



MANUTENÇÃO SOB O PRISMA DA CONFIABILIDADE : CIÊNCIA E SOLUÇÃO

Idécio Alexandre Palheta Cardoso
Gilberto Francisco Martha de Souza
Universidade de São Paulo, Escola Politécnica
Departamento de Engenharia Mecânica
Av. Prof. Mello Moraes, 2231
05508-900
Cidade Universitária - São Paulo - SP
Brasil
E-Mail : idelcio@usp.br ; gfmsouza@usp.br

Resumo. *A aplicação dos conceitos de confiabilidade à manutenção tem contribuído para trazer a atividade de manutenção ao âmbito científico, possibilitando auferir ganhos em diversos aspectos, tais como segurança e lucratividade. Mas para que esta prática tenha eficácia, é necessário conhecer em profundidade os sistemas, seus requisitos operacionais - como objetivos, limites e implicações legais - e, destacadamente, conhecer o fenômeno falha, relacionado à operação de um equipamento segundo três características : comportamento estatístico, o modo de falhar e a seqüência de propagação ao longo do sistema, definindo o quanto a operação do mesmo fica prejudicada pela ocorrência da falha. Estas características são elucidadas pelo emprego de ferramentas disponíveis e já consagradas, principalmente o FMEA. Este trabalho tem o objetivo de mostrar que o emprego dos conceitos de confiabilidade e suas ferramentas de análise é essencial para estabelecer ações adequadas de manutenção, numa política que assegure, além da excelência técnica na operação de um equipamento, a manutenção de sua rentabilidade e segurança, recorrendo a um exemplo da atividade aeronáutica.*

Palavras-chave: *Confiabilidade, Políticas de manutenção, Ferramentas de análise, Tratamento da falha*

1. INTRODUÇÃO

A confiabilidade diz respeito à garantia de operação de um sistema conforme solicitações previstas em projeto por um certo tempo. Este conceito é originário de diversas fontes, tais como o meio militar, a indústria aeronáutica e o ramo nuclear, atividades onde a ocorrência de uma falha pode vir a causar sérias perdas tanto materiais, como em termos de vidas humanas.

Dos muitos aspectos com os quais a confiabilidade está relacionada, sem dúvida a segurança ocupa posição de destaque, fato que pode ser comprovado ao se examinar normas

técnicas recentes, assim como legislações pertinentes à segurança do trabalho e ambiental. Estes aspectos, ao lado da crescente necessidade de minimizar efeitos da ocorrência de falhas - ou até eliminar a possibilidade de sua ocorrência - tem contribuído para o emprego da confiabilidade por ramos de atividade cada vez mais diversificados, como indústria em geral (seja de processos intermitentes ou contínuos), transportes, telecomunicações, hospitais e geração de energia, para citar alguns exemplos.

Características satisfatórias de confiabilidade podem ser conferidas a um equipamento pelo projeto do produto, pelo controle de variáveis operacionais ou pela combinação de ambas. É certo que a confiabilidade de um equipamento não aumenta nem se restaura ao longo do tempo, mas é possível manipular esta deterioração nos níveis de confiabilidade ampliando o período de utilização do sistema de maneira segura. E esta é uma responsabilidade fortemente relacionada à manutenção. Associando esta atividade à confiabilidade, é possível adotar políticas de manutenção que contemplem a execução de ações precisas, seguras e econômicas, concentrando esforços em pontos onde estas ações sejam imprescindíveis, resultando em uma abordagem eficaz da manutenção.

2. A CARACTERIZAÇÃO DA CONFIABILIDADE

Para compreender a motivação teórica acerca da manutenção sob o prisma da confiabilidade, é necessário explorar os principais conceitos envolvidos nesta abordagem, a começar pela própria definição de confiabilidade. Embora haja uma diversidade de definições para o conceito de confiabilidade, pode-se notar pela leitura das assertivas abaixo que há consenso em torno de alguns pontos. Serão apresentadas duas definições para o conceito de confiabilidade, quais sejam : confiabilidade “é a medida da probabilidade de um item operar satisfatoriamente sob condições determinadas por um intervalo de tempo definido” (Sundararajan, 1991), ou, como presente nos manuais e normas militares dos Estados Unidos, “é a probabilidade de um item executar suas funções sob condições pré-definidas de uso e manutenção, por um período de tempo específico” (O’Connor, 1985). Estas duas definições, ao lado das definições propostas por outros autores da área, fornecem como pontos em comum o fato de se esperar um desempenho específico, as condições de uso também serem especificadas, a utilização do item se dá durante um intervalo de tempo e o caráter estatístico da confiabilidade.

2.1 Tratamento estatístico da falha

A confiabilidade é uma grandeza obtida a partir da análise da ocorrência do evento falha, cuja definição também encontra uma ampla diversidade de proposições, envoltas em polêmicas e imprecisões.

Segundo Mirshawka (1991), falha é o fenômeno que reduz o desempenho ou impossibilita a operação de um item ou equipamento. É a partir da observação e do tratamento estatístico dado à falha que se obtém a probabilidade relacionada à confiabilidade presente nas definições dadas anteriormente. Considere-se então que a ocorrência das falhas ao longo do tempo assumam uma distribuição qualquer. Esta distribuição será então a função densidade de probabilidade de falhas, denotada por $f_x(t)$. Expressando a proporção de itens que terão falhado até o final de cada intervalo, ou seja, a distribuição acumulada da função densidade de probabilidade, tem-se :

$$F_x(t) = \int_x f_x(t) dt \quad (1)$$

onde a Eq. (1) é a distribuição acumulada da função densidade de probabilidade associada às falhas de um item. Se a Eq. (1) expressa a proporção de itens que tenham apresentado falha, então a confiabilidade para um determinado intervalo será a proporção de itens sobreviventes, ou seja :

$$R(t) = 1 - F(t) \quad (2)$$

onde a Eq. (2) é a confiabilidade em um intervalo de tempo. É interessante ressaltar que as Eq. (1) e (2) assumem valores no intervalo $[0,1]$ e ainda que a Eq. (1) é monotônica crescente. Assim sendo, a função confiabilidade será monotônica decrescente, assumindo o valor máximo em $t = 0$, quando a Eq. (2) terá o valor 1 e a partir de então sempre diminuirá. Em termos práticos, isto significa que a confiabilidade de um item ou equipamento não poderá ser aumentada num instante t . Apenas é possível reduzir o seu gradiente de perda.

Um conceito de vital importância quando se deseja estabelecer políticas de manutenção visando assegurar a confiabilidade é a taxa de falhas, não tanto pelo valor desta taxa, mas pelo comportamento ao longo do tempo. A taxa de falhas $\lambda(t)$ em um instante t é definida como a proporção de itens que sobreviveu até o intervalo de tempo anterior ao intervalo considerado.

Quanto à evolução temporal da taxa de falhas, diversos modelos têm sido concebidos para caracterizá-la, sendo o mais conhecido, sem dúvida, a curva da banheira, presente na figura 1.

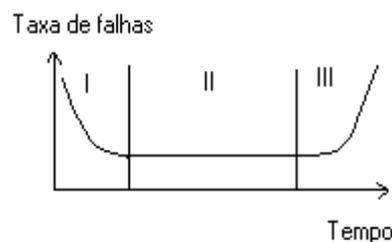


Figura 1 - Curva da Banheira

Embora não seja o padrão ideal para todos os tipos de equipamentos, o interesse nesta curva reside no fato de ser possível observar três fases distintas ao longo da vida de um equipamento, sendo :

I - Mortalidade infantil, caracterizada pelo elevado número de falhas nos primeiros momentos de operação do item;

II - Vida útil, caracterizada pela baixa taxa de falhas durante o período considerada, apresentando um patamar (λ constante), típico de falhas aleatórias e

III - Velhice ou Deterioração, onde a taxa de falhas volta a aumentar, mesmo submetendo o equipamento a ações intensas de manutenção, o que significa altos custos; é a última fase na vida do equipamento.

Não deve ser confundido o comportamento temporal da taxa de falhas de um item com a evolução de sua confiabilidade. A taxa de falhas pode aumentar ou diminuir ao longo do tempo. A confiabilidade apenas decresce.

2.2 Modos de falhar dos componentes

É evidente a complexidade dos atuais equipamentos utilizados em qualquer ramo de atividade, o que significa haver uma diversidade de tipos de componentes em uma mesma unidade.

Cada um destes componentes está submetido a solicitações que variam conforme sua natureza, assim, um componente mecânico estará sujeito à ação de forças, um componente elétrico estará solicitado por uma tensão ou corrente, bem como um componente eletrônico poderá ser solicitado por tensões, correntes ou campos.

Logo, o mecanismo pelo qual a falha se desenvolverá é distinto para cada um dos componentes, dizendo respeito sobretudo à natureza das solicitações que o mesmo sofre durante sua vida útil. A este mecanismo se dá o nome de modo de falhar. O modo de falhar pode ser determinado com segurança dentro de condições preestabelecidas, ou seja, se a operação do equipamento se der abaixo de valores admissíveis determinados em projeto. Em geral, há um ou poucos modos de falhar dominantes para cada item, os quais podem ocorrer simultaneamente. Entretanto, se valores admissíveis são ultrapassados, novos modos de falhar podem ocorrer.

Um modo de falhar pode frequentemente estar associado a um determinado comportamento temporal da taxa de falhas, o que é uma importante propriedade quando se necessita tomar decisões acerca da manutenção do item em questão. Juntamente com a caracterização estatística da falha, o modo de falhar fornece diretrizes sobre a necessidade e conveniência de se adotar revisões e substituições periódicas, monitorar parâmetros essenciais ou ainda, o modo de falhar pode revelar a impossibilidade de serem executadas ações de manutenção antes da falha.

Duas importantes características dos modos de falhar de um componente, como aponta Blanco (1996), são o tempo de desenvolvimento da falha (TDF) e a presença de sintomas. Blanco (1996) propõe quatro tipos básicos de modos de falhar, sendo :

- falhas aleatórias sem TDF;
- falhas não aleatórias com TDF;
- falhas aleatórias com TDF e
- falhas não aleatórias com TDF.

A partir desta idéia, propõe-se a matriz de decisão acerca da manutenção, expressa pela Tabela 1 :

Tabela 1 - Matriz de decisão para manutenção

TDF / Estatística da Falha	Aleatórias	Não Aleatórias
Com TDF	Preditiva	Preventiva/Preditiva
Sem TDF	Corretiva	Preventiva

Segundo Blanco (1996), esta classificação permite selecionar práticas de manutenção de maneira rápida e segura apenas observando os aspectos de comportamento estatístico da falha e modos de falhar do equipamento. Estes aspectos já colocam a manutenção em um ambiente de confiabilidade, pois mesmo para levantar os dados relativos à Tabela 1, é necessário proceder-se a uma pesquisa em torno das falhas de um equipamento ou componente.

2.3 Confiabilidade de sistemas

O comportamento estatístico da falha, bem como as informações relativas ao modo de falhar são de vital importância no estabelecimento das decisões acerca da manutenção visando a confiabilidade. Porém, deve-se ressaltar o seguinte : os equipamentos em uso atualmente caracterizam-se por apresentar níveis elevados de sofisticação e complexidade, nos quais são encontrados componentes de diversas naturezas, operando de forma integrada. Assim, a operação de um componente ou subsistema do equipamento depende da operação de outros componentes ou subsistemas. Logo, uma falha ocorrida em um componente ligado a muitos outros, é mais crítica que a falha em um componente com menor influência sobre outros subsistemas. Esta criticidade da falha diz respeito não apenas ao fato de ocorrer a parada total do equipamento, mas pela possibilidade de a falha em um componente dito crítico provocar a falha em outros componentes.

Tem-se então o aspecto de propagação da falha ao longo do equipamento, o qual pode ser visto sob a forma de um sistema. Sistemas são um conjunto de partes operando interligadas de modo a conduzir o conjunto a atingir seus objetivos. Sob o ponto de vista da ciência da confiabilidade, um sistema pode ser representado pelos diagramas de blocos, os quais expressam o arranjo dos componentes que caracterizam os diferentes sistemas. Há duas formas básicas de configuração dos sistemas, sendo o arranjo em série e o arranjo em paralelo, como pode ser visto na Figura 2.

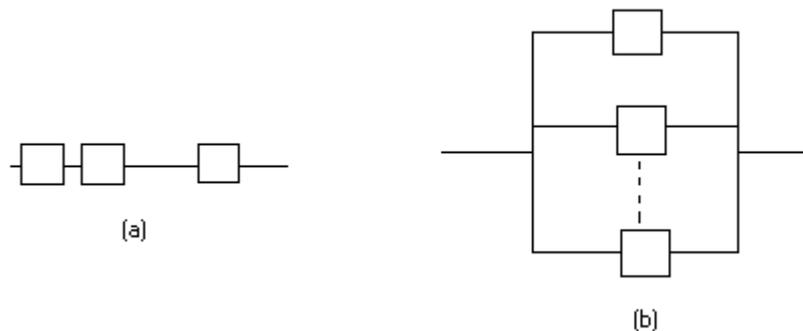


Figura 2 - Sistemas dispostos em série (a) e em paralelo (b)

Na ciência da confiabilidade, uma extensa análise visa calcular a confiabilidade das diversas configurações de sistemas, o que em muitos casos só é possível computacionalmente. Porém, é possível tecer considerações a respeito dos arranjos em série e em paralelo.

Nos sistemas dispostos em série, a falha em apenas um dos componentes qualquer que seja, provoca a parada total do sistema. Já nos sistemas em paralelo, pode continuar havendo a operação se algum componente falhar, o que depende de diversos fatores como a quantidade de componentes em paralelo e sua função no sistema. Esta característica dos sistemas em paralelo possibilita seu emprego em situações nas quais seja necessário algum nível de redundância, fator importante onde o perfil das falhas seja marcadamente aleatório - caso de componentes eletrônicos. A redundância também é bem-vinda quando paradas nos sistemas provocam grandes prejuízos ou perdas de vidas humanas, como é o caso de indústrias de processos contínuos, geração de energia, estações de bombeamento e operação de aeronaves.

Outros arranjos estão presentes como resultado da combinação das duas configurações básicas, ou em associação com formatos especiais de redundância, onde há componentes de reserva (“*stand-by*”), ou fluxo preferencial de informações.

A análise da confiabilidade de um sistema por meio do diagrama de blocos resulta numa ferramenta eficaz quando se deseja compreender o funcionamento do equipamento e a relação entre seus componentes, além de permitir calcular a confiabilidade do sistema em questão. Entretanto, é impossível a partir da inspeção do diagrama de blocos, determinar as causas das falhas e suas conseqüências sobre a deterioração da operação do sistema. Por isso, apesar de confiável, o diagrama de blocos é uma ferramenta incompleta para a tomada de decisões em manutenção.

Simples ou complexos, os equipamentos devem ser muito bem conhecidos afim de que se possa estabelecer ações adequadas de manutenção no sentido não apenas de minimizar ou sanar as causas das falhas, mas para que as conseqüências da ocorrência destas falhas - nem sempre possíveis de serem eliminadas - sejam as menos graves possíveis.

A crescente sofisticação dos equipamentos, ao lado de requisitos de utilização - como requisitos associados à segurança - cada vez mais exigentes, favoreceu o desenvolvimento de ferramentas de análise de confiabilidade abrangentes, como o FMEA - Análise de Modos e Efeitos das Falhas. Segundo Sundararajan (1991), o FMEA é o método mais conhecido e aceito para análise de confiabilidade. Surgido no meio militar (norma MIL 1629 STD) e tendo o início de sua aplicação civil na atividade aeronáutica, seu emprego pode ser visto em atividades como melhoria de projetos, concepção de testes tipo “*burn-in*”, projeto de linhas de produção e manutenção, com a elaboração de rotinas de diagnose e requisitos de manutenção, para citar alguns exemplos. Para Sundararajan, as questões a serem levadas em consideração na elaboração do FMEA dizem respeito a como o componente pode falhar (quais seus modos de falhar), quais os efeitos destas falhas, quão críticos são estes efeitos, como detectar a falha e quais as medidas recomendadas contra estas falhas (evitá-las, preveni-las ou minimizar seus efeitos).

Dependendo da complexidade do equipamento e do nível de detalhamento desejado, o FMEA pode ser simples, mas em geral, sua execução é laboriosa, exigindo pessoal capacitado, sobretudo quando se adota o FME(C)A, onde é atribuído um índice de criticidade à falha. Isto porque além de dominar conhecimentos acerca do equipamento (modos de falha, princípio de funcionamento dos componentes e especificações de utilização do equipamento), é necessário lidar com os conceitos relativos à confiabilidade, pois taxas de falha e probabilidades devem ser calculados a priori.

O emprego maciço desta ferramenta indica suas virtudes, embora seja necessário ressaltar que sua utilização deve ser precedida de uma análise cuidadosa quanto aos requisitos desejados ou impostos ao equipamento. Mas o fato de o FMEA considerar os efeitos de falhas ocorrendo isoladamente constitui uma desvantagem deste método, já que na prática, inclusive, a ocorrência de um modo de falha pode vir a desencadear o início de outras falhas.

O FMEA também não contempla totalmente o caso de falhas já ocorridas. Uma das principais preocupações do pessoal envolvido em manutenção é a rapidez com que um equipamento retorna à operação. Isto diz respeito à correção do problema, mas também à diagnose, ou seja, a determinação precisa e rápida das causas das falhas, causas estas que podem ocorrer isoladamente ou não. Para estes casos, desenvolveu-se a FTA - análise da Árvore de Falhas - a qual, a partir da ocorrência da falha, fazendo uso de uma estrutura lógica em que são relacionados os componentes afetados por esta falha e sua contribuição para com o evento parada do equipamento.

Devido a estas características, a FTA é muito útil na elaboração de um procedimento de diagnose denominado de “*troubleshooting*”, onde para cada problema conhecido, são listadas ações corretivas e os componentes associados ao problema, fato que facilita e torna muito rápida a diagnose de um equipamento, ficando o tempo de manutenção mais afetado pela execução da ação corretiva do que pela pesquisa das causas da falha. A respeito da FTA,

pode-se citar como desvantagem o fato de que é um diagrama estático por ser elaborado no momento da falha, não levando em conta a evolução da taxa de falhas. Pode-se dizer que, com relação ao sistema, FMEA e FTA percorrem caminhos inversos. Enquanto a FTA parte de um problema apresentado pelo sistema, descendo ao nível dos componentes, o FMEA parte da análise do componente, verificando as conseqüências sobre o conjunto. O importante é perceber que há mais de um recurso válido na análise da confiabilidade e na tomada de decisões em manutenção, exigindo reflexão e conhecimento na elaboração das hipóteses, retribuindo com rigor no fornecimento de resultados.

3 REQUISITOS DE UTILIZAÇÃO E MANUTENÇÃO DE EQUIPAMENTOS

Um equipamento, assim como qualquer produto, só vem ao mercado porque deve cumprir objetivos, satisfazendo aos fabricantes - que esperam obter lucros com a venda e utilização de seus produtos, aos operadores e utilizadores - que esperam uma operação satisfatória e isenta de problemas - e agências reguladoras - as quais devem fiscalizar, estabelecer normas e zelar pela integridade de todos os envolvidos com a operação de um equipamento, além das preocupações ambientais cada vez mais citadas. Assim sendo, os requisitos de utilização de um sistema são o conjunto de objetivos ditados por estes públicos. em geral, estes requisitos podem ser expressos em termos de lucratividade, segurança, facilidade de manutenção, longevidade e a própria confiabilidade pode ser um índice imposto como requisito, já que é um valor numérico que retrata o desempenho operacional de um sistema.

A manutenção se insere como uma componente operacional do equipamento e em muitas atividades, é um fator regulado por legislação específica, caso do transporte aéreo. Definida como a atividade responsável por manter ou retornar os equipamentos às suas condições especificadas de operação, a manutenção tem como uma de suas atribuições preservar a confiabilidade de um sistema e o faz reduzindo o gradiente de perda de confiabilidade mencionado na seção 2.1 deste trabalho. Para alcançar este objetivo, a manutenção se utiliza dos três aspectos explorados anteriormente, comportamento estatístico da falha, modos de falhar e análise da confiabilidade dos sistemas; valendo-se da aplicação dos conceitos de confiabilidade sobretudo pela aplicação das ferramentas como o FMEA e a FTA. Além disto, a manutenção se torna uma atividade mais enxuta, pois concentra ações nos pontos onde estas realmente sejam requeridas. Isto se traduz em excelência técnica e eficácia empresarial.

4 EXEMPLO DE APLICAÇÃO DOS CONCEITOS DE CONFIABILIDADE EM MANUTENÇÃO AERONÁUTICA

Como uma das atividades civis que primeiro se beneficiou da aplicação dos conceitos de confiabilidade foi a aviação, este é um campo fértil para a coleta de dados e exemplos, pois além de extensas pesquisas realizadas ao longo de quase cinco décadas - desde a década de quarenta se discute a confiabilidade na atividade aeronáutica - tem-se uma rígida legislação fiscalizando a operação e manutenção das aeronaves ao redor do mundo, além de vasta documentação a respeito do tema.

O exemplo em questão é a análise de um estudo realizado ao longo de seis anos sobre o comportamento do conjunto dos freios do trem de pouso principal da aeronave FOKKER F-27 - ainda em uso em nosso país - realizado por Al-Garni, Sahin e Al-Farayedhi (1997). A aeronave é apresentada na Figura 3, cumprindo destacar que seu emprego típico é para o transporte de passageiros em curtas e médias distâncias (entre 300 e 1500 km), podendo acomodar cerca de 50 pessoas, incluindo dois pilotos e pessoal de cabine. Também é utilizado para o transporte de carga. Seu comprimento total é de 23,56 m, altura de 8,5 m e o peso

máximo de decolagem, dependendo da configuração adotada é de 17900 kg. Portanto, é uma aeronave classificada como sendo um turbo-hélice de médio porte, cuja operação deve ser cercada de medidas com relação à segurança, já que o fato de transportar passageiros, além do tamanho da aeronave, indicam o risco de perdas vultosas tanto materiais, quanto - principalmente - em vidas humanas.

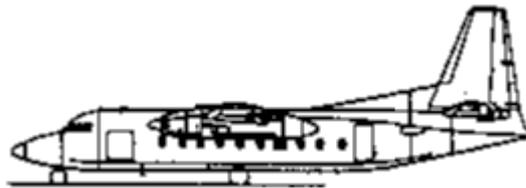


Figura 3 - Aeronave F-27 : aspecto externo

Esta pesquisa consistiu em determinar o comportamento estatístico das falhas devidas ao modo de falha dominante no conjunto do freio em questão - o desgaste - determinando a expressão analítica da confiabilidade para o componente. Isto se tornou possível graças ao fato de as falhas por desgaste serem descritas pela distribuição de Weibull, a qual tem a forma da Eq. 3, onde o parâmetro N_0 é a vida mínima esperada para o item medido como o número mínimo de pousos para o qual o conjunto deve sobreviver, podendo ser interpretado como o ponto de início da distribuição, η é um parâmetro de escala com a dimensão de número de pousos e β é um parâmetro adimensional, muito útil para avaliar o comportamento da taxa de falhas. Neste exemplo, é de particular interesse o caso em que $\beta > 1$, o que se traduz em taxa de falhas crescente.

$$F(N) = 1 - \exp \left[- \left(\frac{N - N_0}{\eta} \right)^\beta \right] \quad N > N_0 \quad (3)$$

No trabalho em referência, os autores monitoraram o número de pousos executados por uma aeronave até haver a necessidade de substituir o conjunto de freios, tomando o limite de desgaste indicado pelo fabricante, obtendo a partir destes dados, a distribuição de probabilidade que melhor expressaria o desgaste deste conjunto, a qual é abaixo reproduzida, sendo esta a conclusão final do mesmo :

$$R(N) = \exp \left[- \left(\frac{N - 223}{500} \right)^{1,253} \right]. \quad (4)$$

A partir desta conclusão, pode-se analisar mais detalhadamente o problema da manutenção do conjunto dos freios desta aeronave sob o prisma da confiabilidade. O estudo estabeleceu como vida mínima (N_0) para o conjunto de freios do F-27 a quantidade de 223 pousos. Levando-se em consideração o fato de que o emprego típico desta aeronave se dá em rotas com cerca de 1 hora de duração, é possível que diariamente sejam realizados 10 pousos ou mais. Esta quantidade é observada em algumas empresas brasileiras, as quais empregam o F-27 no transporte de passageiros ou carga. Para efeito de comparação, as aeronaves utilizadas na

ponte aérea Rio-São Paulo, bem mais pesadas e velozes no pouso que o F-27, realizam até 12 pousos diários em épocas de grande fluxo de passageiros. Com 10 pousos diários, as substituições se dão em intervalos de pouco mais de três semanas. Mesmo considerando a vida média de 688 pousos, correspondendo a uma confiabilidade de 40%, a frequência de trocas esperada ainda seria elevada.

Considerando-se que a montagem destes conjuntos é complexa e sua substituição exige a remoção das rodas, substituição dos freios, reinstalação das rodas, alinhamento do trem de pouso e testes, pode-se concluir que o tempo consumido nesta intervenção é elevado.

O problema é agravado em virtude dos freios serem componentes não reparáveis e do F-27 empregar 4 destes conjuntos de freios e a troca exigiria ao redor de 8 horas de trabalho. Se estes componentes forem substituídos alternadamente, a disponibilidade da aeronave ficará sensivelmente comprometida.

Uma política de manutenção para os freios do F-27, sempre estará baseada no modo de falha desgaste. As variáveis que podem acelerar este processo são conhecidas, como a temperatura e presença de partículas abrasivas, no caso das condições de operação da aeronave em referência e, levando-as em consideração, pode-se adotar a limpeza periódica dos conjuntos para remover as partículas de areia, reduzindo seu efeito abrasivo o qual acelera o desgaste do conjunto. O resultado esperado é um acréscimo na vida mínima dos freios.

Esta limpeza pode ser feita durante o “*check*” de pernoite do F-27, sendo uma intervenção rápida, que utiliza fluido específico impelido por ar comprimido.

Sob o ponto de vista econômico, seria conveniente prolongar a utilização destes conjuntos até o “*check*” de 1000 horas, com a finalidade de aproveitar a desmontagem das rodas e inspeção dos componentes do trem de pouso, procedimentos programados neste tipo de revisão.

Adicionalmente, considerando-se a aeronave como um complexo sistema composto por numerosos subsistemas e enfocando-se com mais detalhes o subsistema do trem de pouso, pode-se classificar o conjunto dos freios como um componente deste subsistema.

Assim, o modo de falhar dos freios pode ser um fator contribuinte para o modo de falhar dos componentes estruturais do trem de pouso. Isto porque, à medida em que progride o desgaste dos freios, vibração excessiva e cargas de choque são transmitidas ao trem de pouso principal, o qual, no F-27, consiste em um mecanismo hidráulico conectado a uma haste, denominada de perna, com aproximadamente 2,60 m de altura.

Lomax (1996) afirma que as forças devidas à frenagem devem ser cuidadosamente controladas, pois são esforços bastante influentes no modo de falhar do trem de pouso. Como a frequência das falhas dos freios é alta, deve-se atentar para a possibilidade de aceleração das falhas do trem de pouso, exigindo a intensificação das inspeções estruturais a fim de manter a segurança na operação da aeronave dentro dos padrões legalmente exigidos.

5 CONSIDERAÇÕES FINAIS

Aplicar os conceitos de confiabilidade à manutenção pode ser uma tarefa bastante laboriosa em face dos vários conceitos teóricos envolvidos, além das variáveis presentes na operação normal de um equipamento, as quais influenciam o ritmo em que se deteriora a operação de um sistema. Porém, levando em consideração o comportamento estatístico da falha, os modos de falhar dos componentes e sistemas e a propagação da falha através dos mesmos, ao lado do emprego das ferramentas de análise da confiabilidade, tem-se um meio seguro e eficaz na tomada de decisão em manutenção. O exemplo do FOKKER F-27 veio confirmar a utilidade das políticas de manutenção voltadas à confiabilidade, quer em termos de

segurança, quer em termos da rentabilidade de uma atividade complexa como o transporte aéreo.

6 REFERÊNCIAS

- Al-Garni, A.; Sahin, A. & Al-Farayedhi, A., 1997, A reliability study of Fokker F-27 airplane brakes, *Reliability engineering and System Safety*, n°56, pp. 143-150.
- Blanco, S., 1996, *Manutenção Classe Mundial*, Manutenção, n°60 pp. A77-A82.
- Lomax, T., 1996, *Structural loads analysis for commercial transport aircraft : theory and practice*, AIAA, Reston.
- Mirshawka, V., 1991, *Manutenção Preditiva : a busca do zero defeito*, Makron, São Paulo.
- O'Connor, P., 1985, *Practical reliability engineering*, 2ª ed., J. Wiley, New York.
- Sundararajan, C., 1991, *Guide to reliability engineering : data, analysis, applications, implementation and management*, Reinhold, New York.

***Abstract.** The application of reliability concepts to maintenance has been successful in regarding this activity as scientific practice, bringing effects such as safety improvement and profitability in business. In order to make this practice suitable, there are requirements related to the knowledge of the system itself, its operation targets, such as legal and safety statements, and the fault phenomenon, relating it to the equipment operation according to three characteristics : statistical behavior, failure mode and the failure propagation through the system, defining the functionability deterioration due to the failure occurrence. these characteristics are highlighted by the employment of systems reliability analysis tools, such as FMEA. This paper aims to show the importance of the reliability concepts application to define maintenance practices, in order to assure safety, profitability and technical performance during a system operation, based on an aeronautical activity equipment.*

***Keywords:** Reliability, Maintenance practices, Analysis tools, Failure treatment*