a major problem, which affects the life and behaviour of the bearings. Thus, it is necessary to know the behaviour and reliability evaluation of them. The reliability evaluation allows fault diagnosis over time and enables comparative analysis of the estimated useful life. Therefore, the study is to propose a comparative test between bearing similar specifications in the test bench in order to estimate and asses its durability and reliability. In this context, tests were performed on spherical bearings that are in constant contact with soil contaminants. Samples considered as rolling bearing type A and type B, were subjected to the same test parameters, where by manipulating solid contaminants in lubricating grease obtained acceleration test, since the contaminants accelerates the process of failure. Comparison between the samples A and B type bearing contaminants with 1 and 2, is carried out by analysis of bearing play over time, allowing the samples to have their looseness individually controlled and that the behaviour graph can be built. The use of software allowed the evaluation of the samples' acceleration and that the bearings that were bench tested could have the estimated useful life based on the estimated contamination in the field and on the test bench. The results indicate that the variation of the dopant acts directly imposed on the behaviour of the samples over time, then samples A and B have different behaviours. Samples bearing type A demonstrated higher reliability testing conducted on bench, having greater durability compared to bearings of type B.

Keywords:
Accelerated test, Bearings, Reliability.

LISTA DE FIGURAS

Figura 1: Meios usados para aquisição de dados.	15
Figura 2: Rolamentos A e B	23
Figura 3: Sensor termopar tipo K utilizado em bancada de teste.	25
Figura 4: Componentes da bancada de testes de rolamentos.	27
Figura 5: Termopar inserido na bucha e fixado com silicone.....	29
Figura 6: Placa de Fixação para medição das amostras de rolamentos.....	31
Figura 7: Comportamento das amostras A e B com contaminante 1.....	35
Figura 8: Tendência médias dos rolamentos A e B com contaminante 1.	36
Figura 9: Análise de comportamento das amostras A e B com contaminante 2.	37
Figura 10: Tendência média das amostras A e B com contaminante 2.	38
Figura 11: Degradação dos Rolamentos - Rolamentos A/ contaminante 1.	40
Figura 12: Degradação dos Rolamentos - Rolamentos B/ contaminante 1.	42
Figura 13: Degradação dos Rolamentos - Rolamentos A/ contaminante 2.	43
Figura 14: Degradação dos Rolamentos - Rolamentos B/ contaminante 2.	44
Figura 15: Curva de <i>Weibull</i> na distribuição <i>Inverse Power Law</i>	47

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 Tempos de parada de bancada para medição de folga nas amostras.....	30
Tabela 2 Folgas obtidas nos rolamentos A e B com a imposição do contaminante 1.....	34
Tabela 3 Média de folga nos rolamentos tipo A e B	35
Tabela 4 Folgas obtidas nos rolamentos A e B com a imposição do contaminante 2.....	36
Tabela 5 Média de folga nos rolamentos tipo A e B.	37
Tabela 6 Resultados Gerais de Folga em graus para todas as amostras testadas	39
Tabela 7 Folga mm/ tempo de inspeção- Degradação do Rolamento- Amostra A1	40
Tabela 8 Folga mm/ tempo de inspeção- Degradação do Rolamento- Amostra B1	41
Tabela 9 Folga mm/ tempo de inspeção- Degradação do Rolamento- Amostra A2	42
Tabela 10 Folga mm/ tempo de inspeção-Degradação do Rolamento- Amostra B2	43
Tabela 11 Tempos estimados da falha por amostra	45

SUMÁRIO

1. INTRODUÇÃO	11
2. REVISÃO DA LITERATURA	14
2.1. TESTES	14
2.1.1. PROCEDIMENTO DE TESTE	14
2.1.2. ENSAIOS.....	15
2.1.3. ENSAIO ACELERADO DE VIDA	16
2.2. CONFIABILIDADE	17
2.2.1. ESTIMADORES PARAMÉTRICOS	18
2.2.2. DISTRIBUIÇÃO <i>WEIBULL</i>	18
2.3. AMOSTRAGEM	19
2.4. ROLAMENTOS.....	19
2.4.1. ROLAMENTO ESFÉRICO DE DUAS CARREIRAS DE CONTATO ANGULAR NÃO VEDADO	20
2.4.2. FALHAS CARACTERÍSTICAS DE ROLAMENTOS	20
2.5. SENSORES INDUSTRIALIS	22
3. METODOLOGIA	23
3.1. MATERIAIS E EQUIPAMENTOS	23
3.1.1. AMOSTRAS	23
3.1.2. REGISTRADOR DE DADOS “ <i>FIELDLOGGER</i> ”.....	23
3.1.3. SENSORES	24
3.1.4. PAINEL ELÉTRICO CLP	25
3.1.5. CÉLULA DE CARGA.....	25
3.1.6. CONTAMINANTES	26
3.1.7. BANCADA DE TESTES.....	26
3.1.8. SOFTWARES	27
3.2. METODOLOGIA DE TESTE	28
3.2.1. PROCEDIMENTO DE MEDAÇÃO DE FOLGA NAS AMOSTRAS TESTADAS	30
3.2.2. ANÁLISE DA CONFIABILIDADE	31
4. APRESENTAÇÃO E ANÁLISE DOS RESULTADOS	34
4.1. ANÁLISE ACELERADA DE VIDA - AMOSTRA A / CONTAMINANTE 1.....	39
4.2. ANÁLISE ACELERADA DE VIDA - AMOSTRA B / CONTAMINANTE 1.....	41
4.3. ANÁLISE DE VIDA ACELERADA - AMOSTRA A / CONTAMINANTE 2.....	42
4.4. ANÁLISE DE VIDA ACELERADA - AMOSTRA B / CONTAMINANTE 2.....	43
4.5. TEMPOS ESTIMADOS DE FALHA POR AMOSTRA	44
4.6. FATOR DE ACELERAÇÃO	45
4.7. CURVA DE <i>WEIBULL</i>	46
5. CONSIDERAÇÕES FINAIS	49
6. SUGESTÕES PARA TRABALHOS FUTUROS.....	50
REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....	51
ANEXO A – PRINCIPAIS DIMENSÕES DAS AMOSTRAS A/B	54
ANEXO B – REGISTRADOR ELETRÔNICO DE DADOS <i>FIELDLOGGER</i>	55
ANEXO C – REGISTRADOR ELETRÔNICO DE DADOS <i>FIELDLOGGER</i>	56
ANEXO D – SOFTWARE <i>FIELDCHART</i>	57

1. INTRODUÇÃO

Atualmente, as indústrias investem continuamente em tecnologias e estudos a fim de estimar a confiabilidade de seus produtos. Uma das maneiras de avaliar a confiabilidade de um produto ou ítem é a partir da utilização de testes de campo, testes simulados ou ainda testes de laboratório. Em geral, a confiabilidade é empregada para o conhecimento do comportamento do produto durante sua vida útil em situações rotineiras ou em alguns casos, atípicas a que o produto é exposto.

Os testes realizados em laboratório compreendem bancadas projetadas para simular condições reais de utilização dos produtos, constituindo-se de um método eficiente quando comparado aos testes de campo, porém, necessita de investimento em equipamentos e softwares para coleta de dados, onde, obrigatoriamente, deve haver o controle intermitente da bancada de testes para que falhas provenientes da bancada não sejam interpretadas como falhas dos itens testados.

Os testes acelerados, que consistem em submeter amostras a condições mais agressivas do que habitualmente as mesmas estão dispostas, são frequentes em laboratório, pois permitem que dados sejam coletados em curto espaço de tempo, como em testes de rolamentos, permitindo que fatores como temperatura, lubrificação e contaminação sejam alterados e controlados a fim de se chegar à falha ou determinar seu comportamento.

Os testes de rolamentos em bancada tendem a simular condições de campo a fim de investigar fatores que interferem diretamente ou indiretamente na vida útil, como a contaminação do meio em que os mesmos atuam. A forma com que estes testes são conduzidos varia de acordo com as especificações do componente a ser testado, a metodologia de teste a ser utilizada e o critério de aceitação para validação do mesmo.

A contaminação dos rolamentos em campo pode ocasionar inúmeros problemas que em suma comprometem a vida útil dos mesmos. O conhecimento do comportamento destes rolamentos, tanto em bancada de teste quanto em campo, e a avaliação de sua confiabilidade, são de extrema importância para a estimativa da vida útil, dos modos de falha e das falhas mais frequentes a que os rolamentos estão predispostos tendo em vista esta contaminação.

Tomando como situação crítica ou problema, a contaminação destes rolamentos em campo, pode-se destacar como problema de pesquisa a realização da avaliação comparativa de durabilidade entre as amostras através de bancada de teste, utilizando ensaio acelerado e a elaboração de uma metodologia adequada, que possibilite esta aceleração do modo de falha do componente através de contaminante imposto na graxa de lubrificação.

Justifica-se este trabalho pela grande carência no que se refere à análise de rolamentos, principalmente testes acelerados. O teste de amostras de rolamentos proporciona um comparativo entre amostras de diferentes modelos no que se refere ao comportamento e modos de falha, viabilizando a avaliação da confiabilidade das amostras testadas.

Os rolamentos utilizados estão em constante contato com o solo e apesar de serem rolamentos de alta qualidade e correta aplicação, podem apresentar problemas de contaminação da graxa com os componentes do solo, daí a importância da determinação de sua confiabilidade.

Desta forma, o objetivo geral desta pesquisa é testar amostras de rolamentos com semelhantes especificações utilizando-se de teste acelerado em bancada através da variação do percentual de contaminação imposto na graxa de lubrificação de ambas as amostras, verificando o comportamento das mesmas, estimando sua confiabilidade, com posterior simulação em campo. Para tanto, este trabalho possui os seguintes objetivos específicos:

- Fundamentar conceitualmente testes e confiabilidade;
- Testar amostras de rolamentos esféricos com dois percentuais diferentes de contaminação.
- Efetuar o comparativo de vida útil entre as amostras dos rolamentos testados.
- Estimar a confiabilidade dos rolamentos testados para a situação de campo em que os mesmos atuam.
- Efetuar comparativo de simulação em campo, com o percentual estimado de contaminação.

A empresa restringe a divulgação de algumas informações devido a confidencialidade de alguns dados. Diante disso, optou-se por tratar as amostras como rolamentos do tipo A e rolamentos do tipo B. A caracterização dos

contaminantes empregados para a aceleração do teste, serão tratados como contaminante 1 e contaminante 2.

2. REVISÃO DA LITERATURA

Na revisão da literatura são abordados os conceitos referentes aos testes, confiabilidade e amostras testadas.

2.1. TESTES

Na definição da engenharia, definem-se testes segundo Mialhe (1996), como sendo a simples verificação expedida referente a respostas a comandos, inspeções, entre outros.

De acordo com França (2007), a resolução de problemas de engenharia envolve dois métodos distintos, sendo eles o método teórico e o método experimental. O método experimental requer o uso de instrumentos e o conhecimento da forma mais adequada de sua aplicação e seus aparatos experimentais.

2.1.1. Procedimento de teste

Mialhe (1996), introduz que a base do processo de escolha para a tomada de decisão é formada principalmente pelas medidas, as quais devem possibilitar avaliações comparativas consistentes. Estas medidas, devem ser obtidas de forma padronizada, através de procedimentos, caso contrário, o processo de obtenção e repasse de informações ficará defeituoso, comprometendo até mesmo a confiabilidade.

De acordo com Mialhe (1996), são várias as fontes supridoras de dados para a tomada de decisão, dentre elas: ensaios, levantamentos e registros. O suprimento através de ensaios acontece de três formas:

-Ensaio de Laboratório: conduzidos sob pequenas amostras de componentes, seja de uma máquina ou de amostra única;

-Ensaio simulados: executados em bancadas ou instalações que reproduzem efeitos que ocorrem em condições reais, ou seja, ensaios de durabilidade, ensaios sob carga cíclica, etc.; e

-Ensaio de campo: ao contrário dos demais testes, no ensaio de campo a máquina toda é submetida á condições reais de operação. Neste caso é fundamental que exista uma perfeita caracterização das condições onde as mensurações foram realizadas.

Lida (2005), afirma que os experimentos de campo são efetuados a fim de verificar o comportamento do projeto em condições reais de uso, já os experimentos de laboratório tendem a representar situações ou eventos muito próximos da realidade. A Figura 1 apresenta as formas possíveis de obtenção das medidas necessárias, apresentando os meios mais utilizados para aquisição de dados.

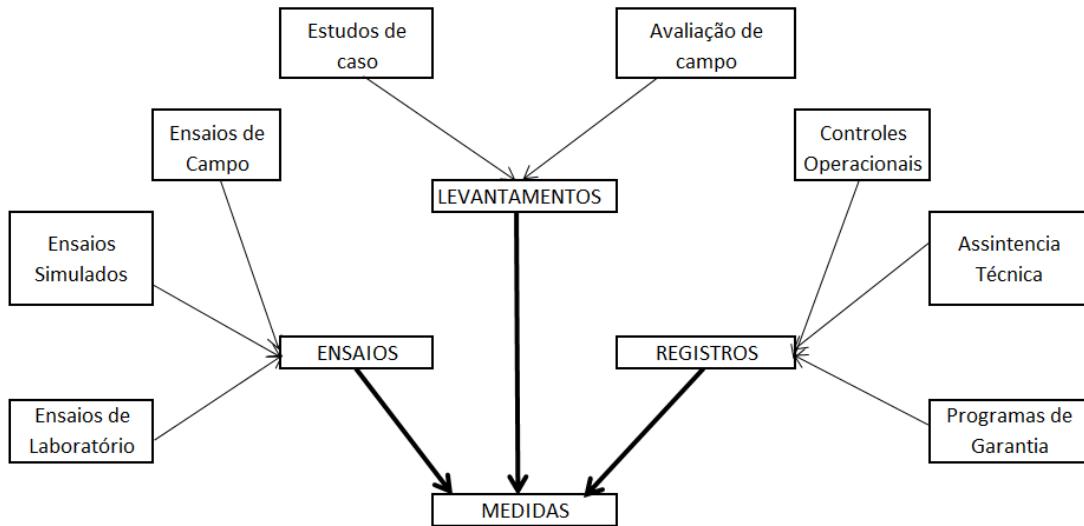


Figura 1: Meios usados para aquisição de dados. Fonte: Adaptado de Mialhe (1996)

2.1.2. Ensaio

Mialhe (1996), apresenta que o ensaio é a parte da avaliação que trata da mensuração de grandezas do comportamento de determinado espécime, para a obtenção de certos tipos de dados. No caso de um ensaio oficial, a caracterização do comportamento do espécime deve apresentar três tipos de confrontos, os quais:

- Comparação de desempenho sob várias condições especificadas pelo fabricante;
- Comparação com outros espécimes similares;
- Comparação com um conjunto de dados tomados como padrão.

Mialhe (1996), apresenta que a partir dos resultados obtidos no ensaio, eles são organizados em um relatório, tomando como básicos os seguintes princípios do ensaio:

- Especificidade;
- Comparabilidade;
- Reprodutibilidade;

-Confiabilidade.

De acordo com Mialhe (1996), um método de ensaio estabelece um conjunto de fatores que se possibilite a avaliação de aspectos particularizados do comportamento do componente. Esta caracterização constitui três modalidades distintas de condições de ensaios:

- Artificial ou laboratorial;
- Controlada;
- Determinada.

2.1.3. Ensaio acelerado de vida

Para Pinto (2004), testes acelerados são testes que acontecem através do ensaio de espécimes ou amostras sob condições mais severas do que o normal, falhando mais rapidamente.

Segundo Pinto (2004), a maneira mais eficaz e rápida para se obter informações a respeito da distribuição de vida de materiais ou produtos acontece através dos testes de vida acelerados, onde ainda é possível prever a sua confiabilidade.

Skromme apud Mialhe (1996) afirma que os ensaios acelerados possuem por finalidade a redução do tempo e custos dos ensaios.

Para Abackerli et al (2007), os ensaios acelerados consistem em colocar o produto em funcionamento a fim de avaliar a probabilidade de falha ao longo do tempo. Desta forma, as cargas de estresse são tratadas como variáveis, sendo portanto não ponderadas as incertezas inerentes ao arranjo experimental, tampouco influencia nos resultados obtidos através do teste.

De acordo com Mialhe (1996), a utilização de ensaios acelerados de durabilidade de componentes resulta em produtos de melhor qualidade em comparação aos ensaios de campo. Todavia, a efetividade destes ensaios depende do estabelecimento de confiáveis correlações entre os resultados obtidos e os dados coletados em campo.

Vassiliou e Mettas apud Abackerli et al (2007), relatam que a obtenção de medidas através das condições normais de funcionamento do produto é difícil, devido a fatores como a longa vida útil ou o curto tempo disponível para a realização dos ensaios, razão pela qual são executados os testes acelerados.

Vassiliou e Mettas apud Abackerli et al (2007), ressaltam ainda que os testes acelerados podem ser executados por meio de uso contínuo ou da aceleração pela aplicação de estresses.

2.2. CONFIABILIDADE

De acordo com Mialhe (1996), confiabilidade é o princípio que determina a conveniência das atividades relacionadas ao ensaio, estarem sob a responsabilidade de uma entidade, cuja missão é a realização de ensaios, comumente conhecida como “Centro de Ensaios” ou “Laboratório de Ensaios”.

Moura (2006), comenta que a escassez dos dados é uma característica da confiabilidade. Desta forma, os métodos que avaliam a confiabilidade envolvem a análise de falhas de um produto em suas condições de uso.

Para Burgess apud Werner (1996), existem dois tipos de informações que são requeridas para o cálculo da confiabilidade de um produto: o número total de falhas e o tempo total de operação para o período de interesse.

Ribeiro apud Lopes (2001), define confiabilidade como sendo a probabilidade de um produto em desempenhar sua função, através da especificação de tempo e sob condições específicas, ou ainda, pode ser definido como a probabilidade que um componente ou sistema apresenta de não chegar à falha durante sua vida útil.

De acordo com Lopes (2001), a função da confiabilidade é uma importante função probabilística utilizada para estudos que envolvam durabilidade.

O'Connor (2002) afirma que o conceito de confiabilidade significa tentativas de quantificação envolvendo métodos estatísticos.

Abackerli et al (2007), acrescenta que os estudos de confiabilidade e inclusive os testes acelerados estão sendo empregados por um grande número de empresas devido sua importância no desenvolvimento de novos produtos.

Camargo (2007), complementa que a confiabilidade é questionada em produtos pelos consumidores, o que faz com que as empresas se preocupem com o assunto.

Segundo Richter e Lopes (2004), a engenharia da confiabilidade é um sub-processo do processo de desenvolvimento de produtos, visto que pode determinar atividades relativas à confiabilidade nas suas diversas etapas.

De acordo com Lopes (2001), a melhoria da confiabilidade é sem dúvida um dos aspectos mais importantes de um programa de melhoria de qualidade. Para que isso se concretize, uma empresa deverá realizar diversas tarefas destinadas à avaliação do desempenho do produto, o que se costuma chamar de Análise de Confiabilidade.

Para Abackerli et al (2007), a confiabilidade caracteriza as chances ou estimativas do produto permanecer em funcionamento ao término de uma missão realizada. Esta informação, segundo o mesmo autor, é muito utilizada sob o enfoque do desenvolvimento de novos produtos, a fim de determinar, com uma dada confiança, o percentual de falhas em certos períodos, como por exemplo, o período de garantia.

Neste contexto, é comum estabelecer o tempo necessário para que um percentual dos produtos falhe, digamos 10%, que caracteriza a chamada vida típica $B_x = 10\%$ ou B_{10} . Em síntese, essa quantia de produtos que retornam em garantia é usada para estabelecer os limites aceitáveis de custo em garantia pelo fabricante, representando por isso uma questão estratégica dentro do empreendimento (ABACKERLI et al, 2007, p.69).

2.2.1. Estimadores paramétricos

Lopes (2001), define estimadores paramétricos como sendo outra técnica de análise de dados de durabilidade que requer a especificação de uma distribuição de probabilidade em função do tempo de falha, principalmente quando houver a não linearidade da taxa de falha de certo componente, ou seja, estimadores paramétricos são distribuições de probabilidade, ou modelos probabilísticos para o tempo de falha.

Ainda, segundo Lopes (2001), estas distribuições podem ser de quatro formas:

- Distribuição Exponencial;
- Distribuição Log-normal;
- Distribuição Weibull; e
- Distribuição Gamma.

2.2.2. Distribuição Weibull

Para Werner (1996), a distribuição “Weibull” é uma distribuição de probabilidade, sendo uma das mais populares no campo da confiabilidade.

De acordo com Lopes (2001), a distribuição *Weibull* foi proposta por Weibull em 1954 através de estudos relacionados ao tempo de falha devido à fadiga de metais.

Para Campanha (2007), as distribuições de “*Weibull*” têm sido amplamente utilizadas a fim de representar o tempo até que ocorra a falha, inclusive em rolamentos.

De acordo com Werner (1996), a distribuição “*Weibull*” origina-se da teoria dos valores extremos, ou seja, na distribuição dos menores valores definidos para valores positivos. Segundo Kapur apud Werner (1996), a distribuição “*Weibull*” é lembrada em sua forma acumulativa.

“A distribuição *Weibull* apresenta-se importante especialmente para a confiabilidade e análise de manutenção” (AL-FAWZAN, 2000, p. 2).

2.3. AMOSTRAGEM

De acordo com Lida (2005), a técnica da amostragem consiste em selecionar um número limitado de “sujeitos” que participarão do experimento. O tamanho da amostra depende dos fatores variabilidade e precisão.

Neste trabalho, as amostras compreendem dois tipos de rolamentos esféricos com semelhantes especificações, cujas características são apresentadas a seguir no ítem 2.4 e as principais dimensões estão dispostas no anexo A. Neste trabalho, a definição da quantidade de amostras necessárias não foi definida através de métodos estatísticos.

2.4. ROLAMENTOS

De acordo com NSK (2002), rolamentos são em geral constituídos por anéis, corpos rolantes e gaiola. Devido a direção da carga que irão apoiar, os mesmos podem ser classificados como rolamentos axiais ou radiais. Em função do tipo de corpo rolante, os mesmos podem ainda ser separados em rolamentos de esferas e rolamentos de rolos.

A NSK (2002), apresenta algumas vantagens dos corpos rolantes em relação aos deslizantes:

- O atrito de partida e a diferença com o atrito dinâmico são pequenos;
- Possibilitam a utilização pela substituição simples;
- Possibilitam a simplificação da configuração dos conjugados;

- Em geral, podem apoiar simultaneamente a carga radial e a carga axial.
- A utilização em altas e baixas temperaturas é relativamente facilitada; e
- Permitem a utilização na condição de pré-carga.

2.4.1. Rolamento esférico de duas carreiras de contato angular não vedado

De acordo com NSK (2002), os rolamentos de duas carreiras de esferas de contato angular possuem a configuração de duas peças de rolamento de uma carreira de esferas de contato angular, sendo dispostas costa a costa, onde os anéis internos e externos estão integrados em uma peça única. Desta forma, os mesmos apresentam capacidade de apoiar a carga axial em ambos os sentidos.

Quanto à capacidade de carga axial, Schaeffler (2012b, p.?) comenta que: “A capacidade de carga axial depende do ângulo de contato, ou seja, quanto maior for o ângulo ($\alpha = 30^\circ$), a mais alta será a carga axial a que o rolamento pode ser sujeito”.

Melconian (2003), ressalta que o rolamento de esferas de duas carreiras suporta cargas de média intensidade e carga axial leve, ambas simultaneamente. O mesmo é ainda recomendado para altas rotações. Estes rolamentos são os que mais atendem um extenso campo de aplicações.

“Rolamentos abertos são adequadas, dependendo do seu diâmetro externo, para diferentes gamas de temperatura de funcionamento. Rolamentos estão disponíveis para temperaturas de até 200 °C” (SCHAEFFLER, 2012b, p.?).

2.4.2. Falhas características de rolamentos

De acordo com o NSK (2002), as necessidades atuais em mecanismos de máquinas que comportam rolamentos apresentam um aumento cada vez mais crescente. Conseqüentemente a isso, as exigências com relação ao aumento da confiabilidade e também a liberação da manutenção são cada vez maiores, assim como a resistência em meios especiais, ou seja, meios mais agressivos.

De acordo com Lopes (2001), a definição de falha em algumas situações apresenta-se bem clara, embora muitas vezes possa envolver termos equívocos. Um tipo de falha que pode ser facilmente detectada constitui-se da falha catastrófica, onde o equipamento pára de funcionar. Em outros casos, as falhas acontecem gradativamente, ou seja, os produtos deterioram-se gradativamente com o tempo.

As causas mais comuns de defeitos em rolamentos de acordo com Ponci e Cunha (2005), são dentre outras, a seleção incorreta, lubrificação inadequada e falha de vedação.

Os defeitos em rolamentos evoluem de forma lenta e apresentam sinais antecedentes a falha final, como por exemplo, riscos nas pistas, roletes ou nas esferas, trincas, corrosão, contaminação, erosão e “*pitting*” (PONCI; CUNHA, 2005).

De acordo com a norma ISO 76 (2006), as deformações permanentes em rolamentos surgem nas esferas e também nas pistas com a aplicação de carga estática, tendendo a apresentar aumento gradual com o aumento da carga.

Ponci e Cunha (2005), definem que o processo de degradação de um rolamento pode acontecer na pista interna ou externa, podendo ser tanto nos elementos rolantes quanto na gaiola, podendo ainda alastrar-se para os demais componentes, podendo pertencer ao estagio inicial de evolução de falha, intermediário ou avançado. Estas considerações são importantes tendo em vista que permitem a detecção prematura das falhas e o acompanhamento seguro da localização, permitindo que haja a substituição ou troca do rolamento no momento mais adequado.

De acordo com Girodin apud Neves (2009), a contaminação do lubrificante por partículas é a principal causa de danos, tendo em vista que estas partículas podem causar indentações nas superfícies do rolamento.

Conforme Nepomuceno apud Neves (2009) os rolamentos podem apresentar defeito devido algumas causas:

- Sobrecarga;
- Desbalanceamento;
- Variações bruscas de temperatura, fora do especificado;
- Lubrificação inadequada;
- Partículas abrasivas ou corrosivas no lubrificante, contaminantes;
- Erro de projeto;
- Desgaste pelo uso (fadiga de material);
- Equipamento que permaneceu estacional durante longos períodos; e
- Erros de montagem.

De acordo com a ISO 281 (2007), existem métodos práticos para estimativa da vida:

- Lubrificação;

- Ambiente;
- Partículas de contaminantes; e
- Montagem.

2.5. SENsores INDUSTRIALs

Para Wendling (2010), sensor é o termo empregado para designar dispositivos sensíveis a alguma forma de energia.

De acordo com Thomazini e Albuquerque (2007), a função dos sensores é de obter o valor das variáveis físicas do ambiente a ser monitorado, sendo caracterizados desta forma, como dispositivos sensíveis a alguma energia do ambiente, como por exemplo, temperatura.

Segundo Thomazini e Albuquerque (2007), é necessário determinar as condições ou variáveis do sistema para que se possa efetuar o estudo da automação em sistemas industriais, comerciais, automobilísticos, etc. Os principais elementos atuadores sobre a automação industrial são os sensores e atuadores, pois através destes é possível verificar e interferir no ambiente.

Thomazini e Albuquerque (2007), destacam que sensores podem ser designados como dispositivos sensíveis a alguma forma do ambiente, podendo ser luminosa, térmica, cinética, relacionando informações que podem ser medidas.

3. METODOLOGIA

A metodologia é apresentada em duas etapas, isto é, a primeira descreve os materiais e equipamentos utilizados para a execução dos testes e, por fim, a segunda etapa descreve o método do teste.

3.1. MATERIAIS E EQUIPAMENTOS

3.1.1. Amostras

Os rolamentos utilizados para o teste comparativo de durabilidade são datados como rolamentos esféricos de duas carreiras, de contato angular, não vedados. Na Figura 2, estão, respectivamente, rolamento tipo A e rolamento tipo B. Estes rolamentos são encontrados nas plantadeiras, e exercem seu trabalho em contato direto com o solo. Desta forma, o teste visa a reprodução do ocorrido em contato direto com o solo.

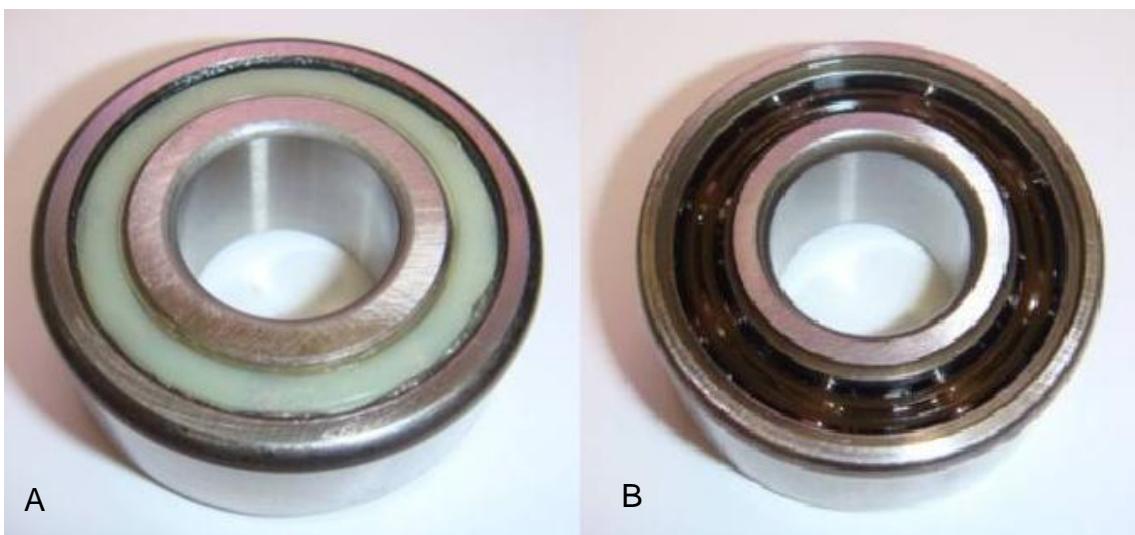


Figura 2: Rolamentos A e B

As especificações dos rolamentos estão dispostas no anexo A.

3.1.2. Registrador de dados “*FieldLogger*”

Para que possa ser efetuado o controle de temperatura, utiliza-se o registrador de dados “*FieldLogger*” e sensores termopares. O *FieldLogger* armazena as temperaturas que são aferidas através dos sensores termopares. Os sensores são acoplados ao registrador de dados e faz-se possível o monitoramento e a coleta de temperatura em cada conjunto de linha de plantadeira que contém um rolamento.

Cada termopar é conectado em uma entrada analógica no “*FieldLogger*”, sendo possível o monitoramento de vários canais ao mesmo tempo utilizando-se do software “*FieldChart*”, inclusive temperatura ambiente. Mais informações referente ao “*FieldLogger*” pode ser encontradas nos anexos B e C.

3.1.3. Sensores

Os sensores utilizados para controle de temperatura caracterizam-se como sensores termopares tipo K. Um termopar funciona efetuando a medida da diferença de potencial causada por fios diferentes, sendo utilizado para medir diretamente a diferença de temperaturas ou temperatura absoluta. Termopares cobrem uma faixa extensa de temperatura, variando de -20 °C a 2300 °C, possuindo uma boa precisão e repetibilidade aceitável (THOMAZINI; ALBUQUERQUE, 2007).

Os sensores termopares tipo K possuem em sua composição Níquel-Cromo (+) / Níquel-Alumínio (-), possuindo faixa de utilização que vai de -200°C a 900°C. Os mesmos são recomendados para atmosferas oxidantes ou inertes, não devendo ser utilizados em atmosferas redutoras ou sulfurosas. Seu uso no vácuo é por um curto espaço de tempo (THOMAZINI; ALBUQUERQUE, 2007).

São utilizados ao todo cinco termopares na bancada de teste, sendo um deles destinado ao controle da temperatura ambiente, e os demais ao controle de temperatura dos conjuntos que acomodam os rolamentos. Na Figura 3, pode-se observar o termopar utilizado.

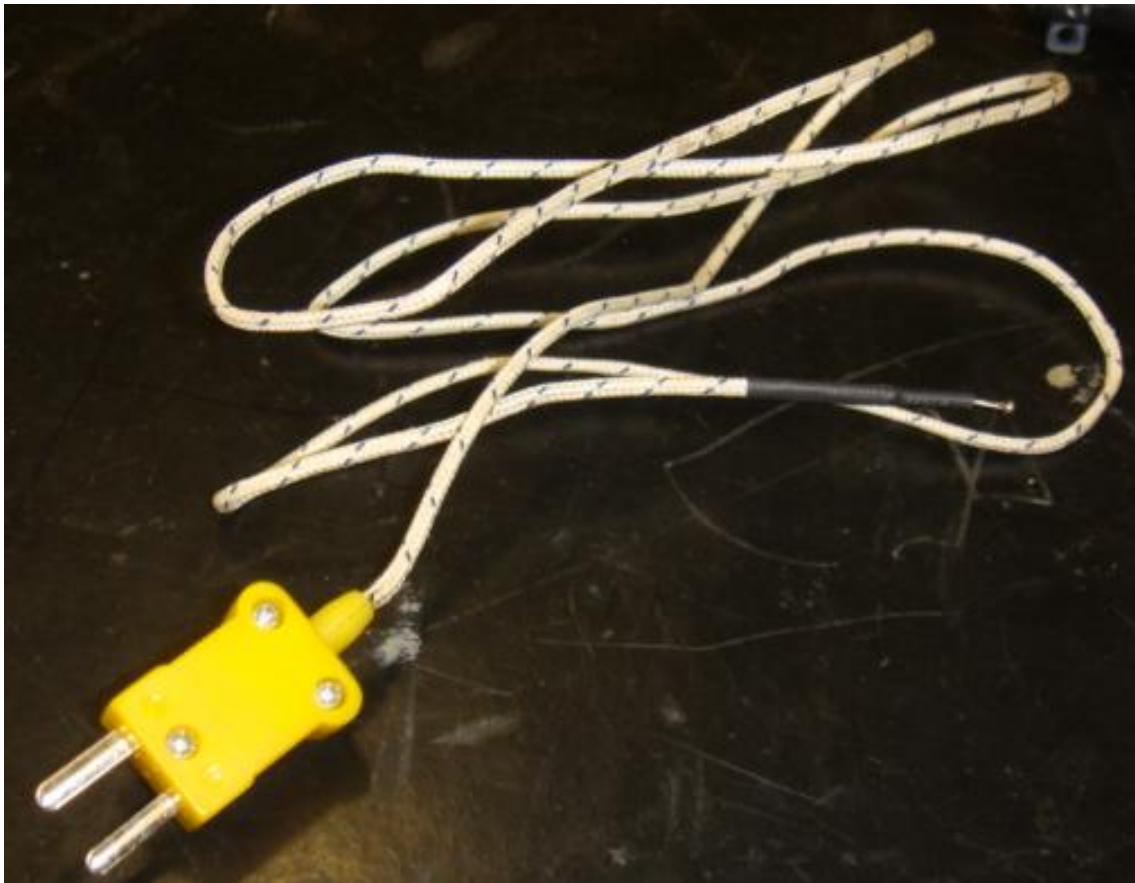


Figura 3: Sensor termopar tipo K utilizado em bancada de teste.

3.1.4. Painel elétrico CLP

O acionamento e parada da bancada é realizado através da utilização de um painel elétrico CLP (controle lógico programável). O painel CLP permite que se tenha um controle exato do tempo, número de ciclos e rpm da bancada de testes.

Através da utilização do registrador de dados “*FieldLogger*”, faz-se possível a instituição de uma temperatura limite. A temperatura limite adotada para o teste como sendo aceitável é de 90°C, após esta temperatura, o “*FieldLogger*” desarma o painel CLP e a bancada de teste é desligada automaticamente. Isso torna-se importante para a identificação dos rolamentos que estariam falhando por condições externas que não falha do próprio rolamento, assim como, por questões de segurança.

3.1.5. Célula de Carga

Para uniformidade de cargas, e simulação das cargas de campo, utiliza-se o indicador para máquinas de ensaio modelo 3105C e uma célula de carga de até 2 toneladas para medição da força de compressão existente nas molas do conjunto,

obtendo desta forma, carregamento uniforme de 400kgf em cada conjunto que contém um rolamento.

3.1.6. Contaminantes

Para que possa ser realizada a aceleração do teste, preparam-se dois tipos de contaminantes, caracterizados como contaminante tipo 1 que se concentra em menor percentual, sendo portanto mais brando, e contaminante tipo 2, que se concentra em maior percentual. Estes contaminantes durante o processo de execução do teste tendem a simular os contaminantes encontrados em campo, porém em percentuais mais agressivos justamente para promover a aceleração do teste. Sabe-se que em campo, os contaminantes são formados por componentes do solo, possuindo variações dependendo da região em que as plantadeiras são utilizadas. Quando em contato com os rolamentos, estes contaminantes podem provocar problemas, como contaminação da parte interna do rolamento, contaminação da graxa ou óleo de lubrificação, deteriorização das pistas internas e esferas, comprometimento da vida útil.

3.1.7. Bancada de testes

Com a existência da bancada que vinha sendo utilizada para testes afins, fez-se necessário algumas adaptações mais características ao teste desejado, desde substituição de peças até a substituição total de conjuntos.

Antecedente ao teste, algumas amostras são testadas a fim de verificar o comportamento da bancada de testes. Isto é extremamente importante para que sejam diagnosticadas quaisquer irregularidades oriundas da bancada de testes que possam vir a afetar a confiabilidade do teste e alterar os dados.

A bancada de testes conta com quatro conjuntos de linha de plantadeira, comportando dois rolamentos A e dois rolamentos B a serem testados simultaneamente. Na Figura 4 pode ser visualizada a bancada de testes e os seus respectivos componentes conforme segue a descrição a seguir.

A bancada de teste é composta por um eixo central (1) com ligação direta ao motor. O eixo central é sustentado por três mancais de rolamentos, possuindo quatro rodas (2) de aço acopladas. O motor de indução- gaiola, 15 HP e 1755 rpm é comandado pelo painel CLP que aciona o eixo e possibilita o movimento das rodas de aço. Desta forma, a bancada pode variar sua rotação. A rotação estipulada para

o teste mantém-se padrão à todas as amostras testadas, permanecendo constante em 970 rpm.

Para simular as condições de campo, a bancada é composta ainda por quatro conjuntos de linha de plantadeira. O conjunto fixado á bancada de teste é composto pelo suporte (3), pino (4), molas (5) e braço (6). Na parte interna de cada braço é fixada uma bucha projetada especialmente para a bancada que permite a fixação das rodas (7) de polipropileno. No conjunto da roda, ainda é fixada a flange (8) na parte externa da roda e o sistema de vedação (9) que contém graxeira. Os rolamentos ficam retidos na parte interna da flange. No interior da bucha que está acoplada à roda, existe um furo com diâmetro de 3 mm para a colocação dos termopares de contato, e preenchimento com silicone para a fixação dos mesmos.

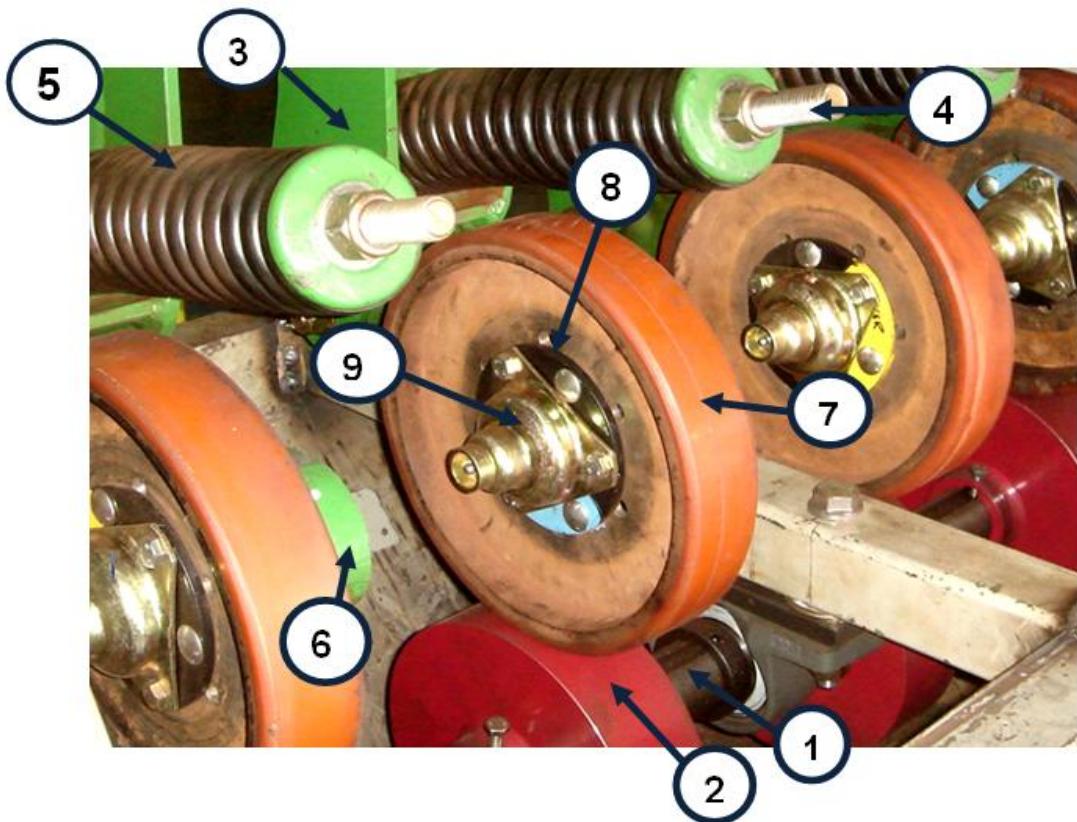


Figura 4: Componentes da bancada de testes de rolamentos.

3.1.8. Softwares

O Software utilizado, ALTA 7 (“*Accelerated Life Test Analysis*”– Análise de Teste de Vida Acelerado), é um software projetado para realizar análise quantitativa de dados de ensaios de vida acelerados, produzindo informações tempo de teste até

a falha, sendo que esta informação gerada é utilizada para estimar a vida útil do produto nas condições normais de uso. Os softwares ALTA e *Weibull++* estão interligados. (RELIASOFT, 2012a).

A distribuição de Weibull é uma das mais usadas distribuições em Engenharia de Confiabilidade, pois permite a definição das características de vida dos componentes testados. Este software permite a análise de confiabilidade de produtos que são testados através de testes acelerados (RELIASOFT, 2012b).

Neste caso, o software foi utilizado para a realização da análise de degradação no modelo Exponencial a fim de extrapolar os tempos até a falha baseando-se em sua performance (degradação) ao longo do tempo. Através do *Weibull ++* degradação, nos é possível extrapolar os tempos de falha esperada das amostras com base nas medições que refletem, valendo-se como uma medida de desempenho ao longo de um período de tempo (RELIASOFT, 2012b).

Foi utilizado o Software FieldChart para efetuar a comunicação e tratamento de dados contidos no FieldLogger. O software *FieldChart* de acordo com Novus (2012a), consiste em um software que permite a comunicação e tratamento dos dados do equipamento FieldLogger. O mesmo permite que sejam feitas visualizações na forma de gráfico, monitoramento dos dados, registro de histórico, exportação dos dados, gráficos de com até oito canais relacionados ás entradas analógicas, coleta dos dados do FieldLogger, entre outros.

Neste trabalho, o software é empregado para monitoramento das temperaturas aferidas pelos sensores termopares em bancada de teste, visualização dos gráficos gerados e exportação dos dados posteriormente. Maiores informações referente o software *FieldChart* estão dispostas no anexo D.

3.2. METODOLOGIA DE TESTE

Primeiramente, quatro amostras de rolamento foram fixadas na bancada de teste. Estas amostras correspondem a dois rolamentos tipo A e dois rolamentos tipo B a serem testados simultaneamente com sequência intercalada na bancada de teste.

Após a fixação dos rolamentos, a colocação dos termopares foi feita. Os termopares são fixados com silicone na bucha localizada internamente ao braço, conforme mostrado na Figura 5, e seus conectores são inseridos nas entradas

análogicas do “*FieldLogger*”. Um termopar é destinado ao controle da temperatura ambiente, logo o mesmo é fixado diretamente na bancada de teste.



Figura 5: Termopar inserido na bucha e fixado com silicone.

Primeiro, são montados os rolamentos na bancada de teste em posições intercaladas. A primeira bateria de teste corresponde á amostras com a imposição do contaminante 1. A lubrificação com o contaminante na graxa acontece no início do teste e entre as paradas de medição de folga. Para que o método de medição das folgas seja eficiente, foi necessário que o mesmo seja feito no decorrer do processo. Desta forma, sempre que há realocação dos rolamentos na bancada, posteriormente à medição de folga, há também a lubrificação dos mesmos com graxa que contém o respectivo contaminante. A parada da bancada deve respeitar que todas as amostras tenham a mesma quantidade de horas para fins de análise.

Na Tabela 1, encontra-se a distribuição das horas em que deve haver a parada de bancada e a retirada das amostras para medição de folga e posterior lubrificação.

Tabela 1
Tempos de parada de bancada para medição de folga nas amostras

Tipo Amostra	Contaminante	Paradas de bancada (Horas)				Lubrificação/Parada
A	1	5	12	20	24	Sim
B	1	5	12	20	24	Sim
A	2	3	8	16	20	Sim
B	2	3	8	16	20	Sim

As amostras de rolamento A e B com a imposição do contaminante 1, devem rodar até 5 horas. Quando alcançadas as 5 horas de teste, as amostras foram retiradas da bancada para efetuar a medição da folga. Em seguida, elas foram realocadas na bancada onde permanecem até que o teste atinja 12 horas a fim de efetuar novamente a medição de folga, e assim sucessivamente.

Após testadas as amostras com contaminante 1, o processo repete-se para o contaminante 2, onde novas amostras foram testadas. Destaca-se que em virtude do contaminante 2 ser mais agressivo, os tempos de parada de bancada foram menores.

3.2.1. Procedimento de medição de folga nas amostras testadas

Para que possa ser executado um comparativo, deve-se escolher um ponto para análise. O método comparativo, portanto, constitui-se da inspeção individual dos rolamentos e medição da folga, buscando a compreensão do comportamento após a imposição do contaminante. O procedimento para medição de folga em rolamentos conta com o auxílio de um inclinômetro digital (1), eixo (2), suporte ou placa divisora (3) para a fixação dos rolamentos, conjunto da flange (4) e ainda um peso padrão de 5 kg (5). Na Figura 6, podem ser observados os itens necessários descritos acima para a realização do procedimento de verificação de folga.

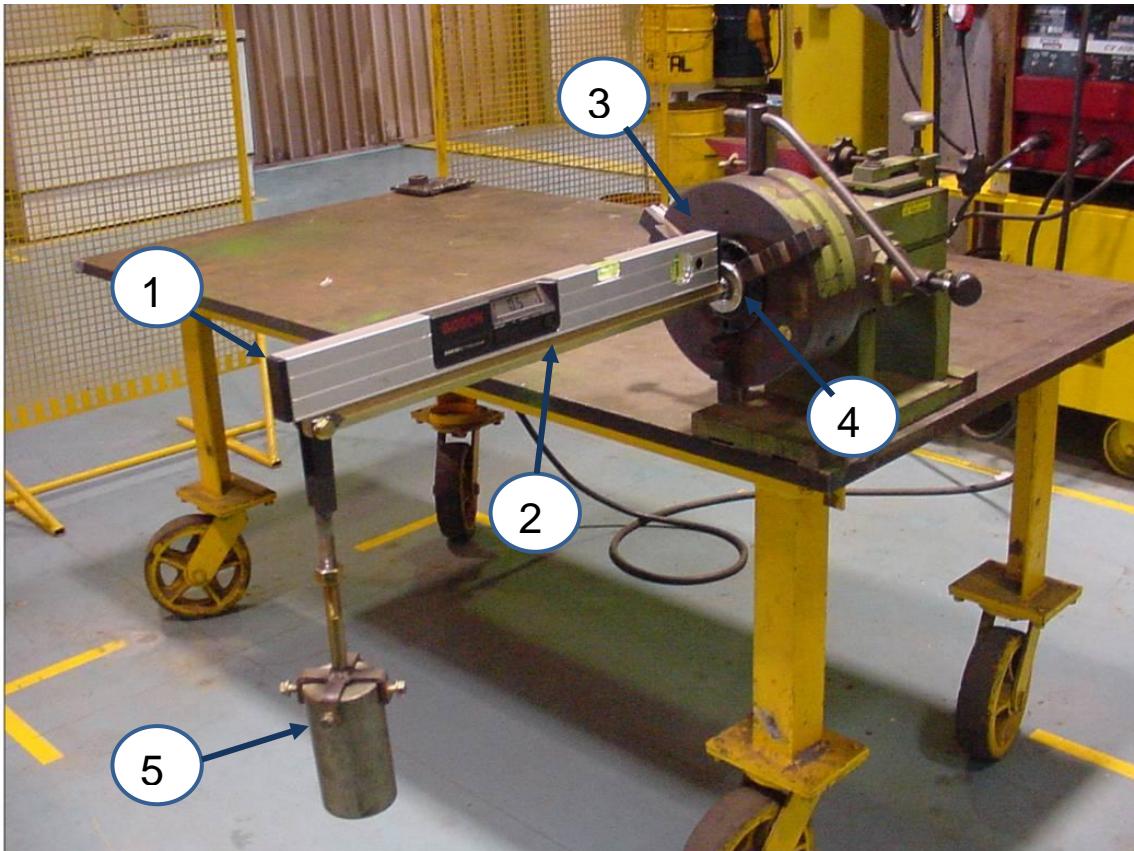


Figura 6: Placa de Fixação para medição das amostras de rolamentos.

Como o eixo está acoplado á flange que comporta o rolamento, o mesmo apresenta liberdade em 360° , desta forma, adota-se uma superfície do eixo como sendo o ponto de medida 1 e a outra superfície oposta (defasada 180°) o ponto de medida 2, a fim de que durante as medições possa-se girar o rolamento 180° e efetuar novamente as medições, comprovando os valores em ambos os lados.

A medida total do ângulo encontrado para cada amostra de rolamento corresponde: á medida da face 1 com 5kgf + medida da face 2 com 5kgf. Desta forma, com o somatório de ângulos, possui-se o valor do ângulo total por amostra de rolamento. É imprescindível a verificação das tolerâncias do inclinômetro utilizado, neste caso, ele pode variar 0/90 graus: ± 0.05 e 1/89 graus: ± 0.2 .

3.2.2. Análise da confiabilidade

O processo de análise da confiabilidade é realizado com o auxílio do software ALTA 7. Os dados mensurados com as medições das folgas dos rolamentos testados foram importados para o software.

Após a importação dos dados, o software apresentou o ranking dos modelos de degradação, onde escolhe-se o modelo que possui maior correlação com os dados. Em seguida, é definida a degradação crítica, neste caso fixada em 2 graus de folga. Quando a amostra analisada atinge 2 graus de folga, considera-se neste caso, que a mesma atingiu a falha.

Utilizando-se dos valores de folga já obtidos com as amostras do rolamentos testados, o software gera o gráfico degradação versus tempo, ou seja, a degradação é representada através da folga dos rolamentos, indicando que as amostras foram analisadas até o tempo de 24 horas, observando a folga máxima aceitável, neste caso estipulada em 2 graus e gerando os gráficos do tipo exponencial que representam o comportamento das amostras.

Como se considera falha como sendo igual ou acima de 2 graus de folga, não utiliza-se do método que propõe que a falha seja atingida quando o ítem perde sua funcionalidade, mas sim, quando o mesmo sofre modificações de especificação de qualquer espécie, como por exemplo, folga.

Estes gráficos gerados auxiliam no entendimento do comportamento das amostras, possibilitando a percepção das amostras que atingiram a degradação crítica de 2 graus.

Em seguida, foi realizada a extrapolação das amostras até a falha e gerada a tabela dos tempos estimados de falha por amostra, ou seja, permite que se conheça o tempo médio em horas estimado para falha dos rolamentos em bancada, considerando que no teste a falha é atingida quando as amostras possuírem folga de 2 graus.

Através da extrapolação, pode-se ainda ter conhecimento da aceleração das amostras no teste em comparação entre elas. Os valores de duração da vida das amostras foram alocados no software ALTA 7, sendo separados por rolamento A e B e o fator de aceleração ou extrapolação é gerado, considerando os casos de contaminante 1 e contaminante 2.

Uma forma de correlacionar a vida útil das amostras A e B é através da comparação com o campo. Desconhece-se o percentual de contaminação normal a que estes rolamentos estão dispostos no campo, porém, através do software, é possível fazer uma estimativa de contaminação do campo e realizar uma simulação a fim de determinar quantas horas estes rolamentos testados em bancada resistiriam em campo com o percentual estimado de contaminante. Como o mesmo é

desconhecido, adotou-se o percentual de campo em 1% de contaminação. Desta forma, o software relaciona a vida útil das amostras em campo com 1% de contaminação considerando degradação crítica ou folga limite de 2 graus.

Para o conhecimento do comportamento das amostras após 1% de contaminação em campo, pode-se fazer uso da curva de *Weibull*, possibilitando visualização do comportamento das mesmas em campo e em bancada de teste, mesmo já possuindo estes dados em termos comparativos de horas de vida útil. A curva de “*Weibull*” é utilizada principalmente para o conhecimento do tempo até que a falha do ítem ocorra.

Neste momento é que se define qual tipo de distribuição a ser empregado no gráfico de “*Weibull*”. Existem vários modelos que podem ser utilizados dependendo do tipo de teste. O “*Inverse Power Law*”, utilizado neste caso, é o que melhor se relaciona com testes acelerados e é o modelo utilizado para a constituição do gráfico que correlaciona a vida ao *stress* das amostras.

4. APRESENTAÇÃO E ANÁLISE DOS RESULTADOS

No decorrer do teste, algumas amostras não foram consideradas como válidas para a realização dos comparativos, decorrente de problemas de bancada, sendo as mesmas descartadas. Desta forma, as amostras apresentadas neste trabalho são julgadas como válidas para análise comparativa e avaliação da confiabilidade.

Na Tabela 2 estão expostas as folgas em graus encontradas nas amostras A e B com a imposição do contaminante 1, distribuídos pelo número correspondente da amostra e o tempo relativo ao teste em que a folga foi avaliada.

Tabela 2

Folgas obtidas nos rolamentos A e B com a imposição do contaminante 1.

Tempo (horas)	Contaminante 1		Contaminante 1	
	A 1	A 2	A 3	A 4
5	0,8	0,7	0,7	0,8
12	1	0,9	0,7	1,1
20	1,5	1,1	1,3	1,8
24	1,4	1,5	1,3	2,2

Tempo (horas)	Contaminante 1		Contaminante 1	
	B 1	B 2	B 3	B 4
5	0,9	0,8	0,9	0,8
12	1,4	1,4	1,2	1,2
20	1,8	1,7	1,7	1,7
24	2,1	2	1,8	1,7

O comportamento geral das amostras de rolamento tipo B apresenta-se semelhante às amostras tipo A em até 5 horas de teste. A partir de 5 horas, verifica-se valores maiores de folga nos rolamentos do tipo B, como pode ser visualizado na análise de comportamento das amostras com a imposição do contaminante 1, correspondente ao gráfico exposto na Figura 7.

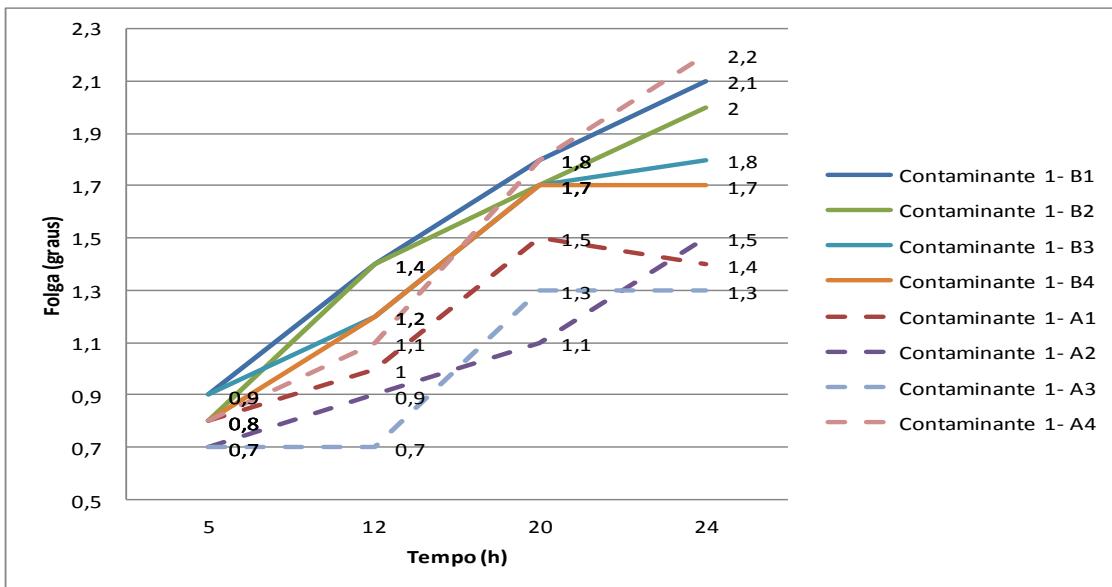


Figura 7: Comportamento das amostras A e B com contaminante 1.

De acordo com o gráfico folga em função do tempo apresentado na Figura 7, as folgas dos rolamentos tipo B apresentam em geral, crescimento superior em comparação às folgas dos rolamentos tipo A no decorrer do tempo, conforme análise das médias das folgas, Tabela 3.

Tabela 3
Média de folga nos rolamentos tipo A e B

Tempo (Horas)	Médias A1	Médias B1
5	0,75	0,85
12	0,925	1,3
20	1,425	1,725
24	1,6	1,9

Esta tendência de maior aumento da folga nos rolamentos tipo B pode ser visualizada também na Figura 8 que apresenta o gráfico das médias de folga em graus encontradas em função do tempo para as amostras com contaminante 1.

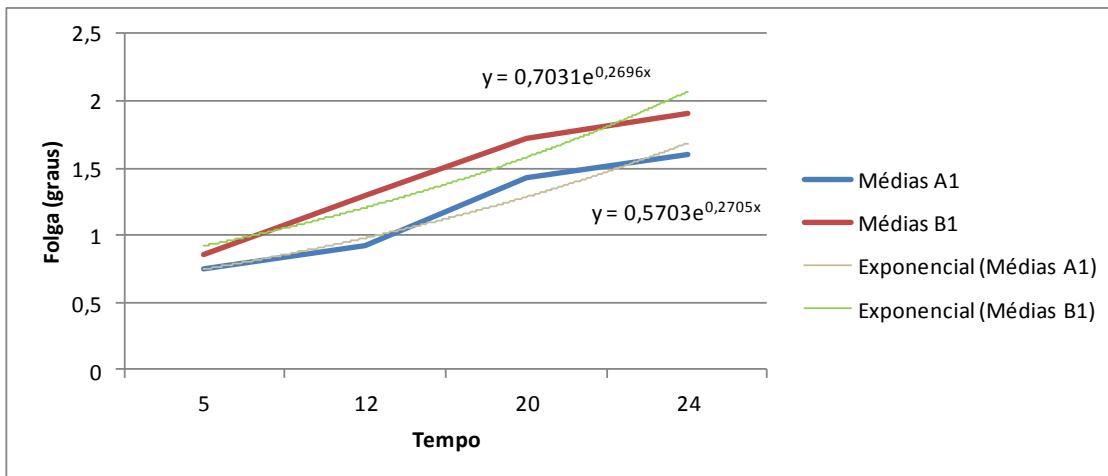


Figura 8: Tendência médias dos rolamentos A e B com contaminante 1.

O processo de análise de folga entre as amostras com a imposição do contaminante 2 acontece da mesma forma. As folgas medidas com a imposição do contaminante 2 podem ser visualizadas na Tabela 4.

Tabela 4
Folgas obtidas nos rolamentos A e B com a imposição do contaminante 2

Tempo (Horas)	Contaminante 2 A 1	Contaminante 2 A 2
3	1,1	1,5
8	1,8	2
16	2,5	2,6
20	3,9	3,3
Tempo (Horas)	Contaminante 2 B 1	Contaminante 2 B 2
3	1,3	1,7
8	2,2	2,9
16	3,8	3
20	5,6	4,1

No caso da imposição do contaminante 2, as amostras A e B demonstram similaridade do comportamento em até 3 horas de teste. A partir de 3 horas de teste, as amostras de rolamento B apresentam aumento de folga, conforme pode ser visto no gráfico da Figura 9.

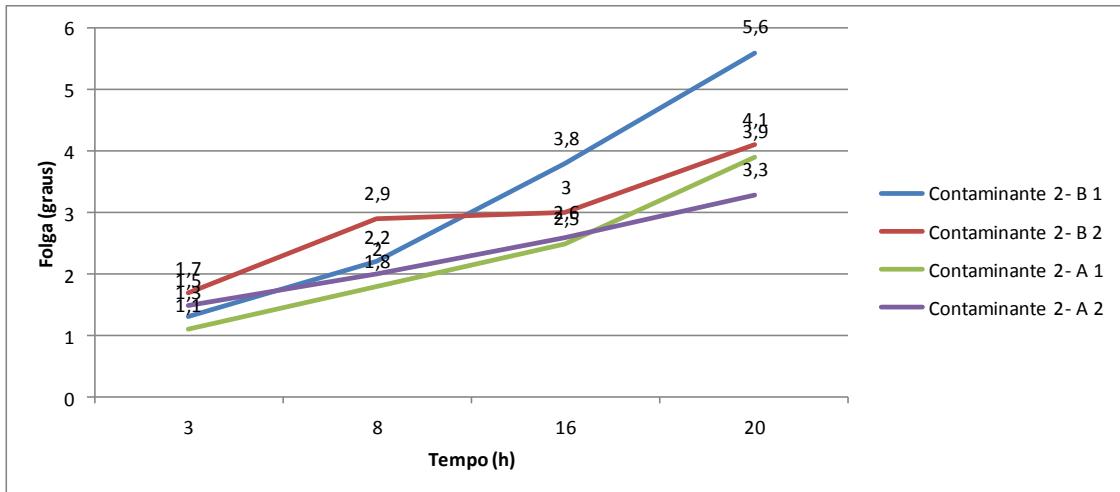


Figura 9: Análise de comportamento das amostras A e B com contaminante 2.

No comparativo entre as médias das amostras com contaminante tipo 2, percebe-se que, conforme Tabela 5, as folgas dos rolamentos tipo B demonstram-se superiores.

Tabela 5
Média de folga nos rolamentos tipo A e B.

Tempo (Horas)	Médias A2	Médias B2
3	1,3	1,5
8	1,9	2,55
16	2,55	3,4
20	3,6	4,85

A Figura 10, corresponde ao gráfico da folga em função do tempo, onde verifica-se que o crescimento de folga prevalece em ambas amostras e demonstra que, assim como na utilização do contaminante 1, as amostras tipo B possuem aumento maior de folga.

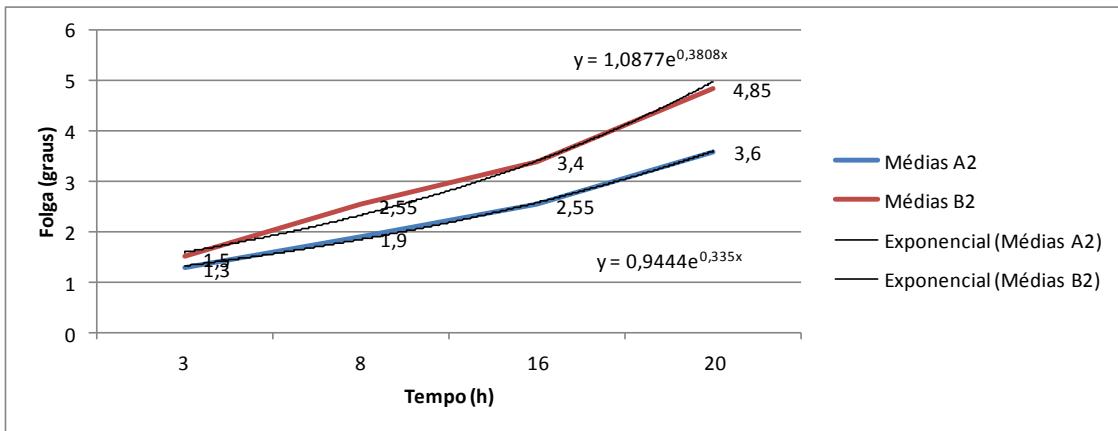


Figura 10: Tendência média das amostras A e B com contaminante 2.

A partir da análise realizada e dos dados coletados, têm-se alguns resultados acerca do teste comparativo, como o comportamento das amostras nas condições impostas. Foi possível perceber que os rolamentos tipo A e B possuem comportamentos diferentes e as amostras de rolamento tipo B demonstram uma tendência maior em aumento em folga. Através da Tabela 6, percebe-se ainda que do total de 12 (doze) amostras testadas, 7 (sete) amostras atingiram o nível de degradação crítica estipulado para o teste, ou seja, 2 graus de folga. Deste total, duas amostras de rolamentos tipo B e apenas uma amostra de rolamento tipo A atingiram este nível de degradação com a imposição do contaminante 1 no tempo de 24 horas de teste. Com a imposição do contaminante 2, do total de quatro amostras testadas, duas amostras do rolamento tipo B e uma amostra de rolamento tipo A atingiram o nível de degradação crítica em apenas 8 horas de teste, e uma amostra de rolamento A atingiu a degradação crítica com 16 horas de teste. Estes resultados apontam a agressividade do contaminante 2 e a maior incidência de falha nos rolamentos do tipo B, assim como seus valores superiores de folga, visto que com 20 horas de teste, com contaminante 2, todas amostras ultrapassaram a degradação crítica.

Tabela 6

Resultados Gerais de Folga em graus para todas as amostras testadas

Resultados Gerais de Folga em graus para todas as amostras testadas

			Tempo (h)				Valores das folgas
Rolamento	Nº amostra	Contaminante	5	12	20	24	
A	1	1	0,8	1	1,5	1,5	
A	2	1	0,7	0,9	1,1	1,5	
A	3	1	0,7	0,7	1,3	1,3	
A	4	1	0,8	1,1	1,8	2,2	
B	1	1	0,9	1,4	1,8	2,1	
B	2	1	0,8	1,4	1,7	2	
B	3	1	0,9	1,2	1,7	1,8	
B	4	1	0,8	1,2	1,7	1,7	
			Tempo (h)				Valores das folgas
Rolamento	Nº amostra	Contaminante	3	8	16	20	
A	1	2	1,1	1,8	2,5	3,9	
A	2	2	1,5	2	2,6	3,3	
B	1	2	1,3	2,2	3,8	5,6	
B	2	2	1,7	2,9	3	4,1	

4.1. ANÁLISE ACELERADA DE VIDA - AMOSTRA A / CONTAMINANTE 1

O processo de análise da confiabilidade demonstra a tendência das amostras em atingirem o nível de degradação crítica estimado em 2 graus. Na Tabela 7, pode-se visualizar os valores de folga, neste caso denominados de degradação, presentes nas amostras de rolamentos do tipo A com a utilização do contaminante 1.

Tabela 7
Folga mm/ tempo de inspeção- Degradação do Rolamento- Amostra A1

Tempo de inspeção (Horas)	Degradação (mm)	Tipo de Contaminante	Tipo rolamento	Amostra Correspondente
5	0,8	1	A	1
12	1	1	A	1
20	1,5	1	A	1
24	1,5	1	A	1
5	0,7	1	A	2
12	0,9	1	A	2
20	1,1	1	A	2
24	1,5	1	A	2
5	0,7	1	A	3
12	0,7	1	A	3
20	1,3	1	A	3
24	1,3	1	A	3
5	0,8	1	A	4
12	1,1	1	A	4
20	1,8	1	A	4
24	2,2	1	A	4

O emprego dos valores da Tabela 7 no software ALTA 7, permitiu que se obtivesse o gráfico degradação versus tempo das amostras. O mesmo pode ser avaliado na Figura 11, que apresenta o gráfico de degradação versus tempo.

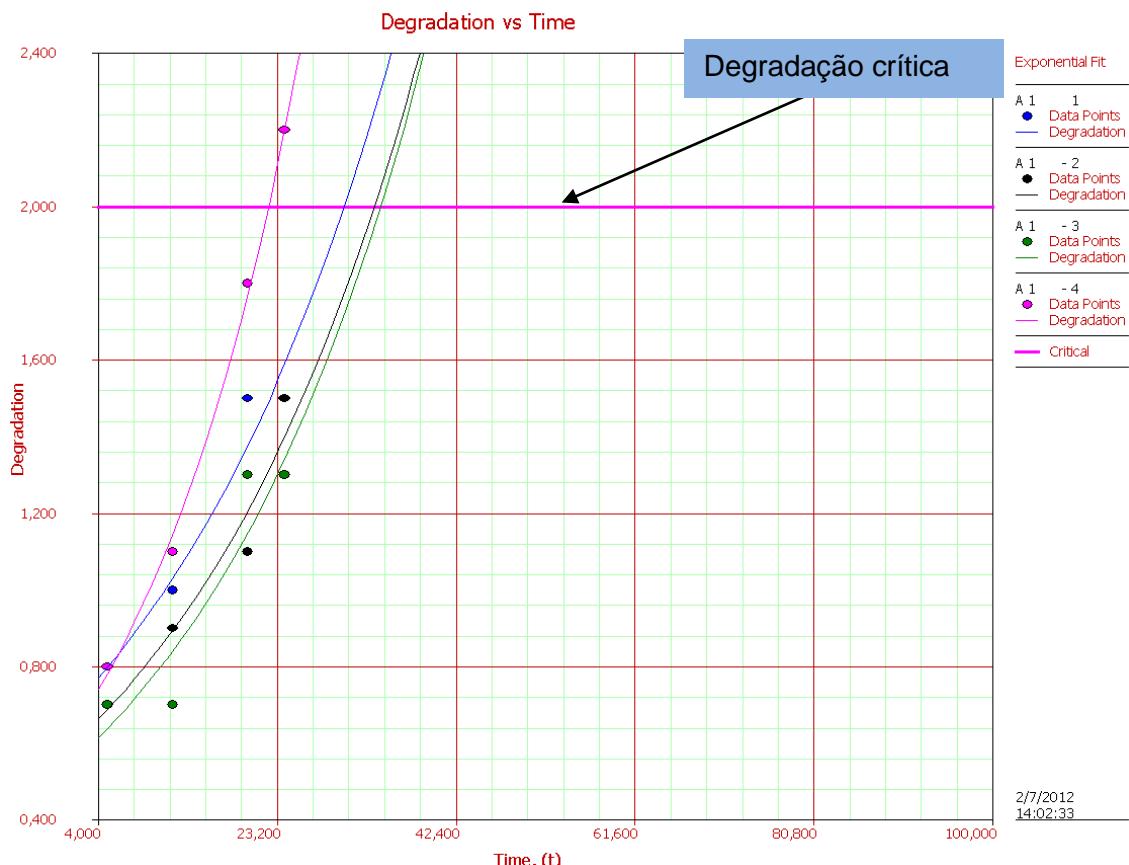


Figura 11: Degradação dos Rolamentos- Rolamentos A/ contaminante 1.

Pode-se afirmar que conforme gráfico exposto na Figura 11, apenas uma amostra ultrapassa o nível de degradação crítica no tempo estimado de 24 horas.

4.2. ANÁLISE ACELERADA DE VIDA - AMOSTRA B / CONTAMINANTE 1

Na Tabela 8, estão os valores de degradação (folga em graus) dos rolamentos tipo B com imposição do contaminante 1.

Tabela 8

Folga mm/ tempo de inspeção- Degradação do Rolamento- Amostra B1

Tempo de inspeção (Horas)	Degradação (mm)	Tipo de Contaminante	Tipo de Rolamento	Amostra Correspondente
5	0,9	1	B	1
12	1,4	1	B	1
20	1,8	1	B	1
24	2,1	1	B	1
5	0,8	1	B	2
12	1,4	1	B	2
20	1,7	1	B	2
24	2,0	1	B	2
5	0,9	1	B	3
12	1,2	1	B	3
20	1,7	1	B	3
24	1,8	1	B	3
5	0,8	1	B	4
12	1,2	1	B	4
20	1,7	1	B	4
24	1,7	1	B	4

O gráfico gerado de degradação versus tempo, Figura 12, para a amostra de rolamento tipo B, indica que com degradação limite estimada em 2 graus, duas amostras encontram-se na degradação crítica, o restante das amostras apresentam uma tendência exponencial de crescimento de folga.

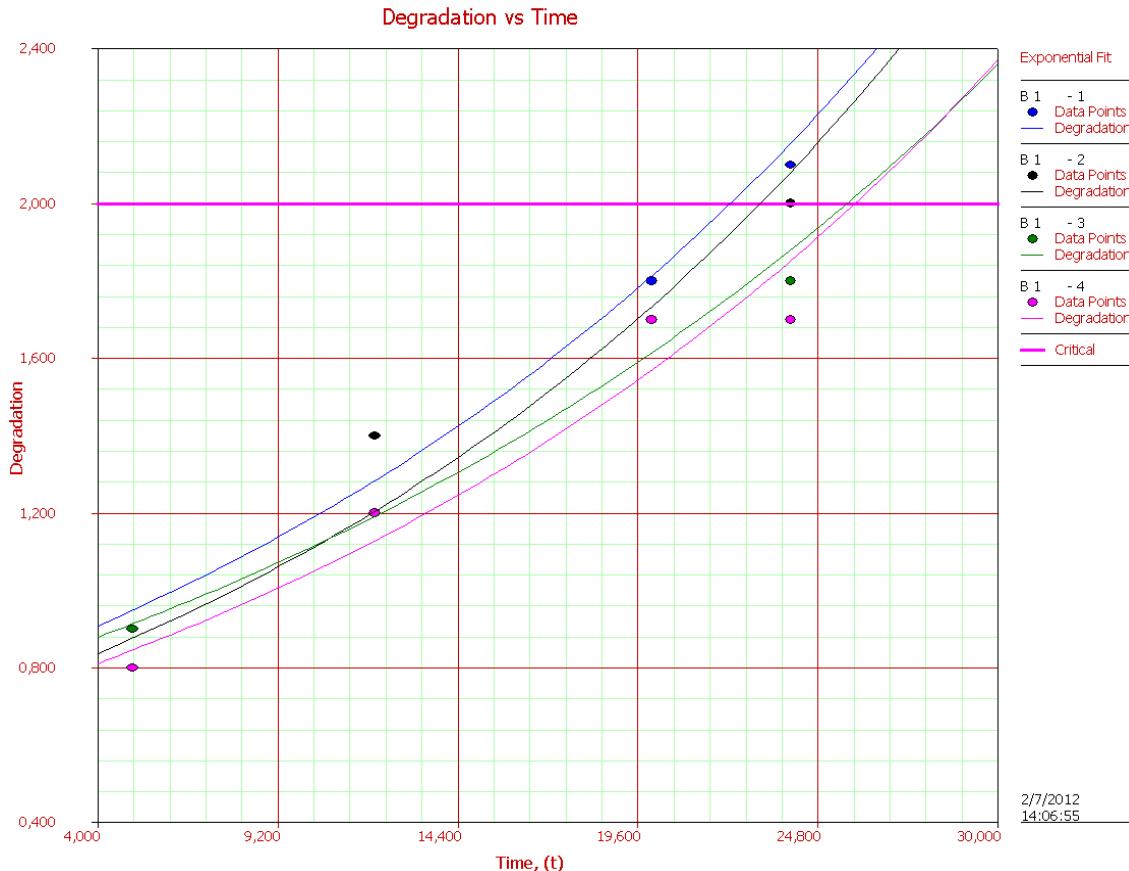


Figura 12: Degradação dos Rolamentos - Rolamentos B/ contaminante 1.

4.3. ANÁLISE DE VIDA ACELERADA - AMOSTRA A / CONTAMINANTE 2

Na Tabela 9, são encontrados os valores de folga para as amostras de rolamento tipo A com a imposição do contaminante 2. Verifica-se que independente do tipo de amostra de rolamento, a condição de imposição do contaminante 2 apresenta-se mais agressiva quando comparado ao contaminante 1.

Tabela 9
Folga mm/ tempo de inspeção- Degradação do Rolamento- Amostra A2

Tempo de inspeção (Horas)	Degradação (mm)	Tipo de Contaminante	Tipo de rolamento	Amostra correspondente
3	1,1	2	A	5
8	1,8	2	A	5
16	2,5	2	A	5
20	3,9	2	A	5
3	1,5	2	A	6
8	2	2	A	6
16	2,6	2	A	6
20	3,3	2	A	6

Na Figura 13, verifica-se que com a mesma analogia da degradação crítica de 2 graus, o gráfico degradação versus tempo indica que com apenas 8 horas de teste, uma amostra já alcançou a degradação crítica.

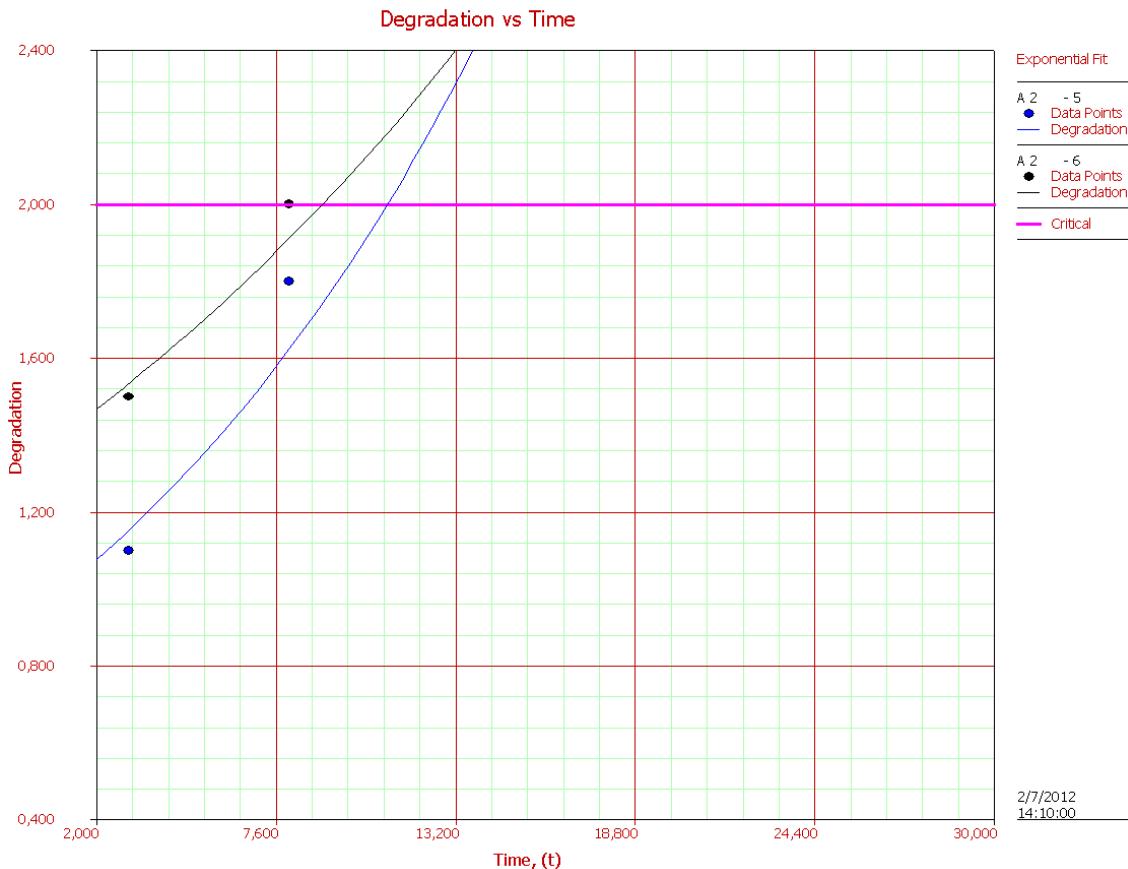


Figura 13: Degradação dos Rolamentos - Rolamentos A/ contaminante 2.

4.4. ANÁLISE DE VIDA ACELERADA - AMOSTRA B / CONTAMINANTE 2

Na Tabela 10, encontram-se os valores de folga dos rolamentos tipo B com a imposição do contaminante 2.

Tabela 10

Folga mm/ tempo de inspeção- Degradação do Rolamento- Amostra B2

Tempo de inspeção (Horas)	Degradação (mm)	Tipo de Contaminante	Tipo de rolamento	Amostra correspondente
3	1,3	2	B	5
8	2,2	2	B	5
16	3,8	2	B	5
20	5,6	2	B	5
3	1,7	2	B	6
8	2,9	2	B	6
16	3,0	2	B	6
20	4,1	2	B	6

No gráfico degradação versus tempo, Figura 14, é possível verificar que com exceção das folgas iniciais, os demais pontos ultrapassam o aceitável em folga estipulado em 2 graus com apenas 8 horas de teste.

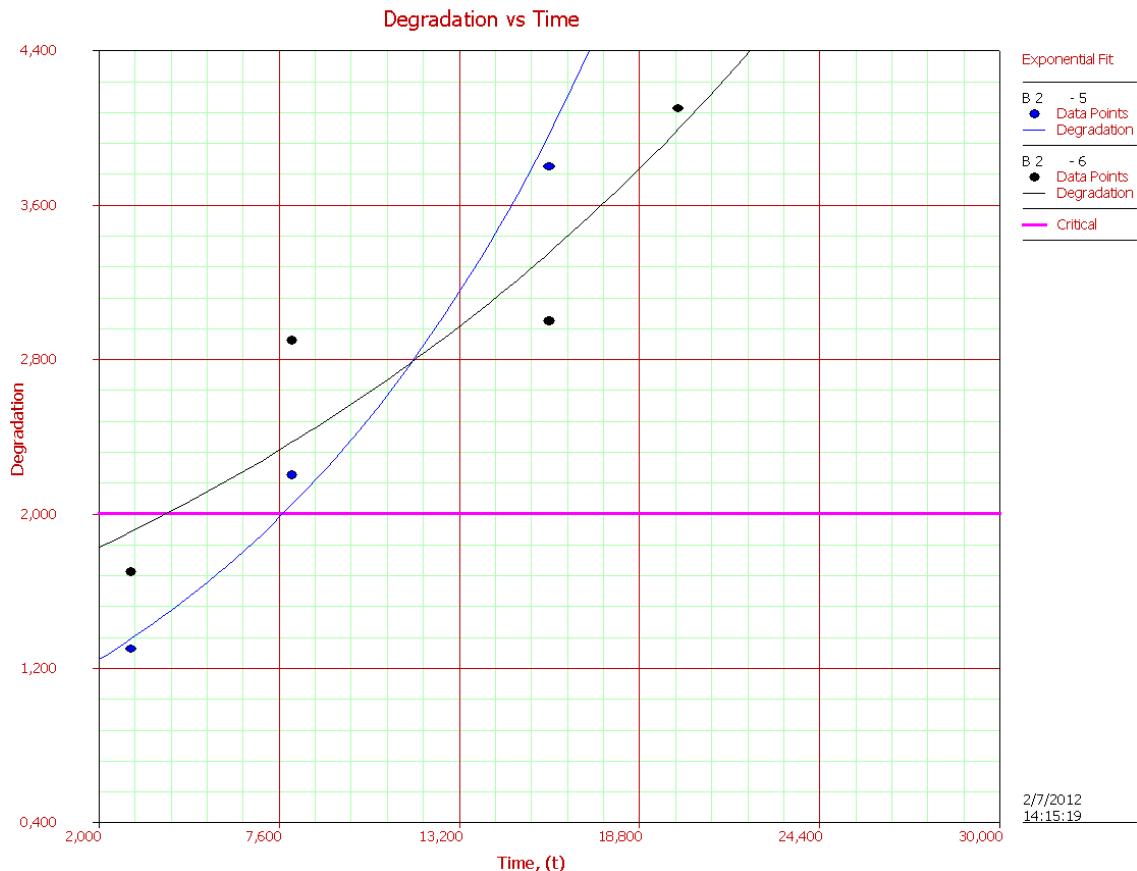


Figura 14: Degradação dos Rolamentos - Rolamentos B/ contaminante 2.

Através da análise dos gráficos pôde-se perceber que o contaminante 2 se demonstra mais agressivo em comparação ao contaminante 1, e as amostras possuem comportamentos diferentes. Os rolamentos do tipo A possuem melhor comportamento no que se refere à folga em graus (degradação) ao longo do tempo, visto que com a imposição do contaminante 1, apenas uma amostra alcançou o nível de degradação crítica estimada em 2 graus em 24 horas, ao passo que duas amostras de rolamento tipo B alcançaram a degradação crítica com contaminante 1 em 24 horas.

4.5. TEMPOS ESTIMADOS DE FALHA POR AMOSTRA

O tempo médio em horas estimado para falha do rolamento em bancada através da extrapolação das amostras até a falha, como pode ser visto na Tabela 11,

demonstra que as amostras de rolamento tipo B necessitam de menor tempo para atingir a falha, independente da contaminação empregada.

Tabela 11
Tempos estimados da falha por amostra

Tempo para Falha	Contaminante	Número/Amostra
30,36358781	1	1 A
33,5992513	1	2 A
34,27350228	1	3 A
22,26286777	1	4 A
22,26764185	1	1 B
23,1307583	1	2 B
25,63847087	1	3 B
25,86945184	1	4 B
11,06336992	2	5 A
9,043896056	2	6 A
7,715982448	2	5 B
4,078308131	2	6 B

Através da Tabela 11, verifica-se novamente o predomínio do rolamento A no quesito maior vida útil ou ainda maior tempo para falha em comparação ao rolamento B.

4.6. FATOR DE ACELERAÇÃO

Através da importação dos dados contidos na Tabela 11, definimos a aceleração entre as contaminações presentes em bancada. A determinação do fator de aceleração é importante para a verificação de qual tipo de amostra tende a chegar à falha mais rápido.

A partir dos dados obtidos, o software ALTA 7 indica que para os rolamentos do tipo A, o fator de aceleração é de 3,0787. Para os rolamentos do tipo B, o fator de aceleração gerado é de 3,4687. Isso significa que os rolamentos B atingem a falha mais rápido quando comparados aos rolamentos A, pelo fato dos mesmos terem um fator de aceleração maior.

Relacionando a degradação crítica ao percentual de contaminação estimado em campo, o software nos indica que os rolamentos do tipo B possuem vida de 1440,616 horas em campo, acima dos rolamentos do tipo A, que apresentam vida de 1280,9228 horas de campo.

Assim, pode-se concluir que os rolamentos B possuem uma vida média 12,5% maior que os rolamentos do tipo A, considerando uma estimativa de contaminação de campo de até 1%, com a degradação crítica de 2 graus.

Realizando a mesma analogia com a contaminação imposta em bancada de teste, ou seja, aumentando o nível de contaminação, os rolamentos A apresentaram vida de 30,5635 horas com contaminante 1 e 9,9274 horas com a imposição do contaminante 2. Os rolamentos B, apresentaram vida de 23,1294 horas com a imposição com contaminante 1 e 6,6681 horas com o contaminante 2.

Desta forma, com o contaminante 1, as amostras tipo A apresentam-se superiores em 32,14% de vida útil. Com a utilização do contaminante 2, as amostras tipo A apresentam-se superiores em 48,87% em termos de vida útil.

4.7. CURVA DE *WEIBULL*

Em termos comparativos, com a suposta contaminação de 1% em campo, os rolamentos tipo B apresentaram melhor desempenho, ou seja, maior vida útil. Para o conhecimento do comportamento das amostras ao longo de maiores percentuais de contaminação, ou seja, com os percentuais de bancada, faz-se uso da curva de “*Weibull*”, permitindo a visualização dos tempos até que ocorra a falha.

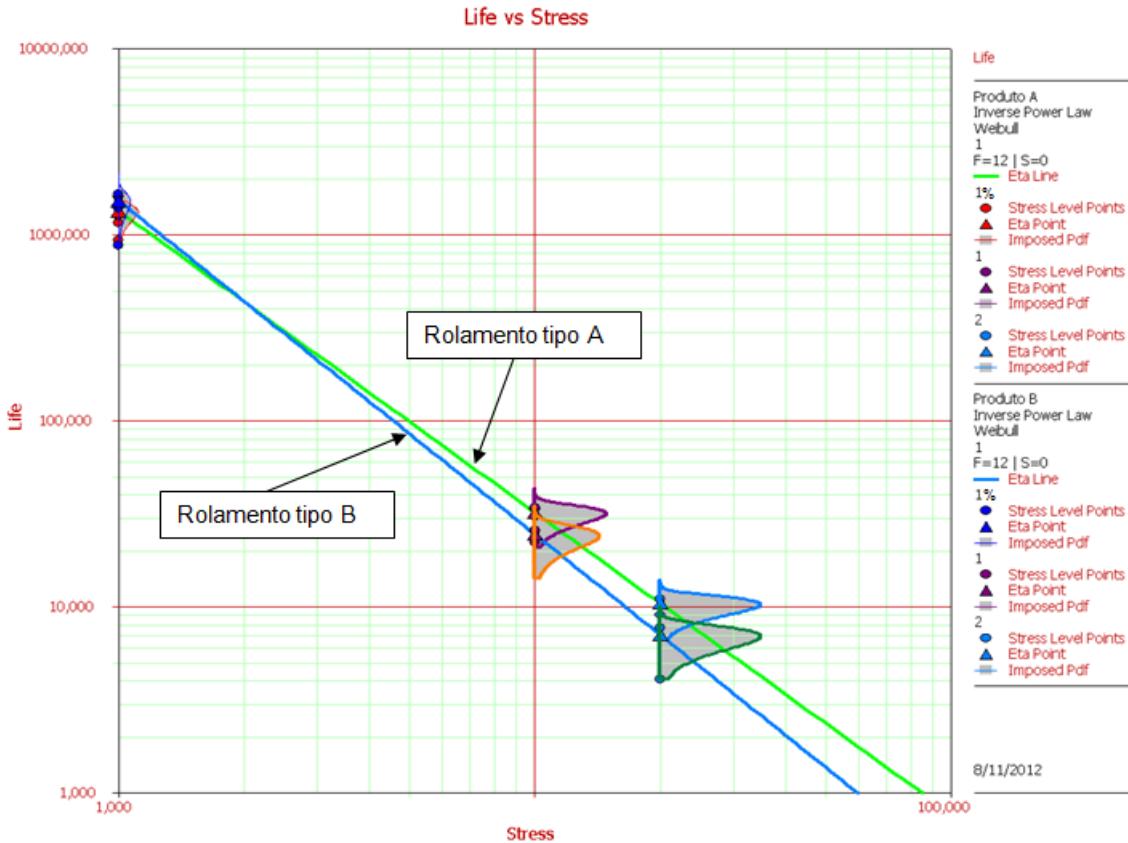


Figura 15: Curva de Weibull na distribuição *Inverse Power Law*.

Na Figura 15, que apresenta o gráfico de vida útil em função do “*Stress*”, verifica-se que a distribuição é demonstrada em forma de sino. O modelo de distribuição consiste no “*Inverse Power Law*”, que se relaciona melhor com testes acelerados “*non-thermal*”, ou seja, onde a aceleração realizada no teste não é feita através da temperatura. O gráfico em questão relaciona o tempo necessário para que um percentual de amostras falhe, relacionando desta forma, os valores de B10 e B90, ou seja, o tempo em que 10% e 90% das amostras atingem a falha durante sua vida útil. Entre os valores do B10 e B90 é possível a verificação de quaisquer percentuais desejáveis através do software. Desta forma no gráfico de “*Weibull*”, é possível verificar que em cada nível de contaminação e em cada Curva de SINO existe o índice de confiabilidade B10, B90...Bx, de acordo com valor desejado, onde o “B” nos mostra o percentual de “taxa” de falhas para cada nível de contaminação.

A composição do gráfico gerado, baseia-se na junção dos gráficos que especificam individualmente os valores de B10 e B90 para as amostras de rolamento A com contaminantes 1 e 2, amostras de rolamento B com contaminantes 1 e 2, e ainda, amostras de rolamentos A e B com o percentual de 1% estimado em campo.

Estes gráficos individuais relacionam o tempo (eixo x) com a insegurança (eixo y), desta forma, percebe-se que existe uma relação de proporção de crescimento entre o tempo e o percentual de insegurança, ou seja, quanto maior o tempo, maior a probabilidade de falha de um ítem ou amostra.

Estas quatro distribuições demonstram que a vida dos rolamentos tipo A apresenta-se significativamente maior com relação aos rolamentos tipo B, como indica o gráfico da curva de Weibull, Figura 15.

Desta forma, conforme exposto no gráfico, Figura 15, com percentuais baixos de contaminação (*stress*) os rolamentos do tipo B apresentam maior vida útil. O gráfico indica ainda a maior confiabilidade do rolamento tipo A. Esta análise é difícil de ser realizada apenas pela interpretação do gráfico em questão, porém está muito clara nos valores encontrados de vida útil através dos fatores de aceleração.

Havendo o aumento do percentual de contaminante, nota-se a inversão da curva, o que indica uma redução significativa na vida útil dos rolamentos do tipo B. Como não se tem informação precisa do percentual de contaminação normal em campo e visto que o produto A se mostra com vida superior ao longo de percentuais com maior contaminação, conclui-se que o produto A demonstra maior robustez e confiabilidade.

5. CONSIDERAÇÕES FINAIS

Quanto ao comportamento das amostras em bancada, pode-se afirmar que com a utilização do contaminante 1:

- As amostras de rolamentos A e B apresentaram comportamento similar em até 5 horas de teste. A partir de 5 horas, as amostras de rolamento tipo A demonstraram nível de folga em graus inferior quando comparadas as amostras do tipo B. As amostras tipo A apresentaram vida útil superior em 32,14%.

Quanto ao comportamento das amostras em bancada, pode-se afirmar que com a utilização do contaminante 2:

- As amostras de rolamento A e B apresentaram comportamento similar em até 3 horas de teste. A partir de 3 horas, as amostras de rolamento tipo A demonstraram-se melhores em termos comparativos de comportamento. Devido à agressividade do contaminante, verificou-se que houve grande diferenciação das folgas entre A e B. As amostras tipo A apresentaram vida útil superior em 48,87% quando comparadas ás amostras do tipo B.

Realizando uma análise de aceleração em bancada, os rolamentos do tipo A apresentaram fator de aceleração de 3,0787. Para os rolamentos tipo B, o fator de aceleração gerado foi de 3,4687. Isso significa que os rolamentos do tipo B atingem a falha mais rápido quando comparados aos rolamentos do tipo A pelo fato dos mesmos terem um fator de aceleração maior.

Através da utilização do software ALTA 7, empregando 1% de contaminação em campo para fins de simulação, as vidas dos rolamentos seriam de 1440,16 horas para os rolamentos B e 1280 horas de vida em campo para os rolamentos A, indicando que os rolamentos do tipo B possuem maior vida útil com baixos percentuais de contaminação.

O comparativo demonstra que em até 1% de contaminação pode ser aceita a utilização do rolamento tipo B. Após 1%, torna-se mais confiável a utilização do rolamento tipo A, ou ainda para maiores percentuais de contaminação.

Quanto à falhas, 7 (sete) amostras do montante atingiram folga igual ou superior à 2 graus. Desta forma, pode-se considerar que as mesmas atingiram o limite permitível de folga estipulado para o teste.

Em termos gerais, o trabalho desenvolvido atendeu os objetivos específicos propostos no inicio do trabalho, onde se conceituou testes e confiabilidade, criou-se uma metodologia de teste, testaram-se as amostras de dois tipos de rolamento com especificações similares, utilizando para tanto dois níveis de contaminação, realizando posteriormente a análise comparativa entre as amostras e a análise da confiabilidade, através de simulação com um percentual estimável em campo.

6. SUGESTÕES PARA TRABALHOS FUTUROS

Recomenda-se para trabalhos futuros a continuidade do teste abrangendo um maior número de amostras e correlacionando com testes realizados em campo. Destaca-se ainda a importância de futuramente realizar uma análise de vibrações na bancada de testes a fim de possibilitar maior confiabilidade ao teste executado.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- ABACKERLI A. J. et al. **Análise da incerteza experimental na determinação da vida usando ensaio acelerado.** Gest. Prod., São Carlos, v. 14, n. 1, p. 69-81, jan.-abr. 2007. Disponível em: <<http://www.scielo.br/pdf/gp/v14n1/06.pdf>>. Acesso em: 10 nov. 2012.
- AL-FAWZAN M. A. **Methods for Estimating the Parameters of the Weibull Distribution.** King Abdulaziz City for Science and Technology. Saudi Arabia, 2000. Disponível em: <<http://interstat.statjournals.net/YEAR/2000/articles/0010001.pdf>> .Acesso em: out. 2012.
- CAMARGO M. M. **Estudo do teste acelerado de reles com controle individualizado de temperatura.** 2007. Dissertação (Mestrado em Engenharia)- Universidade Metodista de Piracicaba. São Paulo, 2007. Disponível em: <<http://www.unimep.br/phpg/mostraacademica/anais/5mostra/1/436.pdf>>. Acesso em: 04 nov. 2012.
- CAMPANHA, M. V. **Estudo sobre a vida útil de rolamentos fixos de uma carreira de esferas.** 2007. Dissertação (Mestrado em Engenharia Mecânica de Projeto de Fabricação) - Escola Politécnica, Universidade de São Paulo, São Paulo, 2007. Disponível em: <<http://www.teses.usp.br/teses/disponiveis/3/3151/tde-31032008-180633/>>. Acesso em: 05 nov. 2012.
- FRANÇA, F. A. **Instrumentação e Medidas: grandezas mecânicas.** UNICAMP, 2007. Disponível em: <http://www.fem.unicamp.br/~instmed/Instrumentacao_Medidas_Grandezas_Mecanicas.pdf>. Acesso em: 30 out. 2012.
- ISO 76:2006- ***Rolling bearings - Static load ratings.*** 2006
- ISO 281:2007- ***Rolling bearings -Dynamic load ratings and rating life.*** Genève, 2007.
- LIDA I. **Ergonomia: Projeto e produção.** 2. ed. São Paulo.Ed. Edgard Blücher, 2005.
- LOPES, L. F. D. **Análise de componentes principais aplicada à confiabilidade de sistemas complexos.** 2001. Tese (Doutorado em Engenharia de Produção) – Universidade Federal de Santa Catarina. Florianópolis, 2001. Disponível em: <http://www.qualimetria.ufsc.br/teses_arquivos/luis.pdf>. Acesso em: 12 out. 2012.
- MELCONIAN, S., **Elementos de máquinas.** 4. ed Érica, 2003.
- MIALHE, L. G. **Máquinas Agrícolas: Ensaios & Certificação.** Fundação de Estudos agrários Luiz de Queiroz- CNPQ- PADCT / TIB-FEALQ, 1996.
- MOURA M. J. C. et al. **Testes acelerados de vida para crescimento da confiabilidade de produtos em desenvolvimento.** In: ENEGEP. XXVI. 2006. Ceará. Anais... Fortaleza, 2006. p.1-7. Disponível em: <http://www.abepro.org.br/biblioteca/ENEGEP2006_TR470324_7578.pdf>. Acesso em: 13 out. 2012.
- NEVES S. H., **A reconfiguração do departamento de compras das indústrias com o advento de novas competências dos compradores de rolamentos.** Monografia (Bacharelado em Administração de Empresas) - Universidade do Estado de Minas Gerais. Minas Gerais. 2009. Disponível em: <<http://www.administradores.com.br/informese/producao-academica/a-reconfiguracao-do-departamento-de-compras-das-industrias-com>

o-advento-de-novas-competencias-dos-compradores-de-rolamentos/2297/print/. Acesso em: 02 nov. 2012.

NOVUS PRODUTOS ELETRÔNICOS. **FieldChart**. Porto Alegre, Novus [s.d]. Disponível em: <<http://www.novus.com.br/downloads/Arquivos/folheto%20fieldchart.pdf>>. Acesso em: 02 nov. 2012a.

_____. **Registrador Virtual – FieldLogger**. Porto Alegre, Novus [s.d]. Disponível em:<http://www.novus.com.br/downloads/Arquivos/folheto_fieldlogger.pdf>. Acesso em: 02 nov. 2012b.

NSK. **Catálogo Geral**. 2002. Disponível em:<http://www.nsk.com.br/catalogo_geral.zip>. Acesso em: 10 mar., 2012.

O'CONNOR, P. D. T. **Practical Reliability Engineer**. 4. ed. Chichester. Editora: John Wiley & Sons, 2002.

PINTO J. M. A. **Modelagem de testes acelerados com esforço aplicado em níveis em um estudo de fadiga mecânica**. 2004. Tese (Doutorado em Ciências agrárias/ Tecnologia Nuclear- Reatores) - IPEN- Instituto de Pesquisas Energéticas e Nucleares. São Paulo, 2004. Disponível em: <<http://www.ipen.br/biblioteca/teses/23027.pdf>>. Acesso em: 11 out 2012.

PONCI, L. P., CUNHA, P. M. R. **Previsão de Falha de rolamentos por análise espectral e de envelope**. Tecnikao Ind. E Com. Ltda, Relatório Interno, 11p., 2005. Disponível em: <<http://www.teknikao.com/SDAV%20e%20Rolamentos.pdf>>. Acesso em: 02 out. 2012.

RELIASOFT. **ALTA: Análise Quantitativa para Ensaios Acelerados de Vida**. São Paulo: ReliaSoft, 2012. Disponível em: <<http://www.reliasoft.com.br/alta/index.htm>>. Acesso em: 11 nov. 2012a.

_____. **Weibull++: Software para análise de dados de vida**. São Paulo: ReliaSoft, 2012. Disponível em: <<http://www.reliasoft.com.br/Weibull/features1.htm>>. Acesso em: 11 nov. 2012b.

RICHTER P. E. A., LOPES, L. F. D. **Confiabilidade relacionada ao desenvolvimento de produtos e à gestão da qualidade total**. In: Encontro Nacional de Engenharia de Produção. XXIV. 2004. Santa Catarina. Anais... Florianópolis, 2004. p.1-9. Disponível em: <http://www.abepro.org.br/biblioteca/enegep2004_enegep0206_0088.pdf>. Acesso em: 12 out. 2012.

SCHAEFFLER, **Angular contact ball bearings**. Schaeffler, 2012. Disponível em: <http://medias.schaeffler.de/medias/en!hp.ec.br.pr/32..-BD*3204-BD;b3tP0wZ4IHZh?clrsb=1&lang=pt>. Acesso em: 29 out. 2012a.

_____. **Double row angular contact ball bearings**. Sorocaba: Schaeffler, 2012. Disponível em: <<http://medias.schaeffler.de/medias/en!hp.info/32..-BD;bjAO8vQBF194>>. Acesso em: 29 out. 2012b.

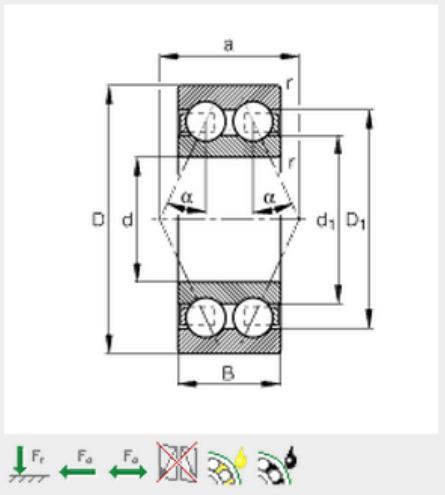
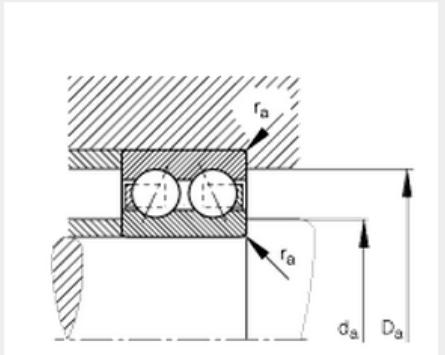
THOMAZINI D., ALBUQUERQUE P. U. B., **Sensores Industriais**. Fundamentos e Aplicações. 4. Ed. Editora Érica Ltda, São Paulo, 2007.

WENDLING M. **Sensores**. Universidade Estadual Paulista. Centro Tecnológico Industrial de Guaratinguetá. 2010. Disponível em: <

<http://www2.feg.unesp.br/Home/PaginasPessoais/ProfMarceloWendling/4---sensores-v2.0.pdf>. Acesso em: 07 nov. 2012.

WERNER L. Modelagem dos tempos de falhas ao longo do calendário. Universidade Federal do Rio Grande do Sul. Programa de Pós-graduação em Engenharia de Produção. Dissertação de Mestrado. Porto Alegre, 1996. Disponível em: <<http://hdl.handle.net/10183/1451>>. Acesso em: 24 out. 2012.

ANEXO A – Principais dimensões das amostras A/B

	<table border="1"> <tr><td>d</td><td>20 mm</td></tr> <tr><td>D</td><td>47 mm</td></tr> <tr><td>B</td><td>20,6 mm</td></tr> </table>	d	20 mm	D	47 mm	B	20,6 mm												
d	20 mm																		
D	47 mm																		
B	20,6 mm																		
	<table border="1"> <tr><td>a</td><td>27,868 mm</td></tr> <tr><td>D₁</td><td>40,1 mm</td></tr> <tr><td>D_{a max}</td><td>41,4 mm</td></tr> <tr><td>d₁</td><td>30,8 mm</td></tr> <tr><td>d_{a min}</td><td>25,6 mm</td></tr> <tr><td>r_{a max}</td><td>1 mm</td></tr> <tr><td>r_{min}</td><td>1 mm</td></tr> <tr><td>α</td><td>30 ° Contact angle</td></tr> </table>	a	27,868 mm	D₁	40,1 mm	D_{a max}	41,4 mm	d₁	30,8 mm	d_{a min}	25,6 mm	r_{a max}	1 mm	r_{min}	1 mm	α	30 ° Contact angle		
a	27,868 mm																		
D₁	40,1 mm																		
D_{a max}	41,4 mm																		
d₁	30,8 mm																		
d_{a min}	25,6 mm																		
r_{a max}	1 mm																		
r_{min}	1 mm																		
α	30 ° Contact angle																		
	<table border="1"> <tr><td>m</td><td>0,153 kg</td><td>Mass</td></tr> <tr><td>C_r</td><td>20800 N</td><td>Basic dynamic load rating, radial</td></tr> <tr><td>C_{0r}</td><td>13200 N</td><td>Basic static load rating, radial</td></tr> <tr><td>C_{ur}</td><td>890 N</td><td>Fatigue limit load, radial</td></tr> <tr><td>n_G</td><td>16100 1/min</td><td>Limiting speed</td></tr> <tr><td>n_B</td><td>15000 1/min</td><td>Reference speed</td></tr> </table>	m	0,153 kg	Mass	C_r	20800 N	Basic dynamic load rating, radial	C_{0r}	13200 N	Basic static load rating, radial	C_{ur}	890 N	Fatigue limit load, radial	n_G	16100 1/min	Limiting speed	n_B	15000 1/min	Reference speed
m	0,153 kg	Mass																	
C_r	20800 N	Basic dynamic load rating, radial																	
C_{0r}	13200 N	Basic static load rating, radial																	
C_{ur}	890 N	Fatigue limit load, radial																	
n_G	16100 1/min	Limiting speed																	
n_B	15000 1/min	Reference speed																	

Fonte: Schaeffler (2012a).

ANEXO B – Registrador eletrônico de dados *FieldLogger*



REGISTRADOR VIRTUAL - FIELDLOGGER

APRESENTAÇÃO

Este é um equipamento de aquisição e registro de variáveis analógicas. Opera como um Registrador Eletrônico de dados, armazenando as informações adquiridas em sua memória interna para análise posterior. Pode ainda operar como um Módulo Remoto de medição em tempo real, que não possui memória interna, e apenas adquire as informações e as transmite para um sistema supervisório.

Seus oito canais de entrada configuráveis individualmente, entrada digital, saídas de alarme, alimentação de emergência, capacidade de comunicação RS485 com protocolo Modbus, entre outros, fazem deste produto um instrumento muito versátil, o que possibilita sua utilização em inúmeras aplicações.

Sua configuração é feita através de um software de fácil operação. Este Software acompanha o equipamento e roda sobre as plataformas Windows®.



CARACTERÍSTICAS

- Oito entradas universais com seleção por software. Aceita termopares com casa decimal, Pt100, mA, mV e tensões maiores com divisor externo.
- Capacidade de registro (opcional): 131.072 (128K).
- Resolução do conversor A/D: 20.000 níveis.
- Tipo de conversão: Dupla rampa.
- Auto zero e auto span.
- Comunicação RS485 isolada com protocolo Modbus RTU.
- Baud rate: selecionável até 57.600 bps.
- Paridade: selecionável (sem, ímpar ou par).
- Entrada para bateria externa para operação na falta de energia elétrica.
- 3 LEDs no painel frontal: 1 indica operação do registrador e os outros 2 indicam comunicação digital ativa.
- Watchdog timer e reset na falta de energia elétrica.
- Trigger externo via contato seco para Start/Stop remoto.
- Intervalo entre medidas: programável de 0,2 s (para 1 canal) a 1 mês.
- Alarms ALTO e BAIXO programados individualmente por canal.
- Duas saídas digitais que podem ser associadas a alarmes ou acionadas através de comandos Modbus.

ENTRADAS E FAIXAS MÁXIMAS

ENTRADA	FAIXA MÁXIMA
Termopar tipo J	-50 a 760 °C (-58 a 1400 °F)
Termopar tipo K	-90 a 1370 °C (-130 a 2498 °F)
Termopar tipo T	-100 a 400 °C (-148 a 752 °F)
Termopar tipo E	-35 a 720 °C (-31 a 1328 °F)
Termopar tipo N	-90 a 1300 °C (-130 a 2372 °F)
Termopar tipo R	0 a 1760 °C (-32 a 3200 °F)
Termopar tipo S	0 a 1760 °C (-32 a 3200 °F)
Termopar tipo B	150 a 1820 °C (302 a 3308 °F)
Pt100 ($\alpha=0.00385$)	-200,0 a 530,0 °C (-328,0 a 986,0 °F)
4-20mA tipo J	-50 a 760 °C (-58 a 1400 °F)
4-20mA tipo K	90 a 1370 °C (-130 a 2498 °F)
4-20mA tipo T	-100 a 400 °C (-148 a 752 °F)
4-20mA tipo E	-35 a 720 °C (-31 a 1328 °F)
4-20mA tipo N	-90 a 1300 °C (-130 a 2372 °F)
4-20mA tipo R	0 a 1760 °C (-32 a 3200 °F)
4-20mA tipo S	0 a 1760 °C (-32 a 3200 °F)
4-20mA tipo B	150 a 1820 °C (302 a 3308 °F)
4-20mA tipo Pt100	-200,0 a 530,0 °C (-328,0 a 986,0 °F)
4-20mA	Indicação programável de -1999 a 9999
0-50mV	Indicação programável de -1999 a 9999

Tabela 1

ANEXO C – Registrador eletrônico de dados *FieldLogger*

novus REGISTRADOR VIRTUAL - FIELDLOGGER

CONFIGURAÇÃO

- O **FieldLogger** é inteiramente configurado pelo software Configurador, que acompanha o produto e roda sobre os sistemas operacionais Windows® 98e superiores.
- O Configurador possui as seguintes abas de configuração:
 - Canais: onde se define um tag para o aparelho e, para cada um dos canais, sua habilitação, o tipo de sensor a ser conectado, um tag para identificação e a utilização de casas decimais na indicação, além de poder associá-lo a uma das saídas digitais.
 - Aquisições: disponível apenas para o modelo Registrador (com memória para registros), permite que configure o intervalo entre as leituras dos canais (taxa de varredura), o formato de início (imediato, por horário ou pelo acionamento da entrada digital) e fim das aquisições (por horário, por número de aquisições, pelo desacionamento da entrada digital, ao encher a memória ou ainda sobreescriver os registros mais antigos).
 - Comunicação: para definir os parâmetros para a comunicação com o **FieldLogger**, como porta serial e baud rate.
 - Diagnóstico: após a nova configuração ter sido aplicada, esta aba permite que se observe o comportamento atual do aparelho (leituras dos canais de entrada, número de aquisições já efetuadas, problemas nos sensores, ocorrência de alarmes, etc.).

EXPANSÕES E OPCIONAIS

- Relógio de tempo real com bateria interna de lítio e memória para 131.072 (128K) registros.
- A expansão do número de canais analógicos é possível acrescentando módulos básicos na mesma rede RS485, podendo chegar a 248 canais por rede.
- Softwares **FieldChart** ou **Superview** para coleta e visualização gráfica.
- Alimentação 24 Vca/cc.

TELAS DO CONFIGURADOR

CONEXÕES ELÉTRICAS

Conexões de Termopares

Conexões de Termorresistências (Pt100)

Conexões de Corrente 4-20mA

Conexões de milivoltos

Configurador Field Logger V1.35

DIMENSÕES

ANEXO D – Software *FieldChart*

B

AQUISIÇÃO, REGISTRO E SUPERVISÃO

APRESENTAÇÃO

O **FieldChart** é um software para Windows® que permite a comunicação e tratamento dos dados do equipamento **FieldLogger** e dos controladores e indicadores **NOVUS**. De fácil uso, não requer treinamento prévio por parte do usuário. Permite a coleta das aquisições para o PC, realizando o registro gráfico "on line" ou em bateladas e gerando gráficos históricos. Oferece recursos de zoom, visualização tabular, sobreposição de gráficos, impressão e exportação da tabela de dados para planilhas ou texto. Quando "on line" realiza a comunicação com até 8 unidades de **FieldLogger** ou até 64 controladores e indicadores, permitindo assim monitorar e plotar até 64 canais de variáveis analógicas. A cada pena podem ser associados alarmes alto e baixo cujos valores são indicados no painel quando ativos.

REQUISITOS DO SISTEMA

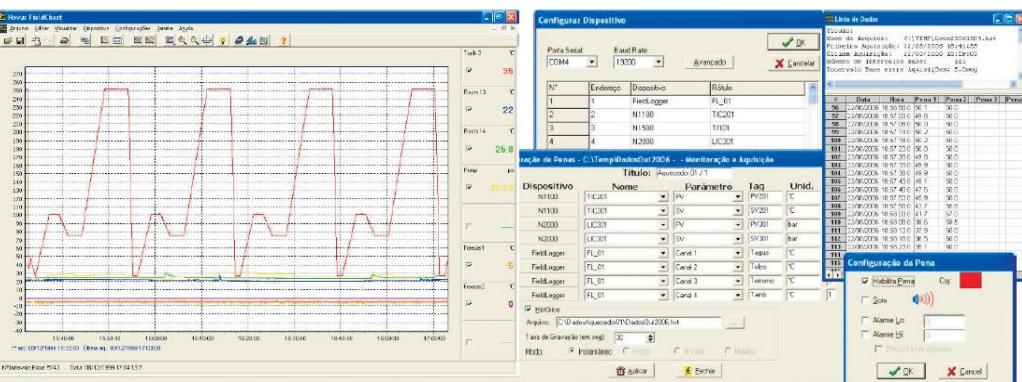


- Computador PC-Compatível com Windows® 98SE ou superior.
 - Processador: Pentium III 500MHz;
 - Espaço livre em disco: 100MB;
 - Memória RAM: 128MB (recomendável 256MB);
 - Porta de comunicação Serial ou USB.
- Equipamentos com comunicação ModbusRTU Slave.
- Conversor RS232/RS485 ou USB/RS485.
- Número de registro do **FieldChart**, associado ao número de série de um equipamento **NOVUS** ligado à rede Modbus.

Características

- Visualização de dados na forma de gráfico e indicação digital.
- Monitoração on-line dos dados da rede.
- Registro de histórico: Registro em disco dos dados da rede a intervalos configuráveis.
- Visualização de dados históricos como gráfico ou tabela.
- Exportação de dados históricos para XLS e TXT.
- Gráficos com até 8 canais cada.
- Versão 8 canais: Visualização de 1 gráfico. Permite visualização dos 8 canais de 1 **FieldLogger** ou de 8 variáveis em diferentes equipamentos **NOVUS**.
- Versão 64 canais: Visualização de até 8 gráficos. Permite a visualização dos 8 canais de 8 **FieldLoggers** ou 64 variáveis em diferentes equipamentos **NOVUS**.
- Protocolo de Comunicação: Modbus RTU Mestre. Permite operações de leitura nos equipamentos **NOVUS** ligados à rede Modbus.
- Interface de comunicação: Porta serial única, selecionável, 1200 a 57600 bps.
- Permite coleta de dados do **FieldLogger** para arquivo histórico.
- Incorpora software configurador do **FieldLogger**.
- Supervisão individual de alarmes para cada variável monitorada, com sinalização visual e sonora.
- Edição de gráficos: Zoom, junção e sobreposição.

EXEMPLOS DE TELAS DE CONFIGURAÇÃO E MONITORAÇÃO



Fonte: Novus produtos eletrônicos (2012a).