

UNIVERSIDADE TECNOLÓGICA FEDERAL DO PARANÁ
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO
DEPARTAMENTO ACADÊMICO DE ELETROTÉCNICA
ENGENHARIA DA CONFIABILIDADE APLICADA À MANUTENÇÃO

ALESSANDRO ZEN

**ANÁLISES DE CONFIABILIDADE E CAPABILIDADE
APLICADAS A PARAFUSADEIRAS INDUSTRIAIS DO TIPO
PISTOLA À BATERIA**

MONOGRAFIA DE ESPECIALIZAÇÃO

CURITIBA
2012

ALESSANDRO ZEN

**ANÁLISES DE CONFIABILIDADE E CAPABILIDADE
APLICADAS A PARAFUSADEIRAS INDUSTRIAIS DO TIPO
PISTOLA À BATERIA**

Monografia de Especialização apresentada como requisito parcial para obtenção do título de Especialista em Engenharia da Confiabilidade Aplicada à Manutenção. Departamento Acadêmico de Eletrotécnica, Programa de Pós-Graduação da Universidade Tecnológica Federal do Paraná – UTFPR.

Orientador: Prof. M. E. Carlos Henrique Mariano

CURITIBA
2012

TERMO DE APROVAÇÃO

ANÁLISES DE CONFIABILIDADE E CAPABILIDADE APLICADAS A PARAFUSADEIRAS INDUSTRIAIS DO TIPO PISTOLA À BATERIA

por

ALESSANDRO ZEN

Esta Monografia foi apresentada em 26 de outubro de 2012 como requisito parcial para a obtenção do título de Especialista em Engenharia da Confiabilidade Aplicada à Manutenção. O candidato foi arguido pela Banca Examinadora composta pelos professores abaixo assinados. Após deliberação, a Banca Examinadora considerou o trabalho aprovado.

Prof. M. E. Carlos Henrique Mariano
Universidade Tecnológica Federal do Paraná
Professor Orientador

Prof. M. Sc. Marcelo Rodrigues
Universidade Tecnológica Federal do Paraná
Membro da Banca examinadora

Eng. Cid Augusto de Castro Costa
ReliaSoft Brasil
Membro da Banca examinadora

- O Termo de Aprovação assinado encontra-se na Coordenação do Curso -

RESUMO

ZEN, Alessandro. **Análises de confiabilidade e capacidade aplicadas a parafusadeiras industriais do tipo pistola à bateria**. 2012. 45 folhas. Monografia (Especialização em Engenharia da Confiabilidade Aplicada à Manutenção) - Programa de Pós-Graduação, Universidade Tecnológica Federal do Paraná. Curitiba, 2012.

O presente estudo tem por objetivo propor uma estratégia de manutenção de uma parafusadeira à bateria do tipo pistola, baseada na combinação de uma análise de confiabilidade e índices de capacidade da máquina. Inicialmente foi realizada uma pesquisa sobre as considerações envolvidas em processos de montagem por juntas aparafusadas, bem como ferramentas de aperto. Em seguida são apresentados conceitos de manutenção e confiabilidade. Posteriormente foram levantados dados através de experimentos que, após analisados quantitativamente, resultaram em um plano de manutenção.

Palavras-chave: Análise de dados de vida. Manutenção centrada na confiabilidade. Índices de capacidade.

ABSTRACT

ZEN, Alessandro. **Reliability and Capability Analysis applied to industrial pistol type battery powered nutrunners**. 2012. 45 pages. Monografia (Especialização em Engenharia da Confiabilidade Aplicada à Manutenção) - Programa de Pós-Graduação, Universidade Tecnológica Federal do Paraná. Curitiba, 2012.

This work aims to propose a maintenance strategy of an industrial battery powered pistol type nutrunner, based on a combination between reliability analysis and machine capability tests. At first the main concepts of bolted joint assembly process were studied, as well the fastening tools. Then the theory of maintenance and reliability is exposed. After that, data are acquired by experimentation and, after quantitatively analyzed, these data result on a maintenance strategy.

Keywords: Life data analysis. Reliability centered maintenance. Capability.

LISTA DE FIGURAS

Figura 1 - União aparafusada.....	16
Figura 2 - Princípios de fixação.....	16
Figura 3 - Força de união.....	17
Figura 4 - Torque.....	17
Figura 5 - Limite de elasticidade.....	18
Figura 6 - Ângulo de aperto.....	19
Figura 7 - Tipos de juntas.....	19
Figura 8 - ISO 6789 Tipo I.....	21
Figura 9 - ISO 6789 Tipo II.....	21
Figura 10 - Formas de aparafusadeiras.....	22
Figura 11 - Conjuntos principais de uma aparafusadeira.....	23
Figura 12 - Cm e Cmk qualitativos.....	27
Figura 13 - Modelo estudado.....	30
Figura 14 - Equipamentos para teste de capacidade.....	31

LISTA DE GRÁFICOS

Gráfico 1 - Coeficientes de atrito	20
Gráfico 2 - Evolução dos índices de capacidade Cm e Cmk	34
Gráfico 3 - Probabilidade de falha em função do tempo.....	36
Gráfico 4 - Confiabilidade em função do tempo.....	37
Gráfico 5 - Função densidade de probabilidade	38
Gráfico 6 - Taxa de falha em função do tempo.....	39

LISTA DE QUADROS

Quadro 1 - Coeficientes de atrito.....	20
Quadro 2 - Classificação aparafusadeiras.....	22
Quadro 3 - Normas para testes de ferramentas	25
Quadro 4 - Classificação quanto ao cm e cmk	26
Quadro 5 - Resultados das medições	32
Quadro 6 - Dados de falhas	33
Quadro 7 - Totais no período	33
Quadro 8 - Relatório simplificado Weibull++	35
Quadro 9 - Intervalos ótimos	40

LISTA DE ABREVIATURAS, SIGLAS E ACRÔNIMOS

ABNT	Associação Brasileira de Normas Técnicas
ANFAVEA	Associação Nacional de Fabricantes de Veículos Automotores
DAELT	Departamento Acadêmico de Eletrotécnica
DIN	Deutsches Institut für Normung
F	Força
INMETRO	Instituto Nacional de Metrologia Normalização e Qualidade Industrial
IQA	Instituto de Qualidade Automotiva
ISO	International Organization for Standardization
MTBF	Mean Time Between Failure
MTTF	Mean Time To Failure
Nm	Newton metro
RBC	Rede Brasileira de Calibração
R\$	Real (moeda brasileira)
s	Segundo
UTFPR	Universidade Tecnológica Federal do Paraná
VDI	Verein Deutscher Ingenieure
VDA	Verband der Automobilindustrie
μ	Média
σ	Desvio padrão

SUMÁRIO

1 INTRODUÇÃO.....	10
1.1 TEMA.....	10
1.1.1 Delimitação do Tema.....	11
1.2 PROBLEMA E PREMISSAS.....	11
1.3 OBJETIVOS.....	12
1.3.1 Objetivo Geral.....	12
1.3.2 Objetivos Específicos.....	12
1.4 JUSTIFICATIVA.....	12
1.5 METODOLOGIA.....	13
1.6 EMBASAMENTO TEÓRICO.....	13
1.7 ESTRUTURA DO TRABALHO.....	14
2 REVISÃO TEÓRICA.....	15
2.1 APARAFUSAMENTO.....	15
2.1.1 Principais Variáveis Envolvidas em Juntas Aparafusadas.....	16
2.1.1.1 Força de união.....	17
2.1.1.2 Torque.....	17
2.1.1.3 Limite de elasticidade.....	18
2.1.1.4 Ângulo de aperto.....	19
2.1.1.5 Coeficientes de atrito.....	20
2.1.2 Ferramentas de Aperto.....	21
2.1.2.1 Aparafusadeiras elétricas à bateria.....	23
2.1.3 Calibração e Certificação de Ferramentas.....	24
2.1.3.1 Testes de capacidade.....	25
2.2 MANUTENÇÃO.....	27
2.2.1 Manutenibilidade.....	28
2.2.2 Disponibilidade.....	28
2.3 CONFIABILIDADE.....	28
2.3.1 Manutenção Centrada em Confiabilidade.....	29
3 EXPERIMENTAÇÃO.....	30
3.1 METODOLOGIA ADOTADA.....	30
3.1.1 Testes de Capacidade.....	30
3.1.2 Dados de Falhas.....	31
3.2 RESULTADOS OBTIDOS.....	32
3.2.1 Testes de Capacidade.....	32
3.2.2 Dados de Falhas.....	32
4 ANÁLISE DOS DADOS.....	34
4.1 ÍNDICES DE CAPABILIDADE.....	34
4.2 CURVAS DE CONFIABILIDADE.....	35
4.3 ESTRATÉGIA DE MANUTENÇÃO.....	40
5 CONSIDERAÇÕES FINAIS.....	41
5.1 SUGESTÕES PARA TRABALHOS FUTUROS.....	42
REFERÊNCIAS.....	43

1 INTRODUÇÃO

Este capítulo compor-se-á do tema e sua delimitação, problema e objetivos. Seguidos da justificativa, metodologia, embasamento teórico e a estrutura do trabalho.

1.1 TEMA

O aumento da competitividade nas indústrias, principalmente automotivas, aliada à redução de recursos naturais e ao constante aumento da preocupação com a integridade física das pessoas, obriga as empresas a investirem cada vez mais em tecnologias de fabricação e montagem que, mesmo com a redução de custos, devem mostrar-se ainda mais eficientes (INSTITUTO..., 2012).

Essa diminuição de custos traz a ideia de falta de qualidade, mas o mercado atual, cada vez mais exigente, naturalmente posicionará como líderes as organizações que conseguirem estabelecer uma relação direta entre redução de preço e aumento da qualidade, que pode ser alcançada por meio da automatização dos processos produtivos. Porém, onde a complexidade impede ou inviabiliza a automatização, a atenção é novamente direcionada ao operador, mas agora melhorando suas condições de ergonomia e ferramentas visando maior velocidade na execução da tarefa, com melhor precisão e menor taxa de erros (ASSOCIAÇÃO..., 2011b). Um exemplo bem evidente desse tipo de melhoria é a aplicação das ferramentas de aperto.

Há algumas décadas automóveis tinham os parafusos apertados com chaves comuns, que além de exigirem grande esforço do montador, não poderiam oferecer nenhuma garantia de adequação com o projeto. Hoje, a maioria das juntas é apertada com parafusadeiras, normalmente acionadas apenas por um botão e com controle de torque, que garante a especificação do produto e a repetitividade do processo (ASSOCIAÇÃO..., 2006).

E dado a importância destas ferramentas ao processo, um estudo de sua confiabilidade se faz necessário para subsidiar um plano de manutenção coerente no tocante às calibrações como também com a determinação do tempo ótimo de substituição da ferramenta.

1.1.1 Delimitação do Tema

Nesta monografia é tratado um estudo para determinação dos índices de confiabilidade de uma parafusadeira tipo pistola à bateria, capacidade de 8 Nm, amplamente utilizada na indústria automotiva, com base em resultados de experimentos e estudos estatísticos. Possibilitando assim a proposta de intervalos ótimos de reparo ou substituição, aperfeiçoando a aplicação da ferramenta para obter a melhor qualidade atrelada ao menor custo de operação.

1.2 PROBLEMAS E PREMISSAS

Atualmente existem algumas normas nacionais e internacionais que regulamentam testes e controles estatísticos. A mais comumente utilizada para parafusadeiras é a ISO 5393:1994 (INTERNATIONAL..., 1994), que além de estabelecer critérios para o teste da máquina, apresenta fórmulas para o cálculo de índices de capacidade potencial da máquina (C_m e C_{mk}), os quais permitem avaliar se a ferramenta é capaz de executar a operação a que foi proposta.

Porém não existe hoje nenhuma relação direta entre esses índices de capacidade com dados de vida da ferramenta, estes últimos obtidos em estudos de confiabilidade.

Considerando que esses ensaios são realizados nas indústrias normalmente em pequenos intervalos, como trocas de turno ou paradas de produção para refeições dos operadores, ou em datas programadas. Um resultado de incapacidade da ferramenta exige uma manutenção corretiva ou substituição não programada, o que pode acarretar em um atraso de produção, este muitas vezes extremamente mais caro que a própria parafusadeira.

Entretanto, uma vez estabelecida uma relação entre testes de capacidade e dados de vida, é possível também utilizar resultados desses testes para arranjar intervalos ótimos de ajuste, reparo ou substituição das parafusadeiras.

1.3 OBJETIVOS

1.3.1 Objetivo Geral

Propor uma estratégia de manutenções preventivas ou a substituição programada de uma parafusadeira à bateria tipo pistola, com capacidade de 8 Nm, com base na combinação de uma análise de confiabilidade dos dados de falhas e os índices de capacidade (C_m e C_{mk}) obtidos por experimentos.

1.3.2 Objetivos Específicos

- Executar experimentos para levantar dados de apertos;
- Calcular índices de capacidade para cada amostra (C_m/C_{mk});
- Levantar dados de falhas da parafusadeira;
- Traçar curvas de confiabilidade e calcular dados de vida da máquina;
- Calcular intervalo ótimo de ajuste, reparo ou substituição.

1.4 JUSTIFICATIVA

Uma parada não programada em um processo produtivo pode gerar prejuízos muito elevados. Por isso programas de manutenção que não atuam apenas corretivamente são tão importantes e cada vez mais aplicados.

É muito comum pensar em programas de manutenção para grandes equipamentos industriais ou sistemas inteiros de produção, deixando naturalmente em segundo plano as ferramentas mais simples utilizadas pelos operadores.

Além disso, uma simples ferramenta pode passar a ganhar a importância de um sistema complexo quando não é tratada individualmente, por exemplo: uma indústria fabricante de automóveis populares utiliza seguramente mais de 1.000 parafusadeiras em suas linhas de montagem, assim qualquer ganho de produtividade ou redução de custo obtido por um programa preventivo em parafusadeiras, neste exemplo, terá um resultado multiplicado pelo menos por mil.

Portanto, reforçando o anteriormente dito garantir a qualidade de operação destas ferramentas garantirá, por conseguinte maior velocidade na execução da tarefa, com melhor precisão e menor taxa de erros (ASSOCIAÇÃO..., 2011b). Tal fato é evidenciado nos sistemas de melhoria continua aplicados por Sistemas de Gestão da Qualidade cujo objetivo final é alcançar a redução de custos pela otimização de processos e, neste contexto, as ferramentas manuais passam ganhar importância.

1.5 METODOLOGIA

A pesquisa realizada neste trabalho é de natureza mista, pois tem caráter experimental e aplicado (ORGANISATION..., 2002).

Redigida de maneira explicativa descritiva. Uma análise quantitativa dos dados dos experimentos foi aplicada com base na combinação de uma análise de confiabilidade dos dados de falhas e os índices de capacidade (C_m e C_{mk}) obtidos por experimentos. Esses procedimentos estão definidos no capítulo 3.

1.6 EMBASAMENTO TEÓRICO

Busca-se com este trabalho consolidar a importância dos testes normatizados cujos resultados se convertem para os estudos de confiabilidade, aproximando ainda mais as previsões da realidade.

Existem várias formas de teste de uma parafusadeira, uma das mais utilizadas, é a descrita na norma internacional ISO 5393 (INTERNATIONAL..., 1994), que inclusive é uma referência utilizada pelo Inmetro para acreditação de laboratórios que prestam serviços de certificação de parafusadeiras. Ainda nesta norma, recomenda-se uma análise estatística dos resultados dos testes através do cálculo de índices de capacidade, que possibilitam avaliar se a ferramenta é capaz de executar a operação simulada no teste respeitando as tolerâncias propostas.

Da mesma forma estudos de confiabilidade são premissas básicas para previsão e planejamento de manutenção de equipamentos.

Um estudo de confiabilidade abrange vários aspectos dos quais, para efeito deste trabalho se destaca a modelagem dos tempos até a falha, que consiste no tempo decorrido entre o início de operação até a transição para um estado de falha do sistema em estudo (KHATER, 2009; KNEZEVIC, 1993).

Com o diagnóstico da relação entre os tempos até a falha e índices de capacidade, busca-se a otimização dos programas de manutenção ou substituição dos sistemas em análise.

1.7 ESTRUTURA DO TRABALHO

Esta monografia está dividida em cinco capítulos tendo em vista o cumprimento dos objetivos descritos na Seção 1.3.

O capítulo 1 expõe uma sucinta introdução sobre o tema.

No capítulo 2, os conceitos de aparafusamento e teste de ferramentas são mais aprofundados, bem como a exposição da tecnologia empregada em parafusadeiras elétricas á bateria. Ainda neste capítulo serão revisados os conceitos de manutenção aplicáveis aos objetos de estudo, bem como exposições sobre análises de confiabilidade.

O capítulo 3 descreve os parâmetros e metodologias adotados para a experimentação, que fomentará as análises presentes no capítulo 4.

E as considerações finais, portanto, presentes no capítulo 5.

2 REVISÃO TEÓRICA

Este capítulo trata de uma revisão teórica sobre os conceitos de aparafusamento e teste de ferramentas, bem como a exposição da tecnologia empregada em parafusadeiras elétricas à bateria. Ainda neste capítulo serão revisados os conceitos de manutenção aplicáveis aos objetos de estudo e explicações sobre análises de confiabilidade.

2.1 APARAFUSAMENTO

A união de duas ou mais peças para formar um terceiro objeto é algo muito comum em qualquer setor da indústria, sejam uniões simples, como a de uma tampa em um frasco de perfume ou, mais complexa, como a fixação de uma asa de avião.

As peças, ou componentes, podem ter vários tipos de uniões, como as:

- Coladas;
- Encaixadas;
- Aparafusadas;
- Prensadas;
- Rebitadas;
- Soldadas.

Determinados critérios ajudam a decidir o tipo de acoplamento para cada aplicação, eis alguns deles:

- Resistência mecânica desejada;
- Resistência química esperada;
- Limitações dimensionais;
- Necessidade de desmontar o conjunto posteriormente;
- Custos (preparação das peças, acoplamento, fixadores).

Em geral, subconjuntos que sofrem desgaste ou podem falhar por outro motivo, não devem ser unidos permanentemente, pois sacrificariam todo o conjunto. Esse fator, combinado com os outros critérios citados, pode fazer das uniões parafusadas (Figura 1) a melhor alternativa para um projeto.

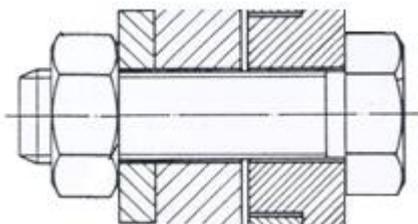


Figura 1 - União aparafusada
Fonte: Schatz (2012)

2.1.1 Principais Variáveis Envolvidas em Juntas Aparafusadas

Segundo a VDI 2230:2003 (VEREIN..., 2003), uma junta parafusada é uma conexão desmontável entre duas ou mais peças através de um ou mais parafusos.

As dimensões, materiais e classes de resistência dos fixadores, são influenciados por estas mesmas variáveis das peças a serem unidas e da força de união esperada entre elas. Os cálculos matemáticos necessários para levantar tais especificações não serão abordados neste trabalho, apenas suas influências serão apontadas.

O princípio de uma fixação com parafusos é bastante simples, devido aos sulcos helicoidais desses, o movimento rotacional do fixador em relação à contra-peça, ou à porca, provoca neles um movimento axial proporcional que os aproxima (Figura 2), ou afasta se a rotação for a sentido oposto.

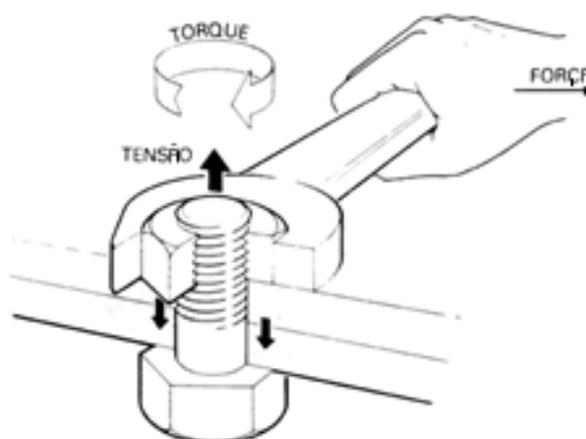


Figura 2 - Princípios de fixação
Fonte: Zen (2010)

2.1.1.1 Força de união

O aperto, propriamente dito, inicia-se após o encosto dos elementos do conjunto (fixador, peças e porca), a partir daí quanto maior o ângulo de giro do fixador, maior será a tensão (Figura 3) gerada no conjunto.

É a variável de projeto mais importante para uma junta, pois além de garantir a função do produto, é parâmetro para especificação das bitolas dos fixadores. Entretanto as técnicas de aperto atuais não medem diretamente a força produzida na junta, mas indiretamente em função do torque, deslocamento angular ou determinação do limite de elasticidade do fixador (VEREIN..., 2003).

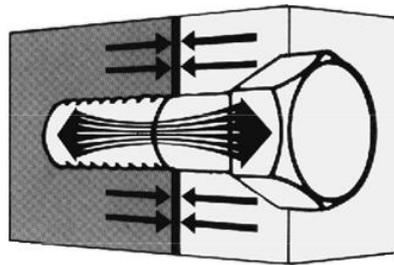


Figura 3 - Força de união
Fonte: Schatz (2012)

2.1.1.2 Torque

É a primeira variável tratada em montagens com juntas parafusadas, pois pode ser facilmente medido ou controlado, contudo sua relação com a força de união depende ainda de outras variáveis, como os coeficientes de atrito das partes.

O Torque fisicamente pode ser equacionado pela multiplicação da Força aplicada pela distância desta força em relação à cabeça do parafuso (Figura 4).

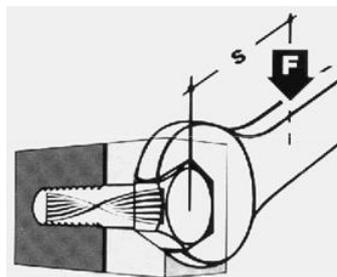


Figura 4 - Torque
Fonte: Schatz (2012)

2.1.1.3 Limite de elasticidade

Os fixadores, geralmente produzidos com ligas de aço, quando submetidos a uma carga (ou quando apertados) apresentam um comportamento bastante característico dessas ligas. De maneira bem resumida é possível afirmar que sofrem uma deformação elástica até uma determinada força, e a partir dela deformam plasticamente ou permanentemente.

O ponto onde o limite de elasticidade é alcançado pode ser observado em uma curva de torque em função do tempo, pois é caracterizado pelo instante em que a proporcionalidade é perdida (Figura 5 - ponto y).

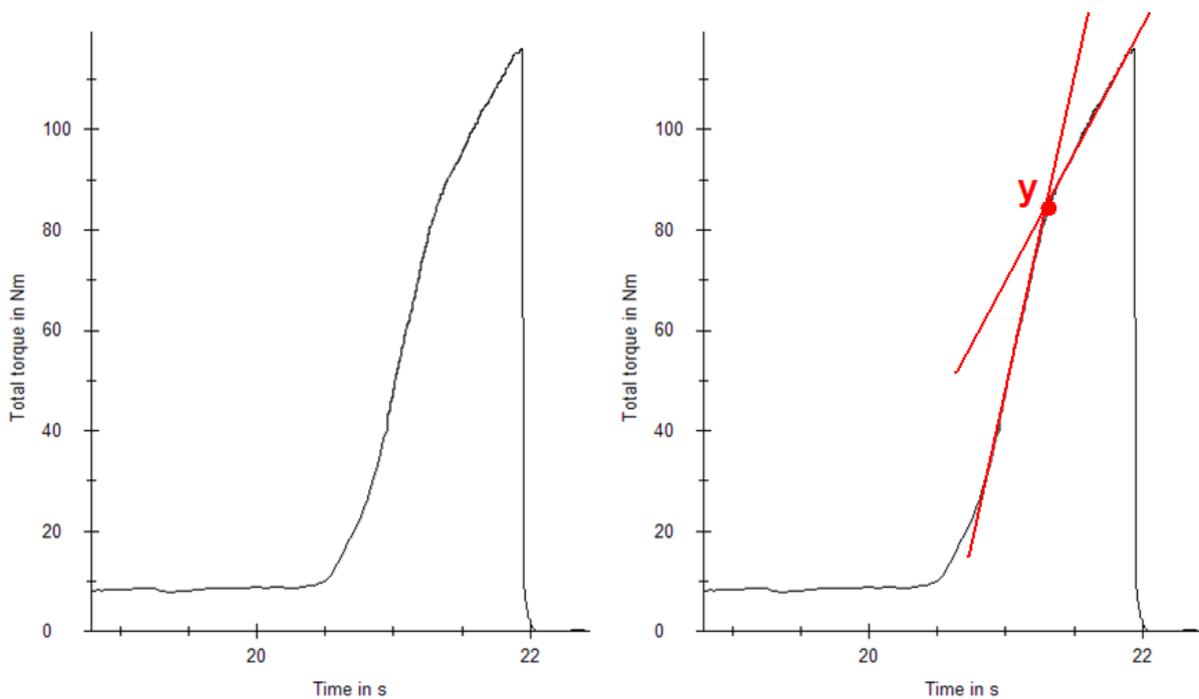


Figura 5 - Limite de elasticidade
Fonte: Adaptado de Schatz (2012)

Apesar de algumas fixações serem projetadas para trabalhar bem abaixo, ou até acima deste ponto, para a maioria dos casos, quanto mais próximo do limite de elasticidade um processo conseguir trabalhar, mais eficiente ele se mostra. Em contrapartida mais caro é o controle.

2.1.1.4 Ângulo de aperto

Da mesma forma que o torque, o ângulo (Figura 6) sofre influência de outras variáveis. Mas é amplamente utilizado em estratégias de aperto, principalmente combinado em processos com controle de torque (SCHATZ, 2007).

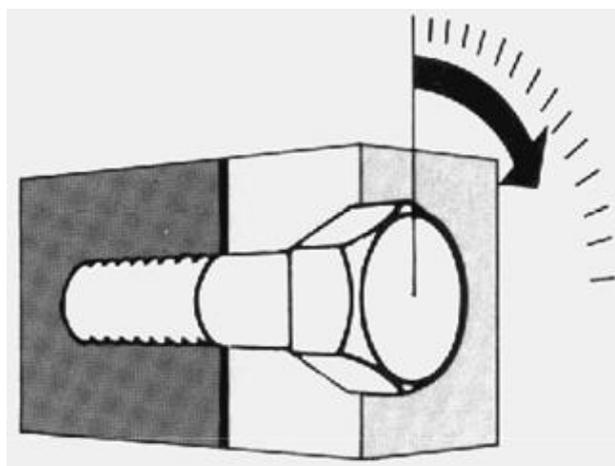


Figura 6 - Ângulo de aperto
Fonte: Schatz (2012)

A ISO 5393:1994 (INTERNATIONAL..., 1994) utiliza o ângulo para classificar tipos de juntas quanto à sua dureza (Figura 7).

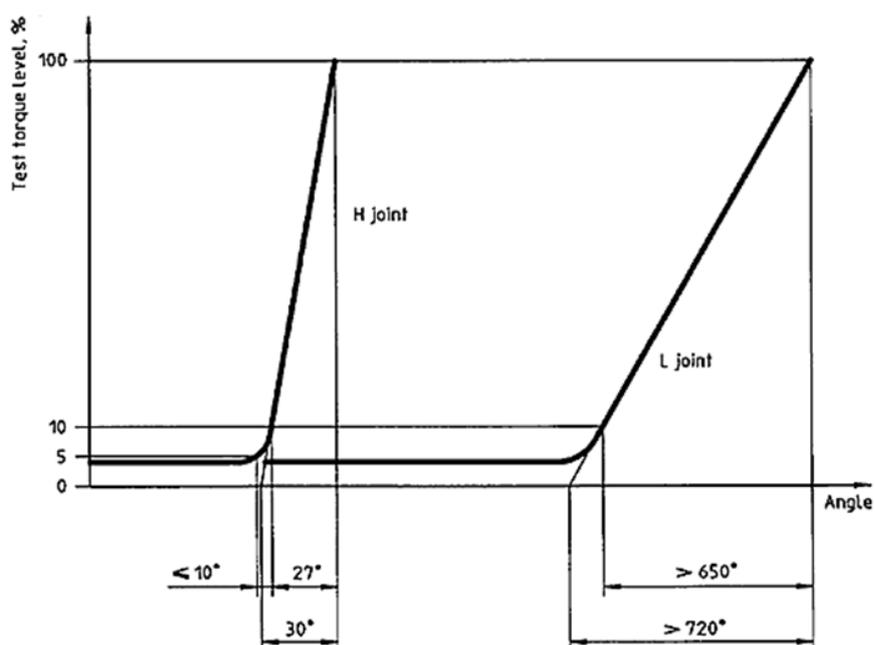


Figura 7 - Tipos de juntas
Fonte: ISO 5393 (1994)

2.1.1.5 Coeficientes de atrito

A rugosidade e o revestimento superficial do fixador originam o coeficiente de atrito dele e a determinação deste requer medições em laboratório (SCHATZ, 2012).

Os coeficientes de atrito: entre a cabeça do parafuso e a peça (μ_h); e entre os filetes da rosca do parafuso e da peça (μ_b), exercem influência direta sobre a força de união. Os valores abaixo (Quadro 1) exemplificam a porcentagem de energia despendida para gerar a força de união e vencer os atritos em dois fixadores com coeficientes diferentes, mas de mesma bitola e igual torque de aperto.

Coeficientes totais	0,08	0,14
Força de união	20%	12%
Atrito nos filetes	35%	39%
Atrito na cabeça	45%	49%

Quadro 1 - Coeficientes de atrito

Fonte: Schatz (2007)

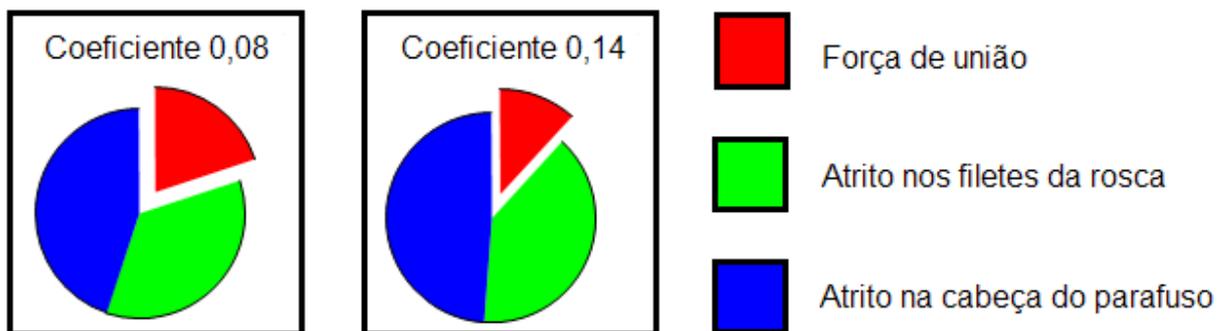


Gráfico 1 - Coeficientes de atrito

Fonte: Schatz (2007)

Normalmente uma situação de processo é simulada e repetida em laboratório e, a partir de análises dessas simulações os coeficientes são encontrados e especificações de torque e ângulo são geradas uso ou atualização do processo de montagem (SCHATZ, 2007).

2.1.2 Ferramentas de Aperto

A maior parte dos processos de montagem utiliza ferramentas apenas com controle de torque (SCHATZ, 2007). Basicamente são divididas entre torquímetros e parafusadeiras e estes com suas respectivas subdivisões. Ferramentas sem controle de torque, como chaves de boca e de impacto, não são abordadas neste trabalho.

A Norma ISO 6789:2003 (INTERNATIONAL..., 2003) classifica os torquímetros em dois tipos.

- Tipo I - Ferramentas de indicação de torque (Figura 8), ainda divididos em 5 classes quanto ao princípio de funcionamento;



Figura 8 - ISO 6789 Tipo I
Fonte: Sturtevant (2011)

- Tipo I - Ferramentas com ajuste de torque (Figura 9), ainda divididos em 6 classes quanto ao princípio de funcionamento;



Figura 9 - ISO 6789 Tipo II
Fonte: Sturtevant (2011)

As parafusadeiras, por serem exclusivamente desenhadas para montagem e nunca medição, não possuem uma classificação como os torquímetros.

São fabricadas nas formas: angular, reta ou pistola (Figura 10).



Figura 10 - Formas de aparafusadeiras
Fonte: Bosch (2006)

Pode-se ainda classificá-las como segue (Quadro 2):

Tecnologia	Motor	Alimentação	Controle de torque
Rotativa	Elétrico	Bateria	Mecânico
		Contínua através de fonte	Mecânico
			Por corrente elétrica
	Transdutorizado		
	Pneumático	Ar comprimido	Mecânico
Pulsativa	Hidropneumático	Ar comprimido	Mecânico

Quadro 2 - Classificação aparafusadeiras
Fonte: Autoria própria

No presente trabalho são tratadas apenas as aparafusadeiras na forma de pistola, com tecnologia rotativa, motor elétrico, alimentação à bateria e controle de torque mecânico. Este tipo foi selecionado por ser o único disponível para os ensaios.

2.1.2.1 Aparafusadeiras elétricas à bateria

As parafusadeiras à bateria são compostas por sete conjuntos principais (Figura 11):



Figura 11 - Conjuntos principais de uma aparafusadeira
Fonte: Autoria própria

- Carcaça:
 - Componente responsável por assegurar o acoplamento dos demais conjuntos e garantir a segurança do operador;
- Baterias:
 - Fonte de energia do motor elétrico;
- Placa e gatilho:
 - Comandam o acionamento do motor;
- Motor elétrico:
 - Sistema propulsor do equipamento;
- Planetário:
 - Conjunto de engrenagens planetárias que elevam o torque e diminuem a rotação do motor;
- Sistema de controle de torque:
 - Dispositivo mecânico ajustável, ligado à placa, com função de desligar o motor quando o torque ajustado é atingido.
- Cabeçote:
 - Adaptação mecânica padronizada para acoplamento de acessórios como soquetes e ponteiras, para acoplamento à cabeça do parafuso a ser apertado.

2.1.3 Calibração e Certificação de Ferramentas

Assim como outros meios de controle de processo, os torquímetros e parafusadeiras também precisam ser calibrados / certificados, não só para atender requisitos normativos, mas também para assegurar a qualidade do processo.

O órgão regulamentador no Brasil é o Instituto Nacional de Metrologia Normalização e Qualidade Industrial (INMETRO), que com base nos requisitos gerais para competência de laboratórios de calibração e ensaios, determinados pela ABNT ISO/IEC 17025:2001 (ASSOCIAÇÃO..., 2001), acredita empresas para a prestação destes serviços (ASSOCIAÇÃO..., 2011a). E estas passam a fazer parte da Rede Brasileira de Calibração (RBC).

Existem ainda outras normas nacionais e internacionais específicas para grupos de equipamentos que fornecem diretrizes para testes destes, abaixo alguns exemplos de normas relacionadas teste de ferramentas de torque (Quadro 3).

Norma	Escopo
ABNT ISO/IEC 17025:2005	Requisitos gerais para competência de laboratórios de calibração e ensaios.
ABNT NBR 12240:2000	Materiais metálicos - Calibração e classificação de instrumentos de medição de torque.
ISO 6789:2003	Requisitos e métodos para teste de conformidade e calibração de ferramentas de aperto manuais.
ISO 5393:1994	Teste de desempenho para ferramentas de aperto rotativas.

Quadro 3 - Normas para testes de ferramentas
Fonte: Autoria própria

2.1.3.1 Testes de capacidade

Os testes de capacidade, desempenho ou capacidade de máquinas, podem ser aplicados a qualquer ferramenta ou instrumento. Avaliam não apenas o desvio dos resultados em relação a um padrão, como é feito em uma calibração, mas também a dispersão deles.

Consistem em repetir várias medições, a ISO 5393:1994 (INTERNATIONAL..., 1994) recomenda 25 amostras, se possível eliminando variações oriundas da operação, processo ou material. Com base nos limites inferiores e superiores de especificação e os resultados dos testes, os índices de capacidade C_m e C_{mk} são calculados com as equações (1), (3) e (4) como segue (MONTGOMERY, 2009).

C_m representa a capacidade potencial da máquina, avalia se o processo está centrado.

$$C_m = (LS - LI) / 6\sigma \quad (1)$$

Onde LS é o limite superior especificado, LI é o limite inferior especificado e σ é o desvio padrão dos resultados, este último, calculado pela equação (2).

$$\sigma = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n x_i^2}{n} - \mu^2} \quad (2)$$

Na qual “ x_i ” é o resultado de cada medição, “ n ” é o número de medições realizadas e μ é a média dos resultados.

Cmk também é um índice de capacidade, porém leva em consideração o posicionamento dos resultados perante aos limites de especificação. É representado pelo menor valor encontrado nas equações (3) e (4).

$$Cm = (\mu - LI) / 3\sigma \quad (3)$$

$$Cm = (LS - \mu) / 3\sigma \quad (4)$$

Como os índices mostram a dispersão dos resultados, e são calculados com base nos campos de tolerância e os desvios padrões, as fórmulas sugerem que um índice igual a 1,00 reflete uma ferramenta a faixa de especificação igual à de dispersão. Da mesma forma, índices iguais a 2,00 evidenciam que a faixa de especificação é duas vezes mais ampla que a de dispersão. Com base nessa análise alguns autores classificam o objeto de estudo quantitativamente quanto aos índices (Quadro 4).

Valor do índice (Cm ou Cmk)	Classificação do equipamento
Menor que 1.	Incapaz.
Entre 1 e 1,33.	Adequado, mas exige inspeção.
Maior que 1,33.	Capaz.

Quadro 4 - Classificação quanto ao cm e cmk
Fonte: Adaptado de Guimarães (2009)

Ou até mesmo qualitativamente (Figura 12).

		Cm	
		<i>Ruim</i>	<i>Bom</i>
Cmk	<i>Ruim</i>	<i>Processo não capaz. Mudar ferramenta ou ajustar para obter boa precisão.</i>	<i>Processo capaz, mas a média preci- sa ser ajustada.</i>
	<i>Bom</i>	<i>Não possível.</i>	<i>Processo capaz e bem ajustado.</i>

Figura 12 - Cm e Cmk qualitativos
Fonte: Adaptado de Atlas (2009)

2.2 MANUTENÇÃO

A palavra manutenção traz à mente de muitos a atividade relacionada ao conserto de algo, ou manutenção corretiva. Quando se coloca que o conceito vai além, já surge a ideia de manutenção preventiva e assim por diante.

De fato as ações da manutenção estão voltadas ao retorno de um sistema para um estado disponível ou à retenção deste estado através da prevenção de ocorrência de falhas (LAFRAIA, 2001).

É comum, em se tratando de sistemas mais complexos, com valores aquisitivos maiores e produções mais rentáveis, existir um programa de manutenção bem definido. Também é fácil de visualizar a importância da manutenção quando a parada do sistema envolve riscos à integridade física das pessoas, como por exemplo, em uma aeronave. Já em sistemas mais simples, como ferramentas de aperto, onde uma perda de função não oferece risco e a substituição é relativamente barata, justificar um programa de manutenção pode não ser uma tarefa fácil.

Uma ferramenta manual sozinha dificilmente ganhará a importância e o investimento de um equipamento complexo, mas se todo o parque de ferramentas for agrupado em um grande sistema, poder-se-á definir uma estratégia de manutenção concisa para estas, como um programa de calibração por exemplo, que pode ser classificado como uma manutenção preventiva (O'CONNOR, 2005).

2.2.1 Manutenibilidade

A manutenibilidade, geralmente especificada pelo tempo médio de manutenção ativa, pode ser definida como a facilidade com a qual um sistema é reparado (O'CONNOR, 2005; LAFRAIA, 2001). Está diretamente ligada aos tempos e custos de uma manutenção corretiva e afeta diretamente a disponibilidade do sistema.

2.2.2 Disponibilidade

À probabilidade de que um sistema esteja pronto para operação quando requerido, dá-se o nome de disponibilidade (O'CONNOR, 2005), sendo esta uma função das taxas de falha e de reparo do sistema.

Em regime permanente, a disponibilidade (D) pode ser expressa pela equação (5), calculada sobre os tempos de cada estado (LAFRAIA, 2001).

$$D = \text{disponível} / (\text{disponível} + \text{em reparo} + \text{em manutenção}) \quad (5)$$

2.3 CONFIABILIDADE

A palavra confiabilidade inevitavelmente remete à confiança, e espera-se de algo confiável, que nunca falhe. Infelizmente não existem projetos perfeitos operando em condições perfeitas por mão de obra totalmente à prova de erros. Portanto, por mais que um sistema opere durante todo o período esperado para ele (ou durante toda a vida dele) sem nunca parar, isso jamais pode ser premissa para esperar exatamente o mesmo resultado para um sistema igual em condições iguais, em outras palavras, ele nunca apresentará 100% de confiança.

Assim, para chegar ao conceito de confiabilidade, tem-se antes que passar pelo de falha, que é “o término da habilidade de um item de exercer uma função requerida” (O'CONNOR, 2005, p. XXVI).

Sabe-se sabe que um item pode falhar, mas não exatamente quando, nem quantas vezes, assim, pode-se dizer que existe uma probabilidade de falha em

regime de operação normal, ou voltando à questão de confiança, existe uma probabilidade de não falhar, a qual nada mais é que a confiabilidade.

Ou de maneira direta, a confiabilidade é “a probabilidade de que um item exerça a função requerida sem falhar sob condições específicas durante um período de tempo determinado” (O’CONNOR, 2005, p. 2).

2.3.1 Manutenção Centrada em Confiabilidade

É possível determinar a confiabilidade de um sistema com base nos dados de falhas ou análises de vida dele e, com esses números em mãos, programar manutenções preventivas para os sistemas levando em consideração o nível de confiança desejado.

O enfoque da Manutenção Centrada em Confiabilidade (MCC) é garantir que o item continue exercendo sua função, diferente da manutenção tradicional que visa retornar o item a uma condição ideal.

Segundo Lafraia (2001, p. 239), a implementação da MCC otimiza as atividades de manutenção preventivas, gerando reduções de custo de até 40% mesmo com o aumento dessas atividades.

Porém é importante ressaltar que a MCC é um processo contínuo, à medida que a experiência é acumulada, análises e programas devem ser revisados.

Neste trabalho não serão descritas as etapas para implantação da MCC, mas é significativo observar que ela não acontece do dia para a noite, afinal o processo evolutivo da manutenção é lento.

A maioria dos conceitos de manutenção que se conhece hoje já existe há mais de 50 anos e ainda assim muitas empresas ainda se baseiam em técnicas defasadas. Um processo evolutivo passaria da manutenção baseada no tempo, entre as décadas de cinquenta e oitenta, e à partir daí para a manutenção baseada na condição, já abrangendo a MCC à partir da década de noventa (LAFRAIA, 2001).

3 EXPERIMENTAÇÃO

O objeto de estudo foi um modelo de aparafusadeira industrial à bateria do tipo pistola (Figura 13), de capacidade máxima igual a 8 Nm, com sistema mecânico ajustável para desligamento automático do motor quando atingido o esforço pré-definido.

Uma vez ajustada para um determinado torque, esse sistema mantém a regulação.



Figura 13 - Modelo estudado
Fonte: Bosch 2006

3.1 METODOLOGIA ADOTADA

3.1.1 Testes de Capabilidade

Com a máquina previamente ajustada, foram realizados 15 ensaios de capabilidade (Cm/Cmk) com 25 medições por ensaio, a um torque especificado em 4 Nm e tolerâncias superior e inferior iguais a 10% (+ / - 0,4 Nm).

Os apertos foram realizados em parafusos M8 x 45 mm, classe 10.9, estes fixados em furos com a mesma rosca em uma placa de aço 1045 temperado. As medições foram realizadas utilizando um transdutor de torque e um indicador digital (Figura 14).

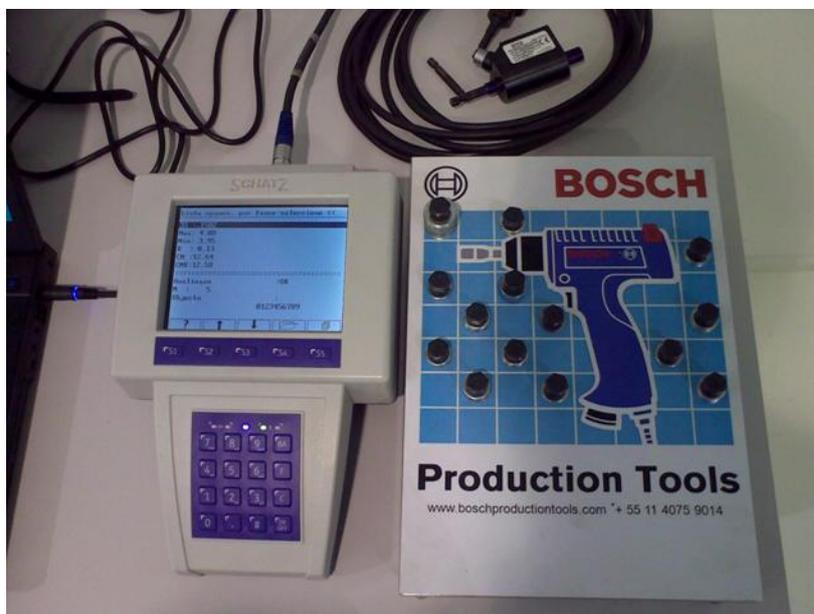


Figura 14 - Equipamentos para teste de capacidade
Fonte: Autoria própria

3.1.2 Dados de Falhas

Para levantamento de dados de falhas foram selecionadas 3 aparafusadeiras (P3, P4 e P5), todas do mesmo modelo do equipamento ensaiado e igualmente ajustadas para um torque 4 Nm.

Cada uma foi observada e suas respectivas falhas foram registradas durante um período de sete meses em um processo que submetia as máquinas a cerca de vinte mil acionamentos por dia, este dividido em dois turnos com intervalados em uma hora.

Para os tempos até a falha foram assumidos valores discretos de ciclos até a falha, ou acionamentos até a falha.

Também foram mensurados o número de ciclos de indisponibilidade e o custo do reparo, este expresso em forma de percentual do preço de compra da máquina.

3.2 RESULTADOS OBTIDOS

3.2.1 Testes de Capabilidade

O Quadro 5 mostra os índices Cm e Cmk de cada amostra, bem como os valores médios e o desvio padrão, já que para cálculo dos índices é considerada uma distribuição normal dos resultados.

Amostra	Média (Nm)	Desv. padrão	Cm	Cmk
1	4,02	0,04	3,08	2,91
2	4,04	0,06	2,36	2,15
3	4,08	0,02	5,58	4,50
4	4,09	0,04	3,67	2,86
5	4,16	0,02	8,43	5,06
6	3,99	0,03	4,80	4,71
7	4,03	0,02	7,13	6,59
8	4,03	0,02	6,93	6,45
9	3,99	0,02	5,96	5,81
10	4,01	0,03	4,52	4,43
11	3,86	0,03	4,28	2,80
12	3,88	0,03	3,90	2,71
13	3,88	0,02	5,85	4,12
14	3,90	0,04	3,37	2,51
15	3,88	0,05	2,62	1,81

Quadro 5 - Resultados das medições
Fonte: Autoria própria

3.2.2 Dados de Falhas

Para o estudo em questão foi considerada falha, qualquer interrupção do estado de funcionamento do equipamento, não sendo levado em consideração o tipo de falha.

O Quadro 6 mostra: o número de ciclos que cada aparafusadeira operou até atingir o estado de falha; o período de indisponibilidade, ou acionamentos que elas deixaram de completar por estarem paradas para reparo; e por fim o custo de cada reparo, expresso em percentual do valor de compra da máquina.

ID	Número de Ciclos		Custo do reparo
	Até a Falha	Indisponível	
P3	1.100.000	20.000	0%
P4	660.000	20.000	0%
P5	280.000	20.000	0%
P3	1.140.000	100.000	5%
P4	1.240.000	5.000	5%
P5	1.260.000	60.000	3%
P3	80.000	120.000	3%
P4	200.000	820.000	13%
P3	80.000	1.980.000	10%
P5	200.000	20.000	8%
P5	120.000	5.000	5%
P5	360.000	140.000	5%
P5	360.000	1.140.000	100%

Quadro 6 - Dados de falhas
Fonte: Autoria própria

As falhas com custo de 13%, 10% e 8% foram causadas pelo motor elétrico, o qual teve de ser substituído, a de 100% foi devido à danificação da placa com gatilho e motor, as demais foram defeitos reparáveis nos gatilhos.

Os tempos de indisponibilidade foram altos porque envolveram processos burocráticos para aprovação de despesas e logística, pois após autorizadas todas as manutenções levaram menos de uma hora para serem executadas.

Foi levantado ainda o número total de ciclos em operação e em espera, além da quantidade de falhas até o final do período estudado (Quadro 7).

ID	Total no período					
	Planejado	Operando	%	Parada	%	Falhas
P3	4780000	2560000	54%	2220000	46%	4
P4	4340000	3495000	81%	845000	19%	3
P5	3960000	2575000	65%	1385000	35%	6

Quadro 7 - Totais no período
Fonte: Autoria própria

4 ANÁLISE DOS DADOS

Os resultados dos ensaios de capacidade foram expostos graficamente para melhor visualização e análise, para tal foi utilizado o software Microsoft Excel.

Já os dados de falhas foram tratados no software ReliaSoft Weibull++.

4.1 ÍNDICES DE CAPABILIDADE

Como evidenciado no Gráfico 2, no qual o eixo vertical expressa os valores dos índices e o eixo horizontal o número sequencial de cada amostra, os valores de C_m e C_{mk} , combinados ao longo do tempo, apresentam uma leve tendência de queda, a qual pode ser explicada devido ao sistema responsável pelo desarme da aparafusadeira ser mecânico, e este suscetível a desgaste (KHATER, 2009).

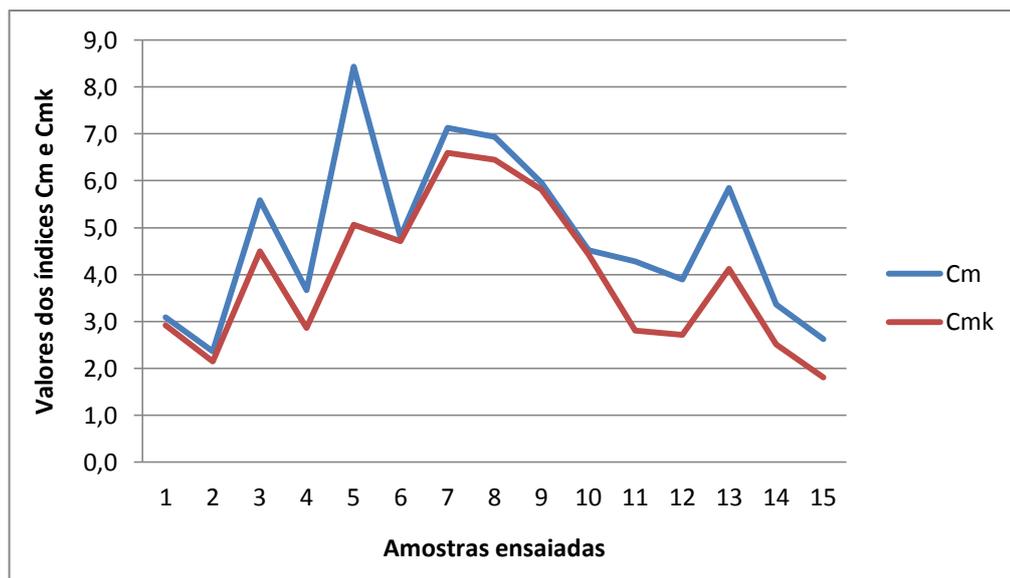


Gráfico 2 - Evolução dos índices de capacidade C_m e C_{mk}
 Fonte: Autoria própria

Com base na teoria exposta nos capítulos anteriores, poder-se-ia especificar limites de 1,33 para os índices de capacidade. Assim, levando-se em consideração a tendência das curvas e o número de apertos realizados pela máquina. Seria possível estipular um intervalo ótimo de ensaios e ainda prever o número de operações até a falha de fuga da especificação.

4.2 CURVAS DE CONFIABILIDADE

O teste de aderência do software ReliaSoft Weibull++ classificou os dados dos ciclos até as falhas como compatíveis a uma distribuição de probabilidade Weibull com 3 parâmetros (Quadro 8).

Relatório de Resultados Simplificado	
Tipo de Relatório	Resultados Weibull++
Informações do Usuário	
Usuário	Alessandro Zen
Parâmetros	
Distribuição:	Weibull-3P
Beta	0,833068
Eta (Cic)	732383,1722
Gama (Cic)	58300
Falhas \ Suspensões	10 \ 3
Fim do Relatório de Resultados Simplificado	

Quadro 8 - Relatório simplificado Weibull++
Fonte: Software ReliaSoft Weibull++

O parâmetro Beta revela a forma da função, Eta mostra a vida característica do sistema, onde a distribuição acumulada de falhas atinge 62,3%, e Gama, como parâmetro de localização, que além de deslocar a distribuição no eixo do tempo, mostra o período de vida mínima do sistema, ou tempo livre de falha.

Por a aparafusadeira se tratar de um sistema complexo, poder-se-ia adotar uma distribuição sem o parâmetro Gama, ou com Gama igual a zero, não assumindo assim um período totalmente livre de falhas, mas decidiu-se manter os três parâmetros porque o próprio fabricante assume uma vida mínima e oferece garantia para a máquina.

A partir daí foram levantados no software dados como:

- Vida média, ou tempo médio até a falha (Mean Time To Failure - MTTF): 865.408 ciclos;
- Tempo de garantia: 58.300 ciclos.
- Tempo para uma confiabilidade de 90%: $t(R=0,9) = 107.456$ ciclos;
- Confiabilidade para 100000 e 1000000 de ciclos:
 $R(t=100.000) = 0,912226$; $R(t=1.000.000) = 0,291428$

Extraiu-se ainda os gráficos como segue:

- $F(t)$ ou probabilidade de falha em função do tempo (Gráfico 3);
 - É a distribuição acumulada das falhas observadas;
 - Poderia ainda ser denominada “desconfiabilidade”, ou a não confiabilidade do sistema;
 - O Gráfico 3 ilustra a probabilidade de falha no eixo vertical e o tempo no eixo horizontal;
 - É perceptível o crescimento da probabilidade de falha no decorrer do tempo.

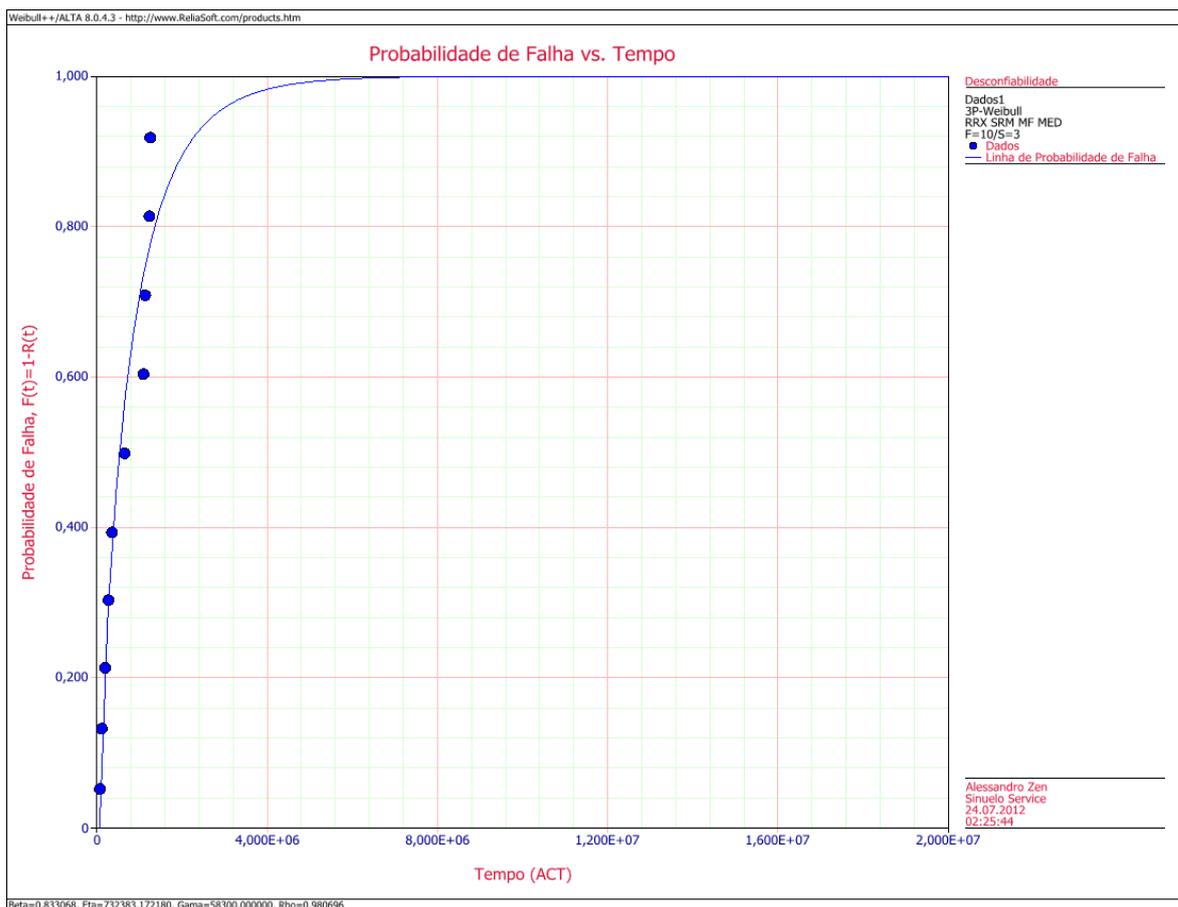


Gráfico 3 - Probabilidade de falha em função do tempo
Fonte: Software ReliaSoft Weibull++

- R(t) ou Confiabilidade em função do tempo (Gráfico 4);
 - É o inverso da distribuição acumulada de falhas;
 - O Gráfico 4 ilustra a probabilidade de sucesso no eixo vertical e o tempo no eixo horizontal;
 - Ao contrário do Gráfico 3, o Gráfico 4 mostra uma diminuição da probabilidade ao longo do tempo, o que é comum pois eles se complementam.

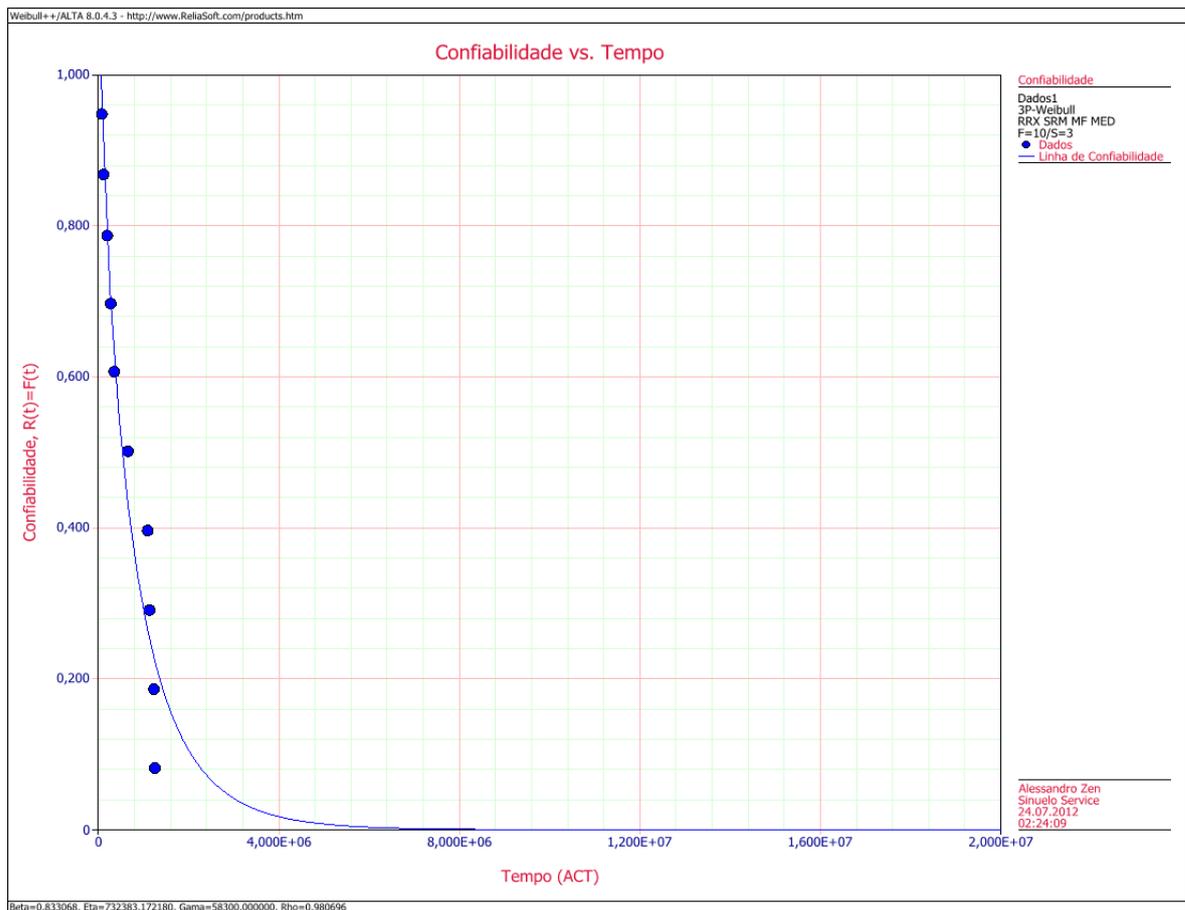


Gráfico 4 - Confiabilidade em função do tempo
Fonte: Software ReliaSoft Weibull++

- $f(t)$ ou Função densidade de probabilidade (Gráfico 5);
 - É a partir desta função que a confiabilidade e a probabilidade de falhas são calculadas;
 - A função densidade de probabilidade mostra como os dados de falhas levantados se distribuem e, conseqüentemente, tem a forma da distribuição seguida.

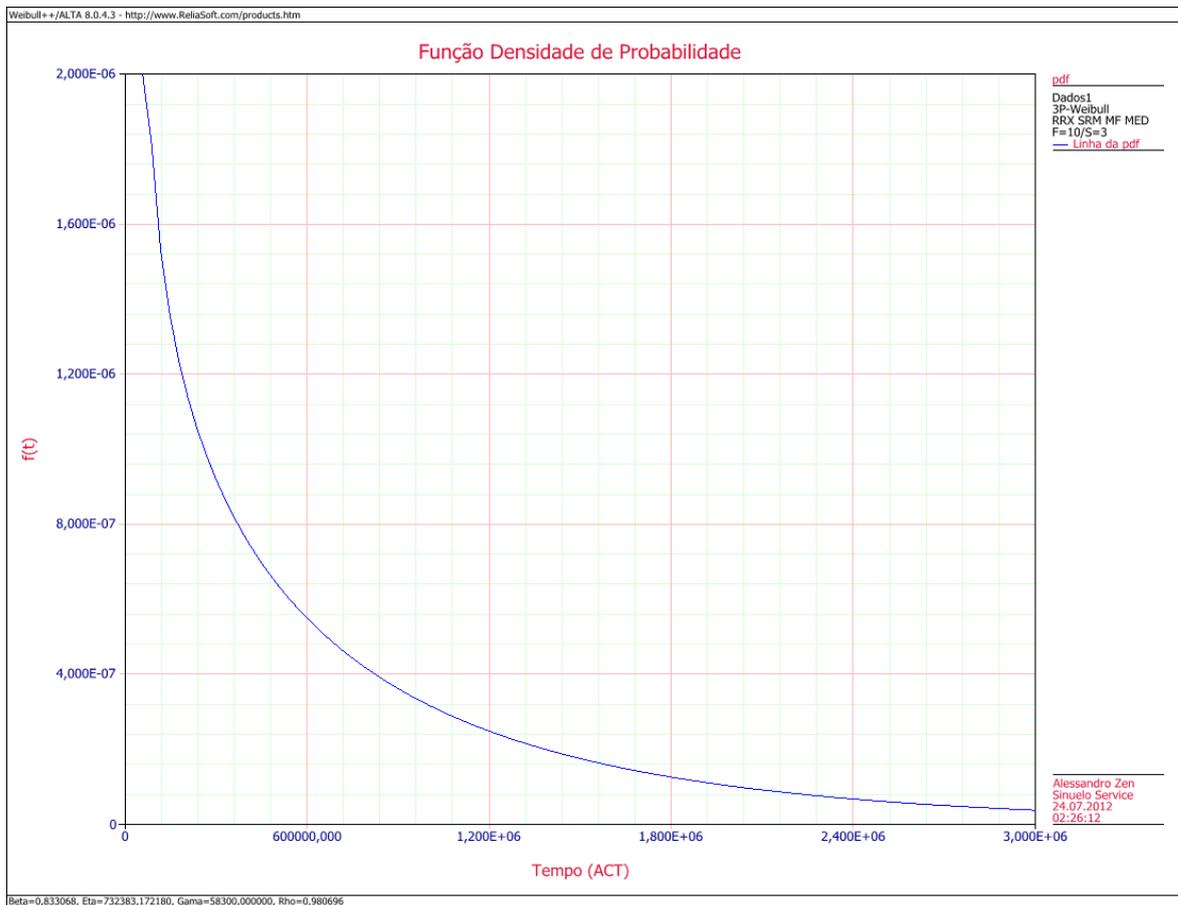


Gráfico 5 - Função densidade de probabilidade
Fonte: Software ReliaSoft Weibull++

- $h(t)$ ou taxa de falha em função do tempo (Gráfico 6).
 - É também conhecida como função de risco e é expressa em falhas por unidade de tempo.
 - À taxa na qual as falhas ocorrem em certo intervalo de tempo, dá-se o nome de taxa de falhas, esta é definida como a probabilidade de que uma falha ocorra no intervalo de tempo especificado (KNEZEVIC, 1993).
 - O Gráfico 6 demonstra que houve falhas prematuras, mas que ao longo do tempo a taxa de falhas foi se estabilizando.

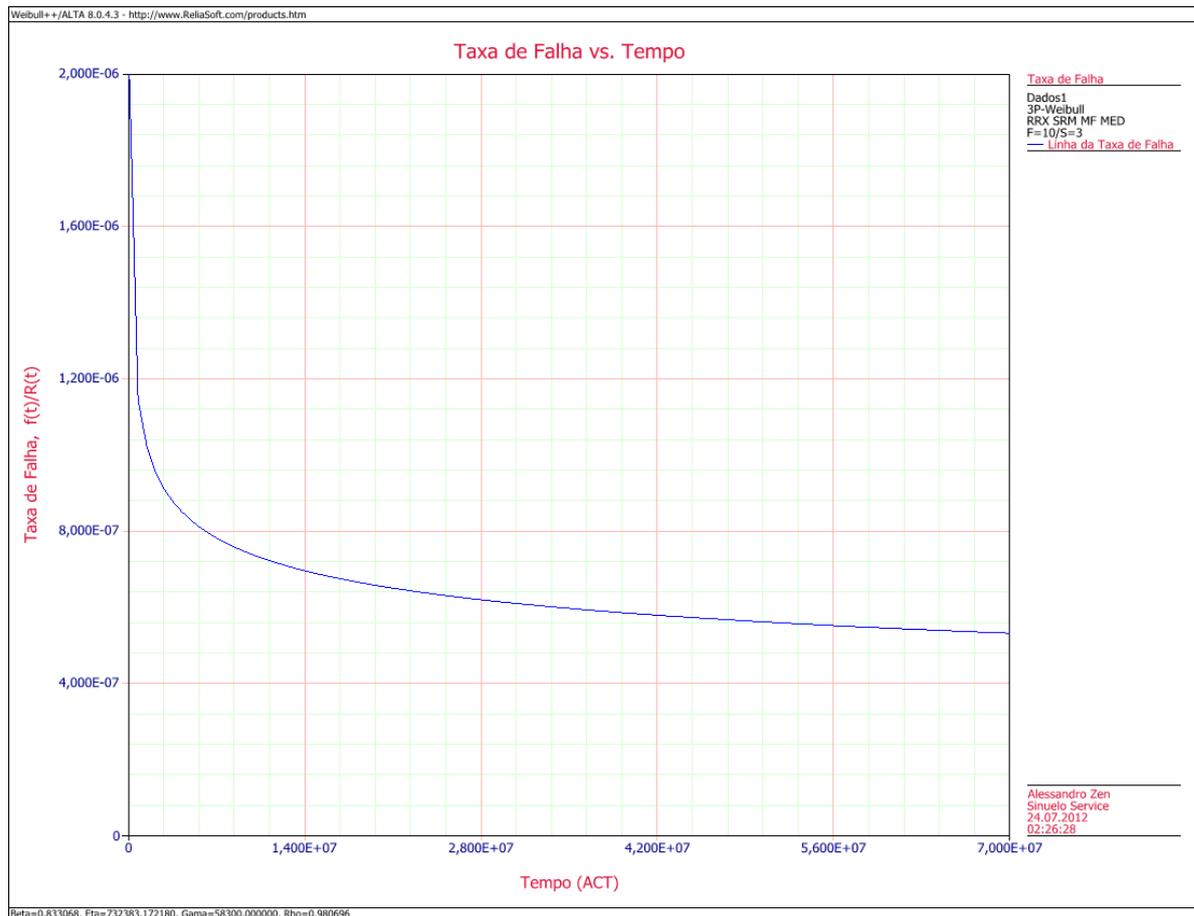


Gráfico 6 - Taxa de falha em função do tempo
Fonte: Software ReliaSoft Weibull++

4.3 ESTRATÉGIA DE MANUTENÇÃO

Com base nos quadros 6 e 7 do capítulo anterior, pode-se afirmar que os primeiros reparos não se mostraram caros, mas afetaram catastróficamente a disponibilidade das parafusadeiras, chegando a “P3” a ficar quase metade do tempo indisponível.

Assim, fundamentado nos cálculos do item 4.2 e ensaios, sugerir-se-ia:

- Um intervalo de inspeção com ensaios de capacidade dentro do período calculado para uma confiabilidade de 90%;
- A manutenção baseada na condição dos subconjuntos, estes inspecionados na ocasião do ensaio de capacidade no período calculado para uma confiabilidade de 90%;
- A manutenção preventiva com a substituição do motor e do gatilho um pouco abaixo do MTTF;
- A substituição da máquina durante a terceira manutenção com troca de componentes, onde a indisponibilidade cresce significativamente.

Recomendar-se-ia que as atividades de manutenção fossem realizadas durante o intervalo entre os turnos para não afetar a disponibilidade.

Em formato resumido o programa de manutenção ficaria conforme o Quadro 9.

Ação	Quando
Inspeção	Após 100.000 ciclos de operação
Manutenção baseada na condição	Após 100.000 ciclos de operação
Manutenção preventiva	Após 600.000 ciclos de operação
Substituição do equipamento	Durante a terceira manutenção

Quadro 9 - Resumo do programa

Fonte: Autoria própria

Entende-se como ciclo de operação um aperto realizado pela aparafusadeira, ou ainda como um acionamento do gatilho com posterior desligamento do motor por meio do sistema de controle de torque.

5 CONSIDERAÇÕES FINAIS

Quando se trata de grandes equipamentos industriais, com alto valor aquisitivo, não é difícil justificar um programa de manutenção, mas quando simples ferramentas como aparafusadeiras são abordadas, é necessário pensá-las como um conjunto para que se tornem mais expressivas. Ou ainda discorrer na consequência que a falha de uma delas pode causar, como a parada não programada em um processo produtivo. Assim programas de manutenção que não atuam apenas corretivamente são justificados e contribuem para uma melhor precisão na execução dos apertos com uma menor taxa de falhas.

Dentro deste enfoque, este trabalho buscou auxiliar na criação de um programa de manutenção consolidado, baseado em experimentos e levantamento de dados de vida.

Levando-se em consideração a homogeneidade no processo de fabricação das aparafusadeiras testadas, observaram-se três máquinas trabalhando em iguais condições e sob o mesmo ajuste de torque. Apesar de ser um parque pequeno de ferramentas, foi suficiente para levantamento das curvas e dados de vida conforme proposto nos objetivos.

Apenas para fins de comparação, essas informações foram confrontadas com uma base de dados do fabricante da máquina, e apesar das limitações enfrentadas, mostraram-se conexas. O tempo médio entre falhas (Mean Time Between Failure - MTBF) sugerido pelo fabricante é de aproximadamente 610.000 ciclos, e o tempo entre preventivas sugerido neste trabalho é de 600.000 ciclos.

Essa base de dados do fabricante da aparafusadeira foi levantada por meio de ensaios acelerados por componente, estes são tabelados em uma planilha, a qual possibilita o cálculo do MTBF por modelo de aparafusadeira, bastando apenas inserir as condições de operação.

Quanto ao tempo de garantia, mesmo que os cálculos forneçam dados quantitativos que a priori podem defini-lo como 58.300 ciclos, trata-se de uma inferência ou de uma possibilidade que representa um ponto de partida. Certamente para validá-lo como o tempo de garantia especificado, necessita-se de uma pesquisa mais aprofundada baseada em um processo mais detalhado, com base em informações de campo ou de um ensaio acelerado de vida ou um misto de ambos.

Já os ensaios de capacidade foram simulados em uma quarta máquina, de mesmo modelo, pois as três com os dados de vida não foram disponibilizadas para estes testes. Além disso, os ensaios tiveram de ser acelerados, pois estes normalmente são executados semestralmente, ou anualmente, e isso limitaria nossa amostra para no máximo dois resultados de C_m e C_{mk} , o que impossibilitaria qualquer afirmação de tendência. Entretanto, para que os resultados chegassem o mais próximo possível da realidade, esta quarta aparafusadeira foi também submetida a igual regime de operação.

Finalmente, mesmo com todas as limitações encontradas foi possível determinar, com base em estudo probabilístico, os intervalos para um programa de inspeções, manutenção preventiva, substituição programada e ainda o período de garantia.

5.1 SUGESTÕES PARA TRABALHOS FUTUROS

Como sugestão para novos trabalhos, destaca-se o levantamento de dados de vida e ensaios de capacidade da mesma máquina, porém com um período de observação de pelo menos dois anos, para criar uma base de dados mais consistente.

Recomenda-se ainda a criação de um dispositivo automático para simulação de um número bastante expressivo de acionamentos da aparafusadeira, permitindo assim um ensaio acelerado de vida da máquina.

REFERÊNCIAS

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **ABNT NBR 12240:2000**: Materiais metálicos - Calibração e classificação de instrumentos de medição de torque. Rio de Janeiro, 2000.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **ABNT ISO/TS 16949:2010**: Sistemas de gestão da qualidade - Requisitos particulares para aplicação da ABNT NBR ISO 9001:2008 para organizações de produção automotiva e peças de reposição pertinentes. Rio de Janeiro, 2010.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **ABNT ISO/IEC 17025:2005**: Requisitos gerais para competência de laboratórios de calibração e ensaios. Rio de Janeiro, 2005.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NIT-DICLA-012**: Relação padronizada de serviços acreditados para laboratórios de calibração. Rio de Janeiro, 2011a.

ASSOCIAÇÃO NACIONAL DE FABRICANTES DE VEÍCULOS AUTOMOTORES. ANFAVEA. **Anuário da Indústria Automobilística Brasileira 2011**. São Paulo, 2011b.

ASSOCIAÇÃO NACIONAL DE FABRICANTES DE VEÍCULOS AUTOMOTORES. ANFAVEA. **Indústria Automobilística Brasileira - 50 anos**. São Paulo, 2006.

ATLAS COPCO. **Guia de bolso de técnicas de análise estatística**. São Paulo, 2009

BOSCH PRODUCTION TOOLS. **Parafusadeiras industriais à bateria**. São Paulo, 2006.

LAFRAIA, João Ricardo Barusso. **Manual de Confiabilidade, Manutenibilidade e Disponibilidade**. Rio de Janeiro: Qualitymark: Petrobras, 2011.

GUIMARÃES, Inácio Andruski. **Estatística - Notas de Aula**. Universidade Tecnológica Federal do Paraná, Curitiba, 2011

INSTITUTO DA QUALIDADE AUTOMOTIVA - CERIMÔNIA DE CELEBRAÇÃO DE 15 ANOS, 2010, São Paulo. **Anais Eletrônicos...** São Paulo: IQA, 2010. Disponível em: <<http://www.iqa.org.br/website/abertura.asp?arg1=institu&arg2=inst15anos>>. Acesso em: 10 abr. 2012.

INTERNATIONAL ORGANIZATION FOR STANDARDIZATION. **ISO 5393:1994**: Rotary tools for threaded fasteners - Performance test method. Genebra, 1994.

INTERNATIONAL ORGANIZATION FOR STANDARDIZATION. **ISO 6789:2003**: Assembly tools for screws and nuts - Hand torque tools - Requirements and test methods for design conformance testing, quality conformance testing and recalibration procedure. Genebra, 2003.

INTERNATIONAL ORGANIZATION FOR STANDARDIZATION. **ISO 16047:2005**: Fasteners - Torque/clamp force testing. Genebra, 2005.

KHATER, Evaldo. **Confiabilidade Aplicada à Manutenção**. Instituto Superior de Tecnologia, São João Del Rei, 2009.

KNEZEVIC, Jezdmir. **Reliability, Maintainability and Supportability**. A probabilistic approach. McGraw - Hill, Berkshire, 1993.

MONTGOMERY, Douglas C. **Estatística aplicada e probabilidade para engenheiros**. LTC, Rio de Janeiro, 2009.

O'CONNOR, Patrick D.T. **Practical Reliability Engineering**. 4. Ed. Chichester: Wiley, 2005.

ORGANISATION DE COOPERATION ET DE DEVELOPPEMENT ECONOMIQUES - OCDE. **Méthode type proposée pour les enquêtes sur la recherche et le développement experimental, Manuel de Frascati**. Paris: OCDE, 2002.

SCHATZ, Volker. **10 Schritte zur sicheren Schraubverbindung**. Ein Leitfaden für höchste Qualität in der Schraubenmontage. Remscheid, 2007.

SCHATZ, Schraubverbindungen. **Der Spezialist für Qualitätssteigerung und Kostensenkung in der Schraubenmontage**. Remscheid, 2012. Disponível em: <<http://www.schatz-germany.com>>. Acesso em: 21 jul. 2012.

SIQUEIRA, Iony Patriota de. **Manutenção Centrada na Confiabilidade: Manual de Implementação**. Rio de Janeiro: Qualitymark, 2005.

STURTEVANT RICHMONT. **Advanced torque systems, Torque application and audit tools, Torque calibration systems**. Illinois, 2011.

UNIVERSIDADE TECNOLÓGICA FEDERAL DO PARANÁ. **Normas para elaboração de trabalhos acadêmicos**. Curitiba, 2008.

VERBAND DER AUTOMOBILINDUSTRIE. **VDA 235-203: Verschraubungsverhalten / Reibungszahlen**. Berlin, 2005.

VEREIN DEUTSCHER INGENIEURE. **VDI 2230: Systematic calculation of high duty bolted joints. Joints with one cylindrical bolt**. Düsseldorf, 2003.

VEREIN DEUTSCHER INGENIEURE. **VDI 2320: Continuous conveyors survey. Drag chain conveyors**. Düsseldorf, 2008.

VEREIN DEUTSCHER INGENIEURE. **VDI 2647: Transducers for nutrunning systems. Guideline for dynamic checking of tools according to ISO 5393**. Düsseldorf, 2005.

VEREIN DEUTSCHER INGENIEURE. **VDI 2862: Mindestanforderungen zum Einsatz von Schraubsystemen und Werkzeugen in der Automobilindustrie**. Düsseldorf, 2009.

ZEN, Alessandro. **Montagem e controle de juntas parafusadas**. Material instrucional produzido para a empresa Sinuelo Service Ltda. Curitiba, 2010.