

UMA DISCUSSÃO SOBRE AS NORMAS DE CONFIABILIDADE DA FAMÍLIA MIL-HDBK-217 F E 217PLUS™

Roberta de Cássia Ferreira Porto

rocafe@yaho.com.br

Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais - INPE
P.O.Box 515, 12201-010, São José dos Campos, SP, Brasil

Marcelo Lopes de Oliveira e Souza

marcelo@dem.inpe.br

Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais- INPE/DMC
P.O.Box 515, 12201-010, São José dos Campos, SP, Brasil

Resumo:

Cada vez mais, indivíduos e organizações estão a desenvolver sistemas de alta complexidade, cujos serviços necessitam de grande confiança para atender a um conjunto de especificações que são cada vez mais exigentes como controlar uma constelação de satélites, um avião, uma usina nuclear ou um dispositivo de terapia de radiação. Para atender a essas novas necessidades e expectativas, progressivamente vem crescendo a necessidade de se prever falhas nos componentes utilizados. Essas falhas passaram a ser previstas e analisadas com auxílio de um fator que mensura a probabilidade de suas ocorrências no componente: a confiabilidade do componente. Esta é definida como a probabilidade de um componente desempenhar a função desejada, sem falhas, por um determinado intervalo de tempo e em condições preestabelecidas. Essa abordagem de confiabilidade é utilizada para melhorar o desempenho dos produtos, aliando a redução de custos e garantindo a qualidade do produto. De acordo com essas exigências e a crescente evolução e complexidade dos equipamentos utilizados nos sistemas em geral, os níveis de confiabilidade devem acompanhar essa evolução. Essa evolução exige níveis cada vez mais altos, com a necessidade de uma melhora progressiva nos processos de análises de decisões, através das experiências acumuladas em abordagens e comunidades tecnológicas para propor possíveis modificações nos processos locais. Essas experiências se refletem no aperfeiçoamento das várias Séries de Normas de Confiabilidade. Os Padrões e Normas de Confiabilidade utilizados cumprem um papel fundamental para estabelecimento dos processos de engenharia de sistemas para o ciclo de vida do produto e crescente aperfeiçoamento, como na Série MIL-HDBK 217 que vem sofrendo várias aperfeiçoamentos através das várias versões. Este artigo apresenta algumas das principais definições relativas ao estudo da confiabilidade, estudo de falhas a partir das normas da Série MIL-HDBK 217. Definições básicas são apresentadas em primeiro lugar, em segundo a apresentação das normas de confiabilidade da família MIL HDBK 217 e a 217Plus. O objetivo é explicar um conjunto de conceitos gerais, em especial no que se refere a normas da família MIL HDBK 217, de relevância e, portanto, ajudar a comunicação e cooperação entre um número de científicos e comunidades técnicas, incluindo os que estão se concentrando em determinados tipos de sistema, de falhas de sistema, ou de causas de falhas do sistema. Portanto, ele inclui definições e conceitos básicos, uma discussão, e algumas direções para futuras investigações e análises do objeto de estudo.

Palavras- Chave: Confiabilidade, MIL HDBK-217, 217Plus™, falhas.

1. Introdução

Este artigo objetiva fazer uma apresentação e discussão preliminar sobre as normas da família MIL HDBK 217F e a 217Plus. Normas que auxiliam a análise e melhoria de processos de confiabilidade de circuitos eletrônicos espaciais. Tal discussão é baseada nos conceitos básicos e no levantamento da literatura revisito até o momento.

Para o desenvolvimento desse estudo será necessário descrever conceitos básicos e levantar informações que auxiliarão e propiciarão a discussão desejada. Tal discussão é um dos elementos da primeira parte de um estudo maior em andamento.

As definições básicas são comentadas e complementadas por adicionais definições. Caracteres em **negrito** são usados quando um termo é definido, enquanto caracteres em *itálico* são um convite para chamar a atenção do leitor.

1.1 Motivação

São muitos os motivos pelos quais vem crescendo a necessidade de se prever falhas nos componentes utilizados. Essas falhas passaram a ser previstas e analisadas com auxílio de um fator que mensura a probabilidade de suas ocorrências no componente: a confiabilidade do componente. Esta é definida como a probabilidade de um componente desempenhar a função desejada, sem falhas, por um determinado intervalo de tempo e em condições prescritas. A confiabilidade do sistema é uma das medidas sistêmicas mais importantes, pois a qualidade de um sistema inclui especificações mínimas de confiabilidade, que afetam diretamente variáveis como custo, desempenho, e, principalmente, tempo de vida.

Com o atual nível de exigência do mercado consumidor interno e, principalmente, do externo quanto à qualidade de produtos industrializados, tem sido cada vez maior o número de empresas que buscam a implantação de Sistemas de Qualidade e crescimento da Confiabilidade (“Reliability Growth”) de seus produtos, para evidenciar qualidade e torná-los mais competitivos. De acordo com essas exigências e a crescente evolução e complexidade dos equipamentos utilizados nos sistemas em geral, os níveis de confiabilidade devem acompanhar essa evolução. Essa evolução exige níveis cada vez mais altos, com a necessidade de uma melhora progressiva nos processos de análises de decisões, através das experiências acumuladas em abordagens e comunidades tecnológicas para propor possíveis modificações nos processos locais. Essas experiências se refletem no aperfeiçoamento das várias Séries de Normas de Confiabilidade.

Os Padrões e Normas de Confiabilidade utilizados cumprem um papel fundamental para estabelecimento dos processos de engenharia de sistemas para o ciclo de vida do produto e crescente aperfeiçoamento, como na Série MIL-HDBK 217 que vem sofrendo várias aperfeiçoamentos através das várias versões: A, B, C, D, E, F, F Notice 1, F Notice 2, e 217 Plus.

A maior motivação desse trabalho se deve à contribuição de Rabelo e Souza (2011), que durante a elaboração das Análises de Confiabilidade dos subsistemas e equipamentos do satélite CBERS 3, observaram a relevância das taxas de falha dos conectores e do modelo adotado para os diagramas de blocos de confiabilidade (DBC). Rabelo e Souza (2011) apresentam uma comparação do cálculo da taxa de falha de conectores através das normas MIL-HDBK-217F (Notice 2) e MIL -HDBK-217E. Com isso verificaram que na versão E da MIL-HDBK-217 os números de pinos ativos eram considerados para a determinação da taxa de falha, já na versão F esta informação é desconsiderada. Para os conectores analisados houve um nivelamento entre as versões E e F. Tal nivelamento constitui uma espécie de nível teto para a taxa de falha, porém se considerarmos os conectores “Rectangular” que pode chegar a 125 pinos e utilizar um conector com número de pinos inferior a 125, por exemplo 25 pinos, sua taxa de falhas será bem menor que o nível teto de 125 pinos. Assim como conectores do tipo “Rack and Panel” chegam a 75 pinos e com o nivelamento o melhor caso, com menor número de pino, é calculado pelo pior caso (máximo de pinos).

Ao comparar as taxas de falhas pelas versões E e F é perceptível uma discrepância significativa (ver Figura 1). Isso gera uma série de questionamentos, pois essa não é a única mudança, existem outras e quais são elas, quais os impactos ocasionados?

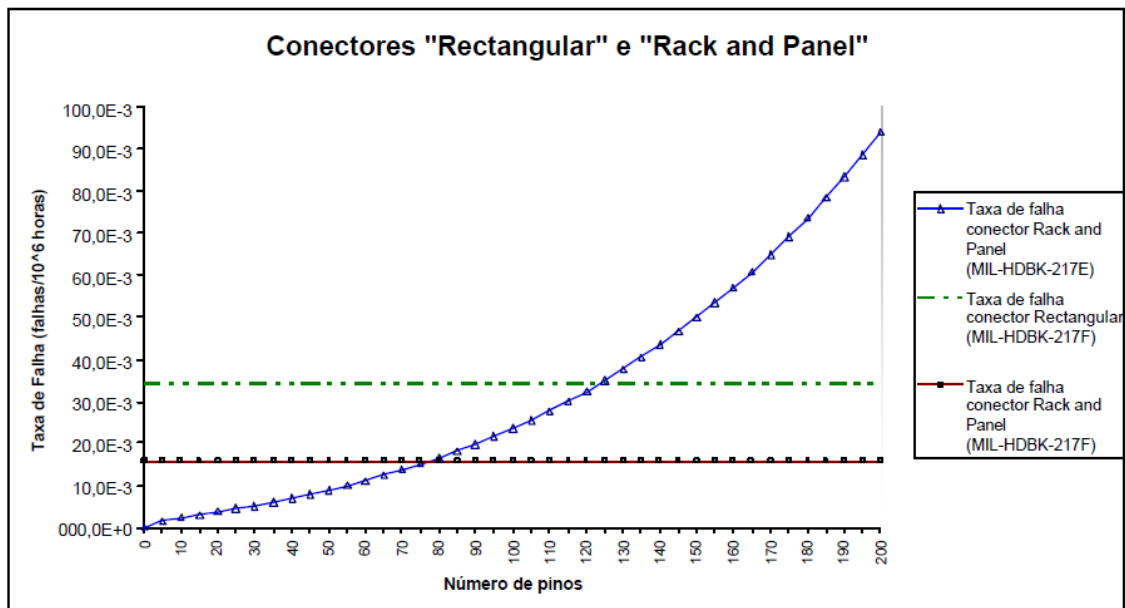


Figura 1 - Variação da taxa de falha dos conectores dos tipos “Rectangular” e “Rack and Panel” versus número de pinos ativos. Fonte Rabello e Souza (2011)

2. CONCEITOS BÁSICOS E REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

Este capítulo apresenta alguns conceitos básicos e uma revisão bibliográfica com o intuito de uniformizar a terminologia e conceitos utilizados e descrever algumas das versões da norma utilizada. As definições básicas são comentadas e complementadas por definições adicionais. Caracteres em **negrito** são usados quando um termo é definido, enquanto que caracteres em *itálico* são um convite para chamar a atenção do leitor.

2.1 Dependabilidade

Segundo Villemeur (1992), **dependabilidade** pode ser “definida como a ciência de falhas, englobando o conhecimento das falhas, incluindo as avaliações, as previsões, medidas e controle dessas falhas”. No sentido extremo da palavra “dependability”, é a habilidade de executar uma ou mais funções requeridas sobre condições prescritas, ou seja, indica a qualidade do serviço fornecido por um dado sistema e a confiança depositada no serviço fornecido.

Segundo Souza (2013), **dependabilidade** (*dependability*) pode ser interpretada como uma métrica de quanto se pode depender tecnicamente, economicamente, socialmente, etc., da condição de funcionamento de um componente em um ou mais pontos durante a missão. Correspondentemente, ela é composta de outras métricas como Confiabilidade (*Reliability*), Manutenibilidade (*Maintainability*), Disponibilidade (*Availability*), Segurança a Acidentes (*Safety*), Segurança a Intrusões (*Security*), Capacidade (*Capability*), Durabilidade (*Durability*), e de outras métricas, avaliadas por um tempo determinado e sob condições prescritas.

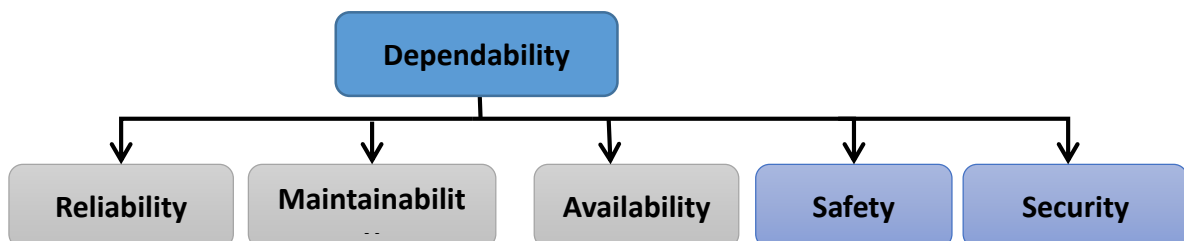


Figura 2 - Principais atributos da Dependabilidade. Fonte: Autor

Resumindo Lafraia (2001), a **dependabilidade** pode ser expressa como a probabilidade de um componente iniciar ou ocupar um dos seus modos de operação durante uma missão específica ou desempenhar as funções associadas aos modos de operação solicitados.

Assim, algumas definições e conceitos são importantes para o estudo de falhas como a Confiabilidade (*Reliability*), Manutenibilidade (*Maintainability*), Disponibilidade (*Availability*), Segurança a Acidentes (*Safety*), Segurança a Intrusões (*Security*), Capacidade (*Capability*), Durabilidade (*Durability*), Redundância (*Redundancy*) e Tempo Médio entre Falhas (*Mean Time Between Failures- MTBF*).

De acordo com Souza e Carvalho (2005) e Villemeur (1992) temos as seguintes definições:

- **Manutenibilidade:** A probabilidade de um sistema ou dispositivo ser retido ou restaurado para a condição operacional em um intervalo de tempo específico com recursos e procedimentos prescritos (Souza e Carvalho, 2005). Os objetivos da manutenibilidade, segundo Lafaia (2001), incluem: Otimização dos tempos e custo de manutenção já no projeto; Estimar os tempos para manutenção em função da disponibilidade requerida, se necessário acrescentar redundância; Estimar a disponibilidade e Estimar os recursos requeridos para a execução da manutenção.
- **Disponibilidade:** A probabilidade de um sistema ser capaz de exercer a sua função requerida em um determinado instante de tempo (Souza e Carvalho, 2005). Ou ainda como a razão entre o tempo total em que o sistema está disponível e a soma entre: tempo total disponível, tempo de reparo e tempo de manutenção:

$$\text{Disponibilidade} = \frac{\text{Tempo Total (em que o sistema esta) disponível}}{\text{Tempo total disponível} + \text{tempo de reparo} + \text{tempo de manutenção}} \quad (1)$$

- **Redundância:** A propriedade de um dispositivo ou sistema de ter mais de um meio de executar sua função (Souza e Carvalho, 2005).
- **MTBF:** Tempo esperado durante o qual o componente operará corretamente entre falhas (Souza e Carvalho, 2005).
- **Segurança a Acidentes:** é geralmente medida pela probabilidade de uma entidade 'E', sob dadas condições, não causar eventos catastróficos ou críticos, estado onde a medida do risco de ferir pessoas ou causar danos é menor ou limitado a um risco aceitável. (Villemeur, 1992).

Segundo Reginato (2012) para uma análise segura que possa garantir que “o equipamento não falhe em operação” é necessário observar aspectos quantitativos e qualitativos. Para tal diferenciação muitos autores utilizam o termo *confiabilidade* para os aspectos *quantitativos* e *dependabilidade* para descrever as duas faces da análise.

Para uma melhor compreensão da ciência de falhas é comum o estudo quantitativo das falhas. O que implica um estudo, em especial, do atributo de confiabilidade.

2.2 Confiabilidade

Segundo definições do IEEE (2012), “A **Confiabilidade** é uma disciplina de projeto de engenharia que aplica conhecimento científico para assegurar que um produto irá desempenhar sua função esperada pelo período de tempo requerido, dado um determinado ambiente. Isso inclui projetar a habilidade de manter, testar e suportar um produto através de seu ciclo de vida. A Confiabilidade é melhor descrita como o desempenho de um produto ao longo do tempo. É aperfeiçoada simultaneamente por outras disciplinas de projeto que contribuem com a seleção de materiais, arquitetura, processos e componentes – tanto hardware quanto software; seguidas pela verificação das seleções feitas através de análises e testes”.

Assim uma definição simples de **confiabilidade** de um dispositivo ou sistema, porém completa é apresentada por Souza e Carvalho (2005) é “a probabilidade de que um dispositivo ou sistema irá exercer uma função requerida, sob condições especificadas, por um período de tempo determinado”.

O atributo confiabilidade a partir de registros de tempo de vida, entre outros resultados, que está intimamente baseada a métodos estatísticos e probabilísticos, resultando em informações que servem de subsidio para tomada de decisões.

A confiabilidade do sistema depende de vários fatores como a qualidade, a idade dos componentes e a complexidade do sistema analisado. Ela fornece informações probabilísticas sobre o comportamento do sistema

no futuro, baseando em informações probabilísticas sobre o comportamento do sistema no passado, ao longo do tempo e dos componentes. Para a determinação da confiabilidade é relevante considerar o tempo de utilização do sistema, as características do ambiente, assim como as condições de utilização e o desempenho.

O inverso da Confiabilidade (**Unreliability**) seria a probabilidade de um componente ou sistema falhar. A definição de **falha** em Confiabilidade seria o parcial insucesso no funcionamento do produto, isto é, o não funcionamento dentro das suas especificações. Ou ainda, como foi descrito por Lafraia (2001): “**falha** é a impossibilidade de um sistema ou componente cumprir com sua função no nível especificado ou requerido”. Segundo o mesmo autor, a definição de **taxa de falhas** em Confiabilidade seria “a frequência relativa com que as falhas ocorrem, num certo intervalo de tempo, medida pela porcentagem de falhas para cada hora de operação ou número de operações do sistema ou componente”.

A taxa de falhas dos produtos ao longo do tempo de um componente ou sistema é modelada de uma maneira geral pela *Curva de falhas*, denominada desde 1965 como **Curva da Banheira** (*Bathtub Curve*). Esta curva associa as Fases do Ciclo de Vida do componente (*I-Mortalidade Infantil*, *II-Vida Útil* e *III-Desgaste ou Envelhecimento*) aos possíveis valores da taxa de falhas, como mostra a Figura 3.

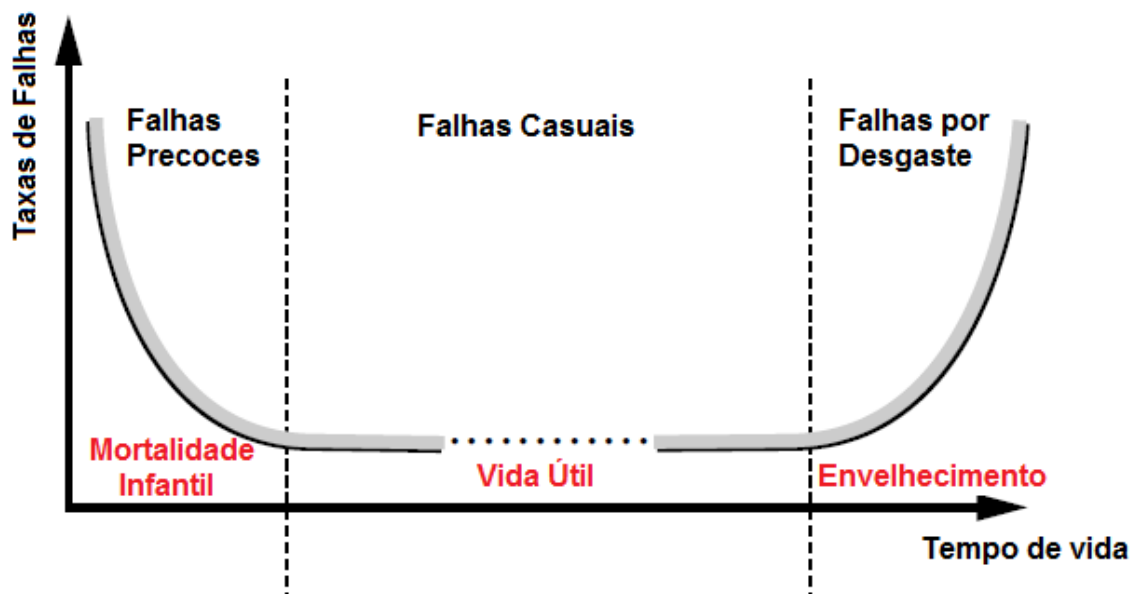


Figura 3 - Curva da banheira. Fonte: Autor.

Na **Fase I**, de *Mortalidade Infantil*, ocorrem as falhas prematuras. Nessa fase, a taxa de falhas é decrescente; e, segundo Lafraia (2001), pode ter as seguintes origens: processos de fabricação deficiente, controle de qualidade deficiente, mão de obra desqualificada, amaciamento insuficiente, pré-testes insuficiente, materiais ou componentes fora de especificação, componentes não testados, componentes que falharam devido estocagem/transporte indevido, sobrecarga no primeiro teste, contaminação, erro humano, instalação imprópria, entre outras.

Na **Fase II**, de *Vida Útil*, ocorrem as falhas aleatórias. Nessa fase, a taxa de falhas é constante; e, segundo Lafraia (2001), pode ter as seguintes origens: inferência indevida tensão/resistência, fator de segurança insuficiente, cargas aleatórias maiores que as esperadas, defeitos fora do limite de sensibilidade dos ensaios, erros humanos durante uso, falhas não detectáveis pelo melhor programa de manutenção preventiva, causas inexplicáveis e fenômenos naturais imprevisíveis.

Na **Fase III**, do início do *Término da Vida Útil* do equipamento, a taxa de falhas cresce continuamente (por *desgaste ou envelhecimento*) até que ocorra a falência do equipamento.

É natural esperar que, individualmente, algum componente falhe cedo, logo no início do ciclo de vida (*Mortalidade Infantil*); e que outro sofra uma taxa de falhas crescente com a variação da idade ou com o desgaste (*Término da Vida Útil*). Sobretudo é comum, principalmente nos sistemas espaciais, que o ciclo de vida do componente se inicie com os testes para garantir ao sistema mais segurança pois, se o mesmo eventualmente sofrer algum tipo de falha precoce, será possível repará-lo ou substituí-lo até que a missão espacial se inicie.

O modelo matemático mais comum para se determinar a confiabilidade de um equipamento ou componente é baseado na taxa de falhas constante (eq.2), equivalente ao modelo de distribuição exponencial, onde não se considera a possibilidade do componente falhar devido à infância ou ao desgaste. Porém, numa situação real sabe-se que as taxas de falhas tendem a aumentar com o aumento da idade do componente. Há casos em que a confiabilidade do sistema é superior a 90%. Caso isso ocorra, a confiabilidade pode ser considerada linear, sendo aproximada pela (eq. 2), apenas se $0 < \lambda < 0.001$.

$$R(\Delta t) = e^{-\lambda t} \quad (2)$$

$$R(\Delta t) \approx 1 - \lambda \cdot \Delta t \quad (3)$$

Onde:

$R_t \rightarrow$ Probabilidade de o produto operar sem falhas no intervalo de tempo determinado;

$\lambda \rightarrow$ Taxa de falhas constante no intervalo de tempo;

$e \rightarrow$ Número Neperiano, base dos logaritmos naturais (2,7118284...).

$\Delta t = t - t_0$ Intervalo de tempo de operação do componente.

Se um sistema é constituído por n partes em série com confiabilidades R_i ou taxas de falhas λ_i , a confiabilidade do mesmo pode ser escrita como sendo:

$$R_{SIS} = \prod_i^n R_i = e^{-\sum \lambda_i t} \quad (4)$$

Alguns dispositivos ou sistemas têm como propriedade mais de uma possibilidade ou meio de realizar a função por ele designada. Essa condição é o que se chama de **Redundância**. Essa propriedade permite ao sistema tolerar uma ou mais falhas, sem comprometer o funcionamento do sistema. A redundância do sistema não implica necessariamente haver componentes extras dentro do sistema (**Redundância Física**), mas implica que o mesmo fornece mais de uma forma de derivar e processar a informação desejada (**Redundância Informacional**). O sistema que não possui essa propriedade é denominado de **Simplex**.

Segundo Souza e Carvalho (2005), sistemas que integram um número de componentes do mesmo tipo podem ter o mesmo **Modo de Falha**. Ou seja, quando ocorrer falha nesses componentes o modo de falha pode ser o mesmo, o que não significa que haja uma dependência estatística, mas sim um ambiente de stress, que é comum a um grupo de componentes e normalmente ocasiona **Falhas de Modo Comum**. Algumas vezes é possível que um componente crie uma condição anormal em que o sistema tende a induzir mais falhas de componentes. Esse tipo de dependência é relevante para a análise de confiabilidade e isso depende da configuração do sistema analisado.

Quando se analisa a configuração mais simples, que é o modo sem redundância (Simplex), a análise se limita em avaliar o funcionamento de cada componente pois, se o sistema opera sem falhas, todos os componentes funcionam. Pode-se mensurar individualmente o grau de falha de cada componente e o impacto de cada componente no funcionamento do sistema.

Para alcançar um grau de confiabilidade satisfatório, é necessário cumprir algumas tarefas que podem ser definidas num programa de confiabilidade. A seguir listamos algumas atividades e algumas etapas onde as técnicas da confiabilidade podem ser aplicadas (ver Figura 4). (Lafraia, 2001):

Projetos:

- Redução de complexidade;
- Incorporação de Redundância;
- Testes de qualificação e revisão de projeto;
- Análise de falhas

Produção

- Controle de materiais;
- Controle de métodos de trabalho e especificações.

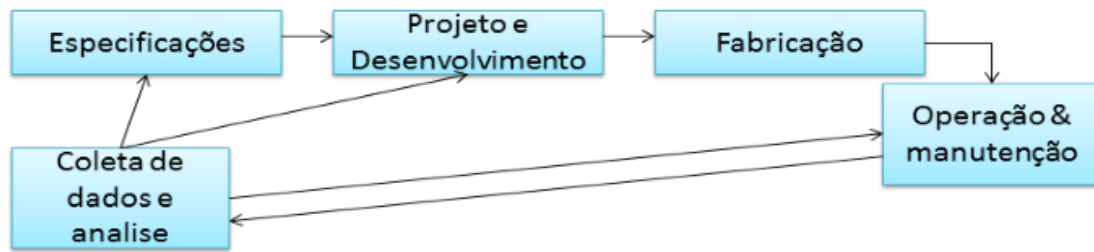


Figura 4 - As etapas de aplicação de confiabilidade. Fonte: Adaptado de Lafraia (2001).

Os processos de análise e melhoria da confiabilidade de sistemas vêm sendo melhorados progressivamente com base nos resultados encontrados em sistemas já avaliados e em suas modificações. Isto resulta em processos de padronização através de normas que estabelecem condições e propriedades que ajudam a avaliar e a mensurar a confiabilidade dos componentes, equipamentos, subsistemas e sistemas. Atualmente, a norma MIL-HDBK-217 e suas atualizações têm estabelecido as condições e estratégias para a avaliação da confiabilidade de componentes eletrônicos, na tentativa de melhoria contínua.

2.3 QUALIDADE E CONFIABILIDADE

Villemeur (1992) define **qualidade** como “a totalidade de recursos e características de um produto ou serviço que é capaz de satisfazer as necessidades”. O autor afirma ainda que “a qualidade de um produto é caracterizada não somente pela conformidade das especificações, mas também pela habilidade de encontrar essas especificações durante todo o ciclo de vida. Uma característica básica do produto que contribui para a qualidade é a **confiabilidade**, que é a habilidade de reter as características originais.”

Corroborando com as definições acima, confiabilidade torna-se então a extensão da qualidade ao longo do tempo. Essas duas noções estão intimamente conectadas. Qualidade e garantia da qualidade deram origem a métodos e padrões (normas) específicos que são abordados aqui.

A importância da gestão da qualidade se deve as vantagens competitivas, isso faz que as empresas busquem analisar e buscar melhorar a gestão da qualidade, a fim de atrair os clientes com produtos com alta *confiabilidade, disponibilidade e durabilidade* trazendo-lhes satisfação na obtenção do mesmo. (CARPINETTI, 2010)

O processo mais aceitável para garantir confiabilidade seria o *estatístico com enfoque probabilístico*. Isso porque o enfoque probabilístico considera a possibilidade de falhas, e o projeto de um produto ignora as falhas utilizando um fator de segurança. O procedimento estatístico é mais próximo da realidade pois, releva a possibilidade de falha e assim consegue traçar uma margem de segurança, o chamado fator de segurança utilizado no projeto.

Organizações com sistemas críticos como os setores militares, aeroespaciais e de saúde, estão cientes dos custos da não confiabilidade. Existe um nível de dificuldade elevado ao se tentar quantificar valores confiáveis e financeiros ou benefícios para diferentes níveis de confiabilidade. (Lafraia, 2001)

“**Qualidade do produto**” engloba todos os desempenhos e característica, incluindo sem dúvida a *confiabilidade*. Dessa ao falarmos de qualidade, implicitamente estaremos incluindo a confiabilidade. *São duas grandezas que não podem ser separadas.*

Quando mencionamos a qualidade do produto focamos o projeto de um produto, só que este não considera as diversas variáveis existentes. Essas não são valores bem definidos podendo variar entre determinados limites (tolerâncias, material, solicitações). O objetivo em tratar a qualidade a partir da confiabilidade é fornecer parâmetros para tratar esses aspectos no projeto, pois um produto já em produção nada pode ser feito para melhoria de confiabilidade. Se o produto for confiável apenas algumas mudanças nos processos, ou um trabalho de alterações do projeto pode resolver, porém com perdas de tempo e dinheiro.

De acordo com Lafraia (2001), a confiabilidade está ligada as possíveis falhas durante o ciclo de vida do produto. Ou seja, é um aspecto de incerteza no ramo da engenharia. Se um item vai funcionar por determinado tempo, é uma questão que pode ser respondida através da Probabilidade.

3. APRESENTAÇÃO DA NORMA MIL HDBK 217

A norma MIL-HDBK-217 é a norma padrão utilizada pelo *Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais* (INPE) e por outras organizações para a previsão da Confiabilidade de componentes eletrônicos; e é uma das mais conhecidas nas indústrias militar e comercial. Trata-se de um manual com o intuito de proporcionar *estimativas conservadoras e rigorosamente seguras* para o cálculo inicial da confiabilidade de equipamentos eletrônicos. Tem como base uma coletânea de dados reais de desempenho em campo para equipamentos eletrônicos e fornece uma apoio comum de comparação e avaliação das previsões de confiabilidade durante os programas de aquisição de sistemas eletrônicos e equipamentos militares. Este manual destina-se ao uso como uma ferramenta para aumentar a confiabilidade de um equipamento que está em fase inicial de projeto.

Segundo Pecht (1996) essa norma foi decorrente de uma percepção da necessidade de colocar uma figura de mérito sobre a confiabilidade de um sistema durante a II Guerra Mundial, as agências de aquisições do governo dos EUA buscaram a padronização das especificações de requisitos e um processo de previsão. Percebia-se que, sem padronização, cada fornecedor poderia desenvolver suas próprias previsões com base em seus próprios dados, e seria difícil avaliar previsões relativas aos requisitos do sistema com base em componentes de fornecedores diferentes, ou para comparar modelos competitivos para o mesmo componente ou sistema.

De acordo com Pecht (1996) a previsão de confiabilidade e especificações de avaliação foi atribuída em novembro de 1956, com a publicação da RCA lançamento TR-1100, “*Reliability Stress Analysis for Electronic Equipment*” (que tem por tradução: “Análise de Tensões de confiabilidade para equipamentos eletrônicos”). Esse documento apresentou os modelos para as taxas de falhas de componentes. Essa publicação foi seguida pelo “*RADC Reliability Notebook*” em outubro de 1959, e em seguida veio a publicação de um manual de previsão de confiabilidade militar conhecida como MIL-HDBK-217. A MIL – HDBK-217 foi publicada inicialmente em 1965 e, desde então, vem merecendo novas versões (A, B, C, D, E, F, F Notice 1, F Notice 2, Plus) que garantem progressivas melhoras da Série MIL-HDBK-217, embora ainda contemple uma base de dados que não acompanha a evolução tecnológica é a mais utilizada. As versões mais empregadas são: a MIL-HDBK-217F, lançada em 2 de Dezembro de 1991; suas revisões “F Notice 1”, lançada em 10 de Julho de 1992, e “F Notice 2”, lançada em 28 de Fevereiro de 1995; e a 217Plus lançada em julho de 2006.

A MIL-HDBK-217 fornece dois métodos de predição de confiabilidade: um chamado **Contagem de Partes** (“**Parts Count**”) e outro denominado de **Análise de Esforços ou Contagem de Stress** (“**Parts Stress**”), métodos que serão melhor apresentados.

Segundo McLeish (2010), esses dois métodos são utilizados para estimar a vida de equipamentos eletrônicos em termos de Tempo Médio Entre Falhas (MTBF), que utiliza o inverso da taxa de falhas λ (lambda). No método **Parts Count** o valor de MTBF é determinado pelo inverso da taxa de falhas para cada componente de um dispositivo eletrônico.

$$MTBF = \frac{1}{\lambda_1 + \lambda_2 + \lambda_3 + \dots + FR_n} \quad (5)$$

Essas taxas de falhas básicas podem ser utilizadas para explicar o aumento médio na taxa de falhas de um sistema causado por operações em ambientes severos de operação como no setor espacial.

O Método de **Contagem de Partes** é uma abordagem mais simples para usar durante a fase inicial do projeto, quando não foram especificados todos os componentes. Essa técnica assume níveis médios de tensão como um meio de proporcionar uma estimativa inicial das taxas de falhas. Este método exige um número menor de informações a serem inseridas, por exemplo, qualidade, quantidade, ambiente, pois supõe condições normais de funcionamento. Esse método utiliza a somatória das taxas de falhas e considera o sistema em série. A taxa de falhas sob as condições de referência pode ser calculada pela seguinte expressão:

$$\lambda_{b,i} = \sum_{i=1}^n \left(\lambda_{ref} \pi_Q \right)_i \quad (6)$$

Onde:

$\lambda_{b,i} \rightarrow$ Estimativa da Taxa de Falha total do equipamento;

$\lambda_{ref} \rightarrow$ Taxa de Falha nas condições de referência para cada tipo de componente;

$i \rightarrow$ Número de falhas;

$\pi_Q \rightarrow$ Fator de qualidade por categoria.

Para as partes que não podem operar nessas condições de referência, quando operadas pelas condições reais resultarão em taxas de falhas ou insucessos que não condizem com os valores encontrados pelo Método de Contagem de Partes, sendo necessária uma análise mais específica para evitar a degradação da confiabilidade do sistema. Para esses casos, o método requer uma análise mais complexa, optando-se pela **Análise de Esforços ou Stress** pois, de acordo com McLeish (2010), esse método reconhece quatorze (14) diferentes condições generalizadas de ambientes de stress. Este é mais complexo e requer informações detalhadas sobre condições de temperatura e esforços elétricos, ressalta aplicações e fatores ambientais. Esse método é usado normalmente quando os circuitos e os hardwares vigentes estão sendo projetados, não devem ser utilizados para uma previsão até que o programa tenha amadurecido, de tal forma que esses *estresses* possam ser quantificados pelo uso de ferramentas de simulação. Essa metodologia se baseia na combinação lógica das taxas de falhas de cada componente do sistema.

Segundo EPSMA (2005) as condições de referência adotadas em **Análise de Esforços ou Stress**, são típicas para a maioria das aplicações de componentes em um equipamento. As condições de referências incluem declarações como:

- Fase Operacional;
- Critério de falha;
- Modos de operação (contínuo, intermitente);
- Stress mecânico e climático e
- Stress/ tensão elétrico.

O procedimento para calcular o nível da taxa de falhas para o sistema, usando **Análise de Esforços ou Stress**, é a soma das taxas de falhas de cada componentes calculadas em condições específicas. De forma genérica a modelagem matemática usada no manual HDBK 217 para cada componente é uma multiplicação. Essa multiplicação consiste em utilizar a taxa de falha nas condições de referência e aplicar fatores de correções usuais como de qualidade, stress e ambiente. Porém, esses fatores podem variar, dependendo da sensibilidade do componente ou do ambiente de atuação. Por exemplo, o modelo da taxa de falha de transistores de baixa frequência bipolar podem ser calculados pela HDBK 217 F da seguinte forma:

$$\lambda_{b,i} = \sum_{i=1}^n (\lambda_{ref} \cdot \pi_s \cdot \pi_T \cdot \pi_E \cdot \pi_Q \cdot \pi_A \cdot \pi_R) \quad (7)$$

Onde:

$\lambda_{b,i} \rightarrow$ Estimativa da Taxa de Falha total do equipamento;

$\lambda_{ref} \rightarrow$ Taxa de Falha nas condições de referência para cada tipo de componente;

$\pi_s \rightarrow$ Fator de Stress;

$\pi_T \rightarrow$ Fator de Temperatura;

$\pi_E \rightarrow$ Fator Meio Ambiente;

$\pi_Q \rightarrow$ Fator de Qualidade;

$\pi_A \rightarrow$ Fator de Ajuste ou aplicação;

$\pi_R \rightarrow$ Fator de Potência.

Para alguns elementos como os circuitos integrados, a formulação matemática da taxa de falha muda um pouco. Para que seja possível fazer a diferença entre a temperatura parte sensível do componente e do ambiente. (Ver eq. 8)

$$\lambda = (C_1\pi_T + C_2\pi_E) \cdot \pi_Q \cdot \pi_L \quad (8)$$

Onde:

$C_1 \rightarrow$ Constante Sensibilidade de Temperatura;

$C_2 \rightarrow$ Sensibilidade do Meio Ambiente;

$\pi_T \rightarrow$ Fator de Temperatura;

$\pi_E \rightarrow$ Fator Meio Ambiente;

$\pi_Q \rightarrow$ Fator de Qualidade;

$\pi_L \rightarrow$ Fator de aprendizagem;

Para uma análise mais completa é necessário introduzir à taxa de falha do componente *fatores de correção*. Esses **fatores** especificam condições severas de operação e auxiliam para uma estimativa mais sólida. É importante salientar que deve considerar as particularidades de cada componente, acarretando em fatores específicos.

Os fatores mais utilizados são os *fatores de qualidade* (π_Q), *ambiental* (π_E) e *temperatura* (π_T). Praticamente todos os modelos de confiabilidade incluem os efeitos de Ambiente de stress, onde se aplica o fator Meio Ambiente (π_E), exceto os efeitos da radiação ionizante.

O **Fator de qualidade** (π_Q) é utilizado devido a especificação de vários níveis de qualidade que se referem a diferentes componentes. Esse fator representa diferenças entre a qualificação de componentes e práticas de teste. A precisão da estimativa de conversão também pode ser influenciada pelo ambiente de uso operacional (ou seja, a qualidade da peça pode desempenhar um papel mais significativo em ambientes operacionais mais severos).

A confiabilidade das partes do sistema são sensíveis a temperatura, por isso exige a análise dos aspectos térmicos, ou seja, a determinação da temperatura na qual as partes são submetidas, propondo assim um fator de correção da temperatura (π_T). A análise térmica do projeto deve fornecer com precisão a temperatura do ambiente necessária para a utilização do projeto.

3.1. As atualizações da norma MIL HDBK 217

As atualizações da série MIL-HDBK-217 ocorreram de forma gradativa com objetivos específicos como atualizar os dados de acordo com as tecnologias eletrônicas. A intenção com as atualizações não era produzir uma nova abordagem de previsão de confiabilidade. Os modelos poderiam ser revisados e até sofrer modificações se necessário, mas em geral permaneceriam intactos.

De acordo com McLeish (2010), um dos objetivos da atualização da norma era continuar a estudar e trabalhar a Engenharia da Confiabilidade da mesma maneira, sem a necessidade de abordar uma nova ferramenta. O projeto de revisão visa desenvolver uma ferramenta de previsão de confiabilidade mais precisa, retornando um método comum e consistente para estimar a confiabilidade de um projeto maduro durante a aquisição, tal que os projetos competitivos poderiam ser avaliados por um processo comum.

Segundo Gullo (2008) as atualizações se iniciaram com o Programa de Defensoria de Padronização (*Defense Standardization Program Office – DSPO*) sob os cuidados do Sr. Greg Saunders, que criou o projeto ASSIST (*Acquisition Streamlining and Standardization Information System*) para iniciar os esforços de atualizações. ASSIST é um banco de dados on-line, mais de 100 atividades governamentais podem preparar e apresentar documentos ao banco de dados ASSIST usando a ferramenta de apresentação de documentos eletrônicos.

Abordaremos aqui algumas das revisões, são elas HDBK 217 F, HDBK 217 F Notice 1, HDBK 217 F Notice 2 e 217 Plus.

3.2. Apresentação da versão HDBK 217F

A versão HDBK-217F é a revisão da versão E. Como já mencionado foi elaborada e lançada em 2 de Dezembro de 1991 pelo RAC (Reliability Analysis Center). Nessa versão um novo modelo de previsão de confiabilidade é

providenciado para nove classes de microcircuitos e oferece algumas alterações descritas abaixo, com base em estudos concluídos.

De acordo com MIL-HDBK-217F (1991), essa revisão fornece novos modelos de previsão para microcircuitos bipolar e MOS com contagem de gates superior a 60.000, microcircuitos lineares com mais de 3.000 transistores, microprocessador bipolar e digital MOS e coprocessador até 32 bits, dispositivos de memórias com mais de um milhão de bits, circuitos microondas monolíticos GAAs integrados (MMICs) com mais de 1.000 elementos ativos.

O fator C_1 tem sido extensivamente revisados para refletir a nova tecnologia, resultando em dispositivos com melhoria de confiabilidade. A energia de ativação, fator temperatura (Π_T), representa a sensibilidade dos dados, esse fator tem sofrido alterações para dispositivos MOS e memórias. O fator C_2 permanece inalterado desde a versão anterior, mas inclui pacotes de montagem de superfície usando o mesmo modelo como hermética, solda selada entre outros. Novos valores foram incluídos para o fator de qualidade (Π_Q), para o fator de aprendizagem (Π_L) e o fator ambiental (Π_E).

O modelo para microcircuitos híbridos tem sido revisados para torná-los mais simples de usar, para eliminar a dependência de temperatura de vedação e interligar as contribuições de taxas de falhas e para fornecer um método de calcular a temperatura da junção do chip.

Resumidamente podemos descrever nessa versão:

- Um novo modelo para alta velocidade de circuitos integrados (VHSIC/VHSIC Like) e uma larga escala de integração de dispositivos (VLSI) – (com contagem de gates superior a 60.000);
- A reformatação de todo o manual para torna-lo mais fácil de usar;
- A redução do número de fatores de meio ambiente (Π_E), de 27 fatores para 14;
- Uma revisão no modelo de taxa de falha para Resistores;
- Modelos revisados para TWTs e Klystrons baseado em dados do fornecidos pela “Electronic Industries Association Microwave Tube Division”.

3.3. Apresentação da versão HDBK 217 F Notice 1

Essa versão foi elaborada pelo RAC (*Reliability Analysis Center*) e lançada em 10 de Julho de 1992, sete meses após a versão F. Esse aviso, Notice 1, foi emitido para corrigir erros tipográficos ocorridos na versão básica, MIL HDBK 217 F. A essência dessa versão permanece a mesma da versão anterior, com algumas correções, por isso é uma das menores versões.

3.4. Apresentação da versão HDBK 217 F Notice 2

Com base em novos estudos após as versões anteriores, surge a versão HDBK 217 F Notice 2. Como já mencionado, essa versão foi elaborada pelo RAC (*Reliability Analysis Center*) e lançada em 28 de Fevereiro de 1995 e fornece as seguintes mudanças, segundo MIL HDBK 217 F Notice 1 (1995):

- Modelos de resistores e capacitores revisados, incluindo novos modelos para abordar dispositivos de chips;
- Modelos de taxa de falhas atualizados para transformadores, bobinas, motores, relés, interruptores, disjuntores, conectores, placas de circuito impresso (com e sem tecnologia de montagem em superfície) e conexões.
- Um novo modelo para endereçar a tecnologia de montagem em superfície conexões em solda.
- Uma revisão no modelo “Traveling Wave Tube” baseado em dados fornecidos pela “Electronic Industries Association Microwave Tube Division”. Isso reduz ainda mais as taxas de falhas calculadas além das modificações feitas no documento base (HDBK 217 F).
- Revisou a recuperação rápida de energia do retificador com taxas de falhas base descendentes baseadas numa reavaliação das referências.

3.5. Atualização da versão HDBK 217 F Notice 2 – para HDBK 217 G

Resumindo Gullo (2008) o DSPO (*Defense Standardization Program Office*) financiando a NSWC (*Naval Surface Warfare Center*) que conduz uma pesquisa em todo o governo e a indústria para liberar a versão HDBK 217 G. A intenção era até o fim de 2009 ter a versão publicada, o que não aconteceu. Essa pesquisa se iniciou em 2004,

conduzida pela NSWC e finalizada em 2007. O objetivo desse estudo foi determinar quais as ferramentas estão sendo utilizadas pela indústria para gerar dados de MTBF.

De acordo com Gullo (2008), sob a liderança de NSWC foi criado um grupo de trabalho para representar o governo e a indústria para realizar esta revisão G. Os membros deste grupo de trabalho, o *Grupo de Trabalho de Revisão MIL-HDBK-217 nomeado como 217WG*, respondeu à chamada do NSWC de voluntários e foram selecionados para a lista dos entrevistados.

A IEEE-RS (*IEEE Reliability Society*) apoiou o 217WG com uma comunidade virtual privada on-line. O objetivo dessa comunidade é fornecer um repositório para fazer o upload e download de arquivos para compartilhar informações entre os membros da 217WG. (Gullo, 2008)

A primeira fase da versão G, que lançariam em dezembro de 2009, mas não ocorreu deveria incluir modificações nos modelos existentes e adotar modelos que são utilizados por outros padrões como na 217Plus, PRISM®. Já a segunda fase deveria ser a reinvenção do manual, com uma abordagem mais holística incluindo todas as causas de sistemas e falhas do produto. Essa fase 2 inclui a análise de dados de teste e campo de para derivar novos modelos de taxa de falha. Além disso, o grupo de trabalho está considerando uma proposta de *Lou Gullo*, na nova revisão do manual para fornecer opções alternativas para a realização de previsões de confiabilidade, utilizando abordagens holísticas. (Gullo, 2008)

4. APRESENTAÇÃO DA NORMA 217Plus

Em junho de 2005 o Departamento de Defesa (DoD) dos EUA contratou o RIAC (*Reliability Information Analysis Center*) conhecido anteriormente como RAC (*Reliability Analysis Center*) para elaborar e introduzir o método 217Plus™ que substituiu o método PRISM® e o método HDBK 217 ambos elaborados pelo antigo RAC.

Segundo Nicholls (2006) para entender essa evolução, primeiro é necessário explicar a transição de do RAC para RIAC. O antigo RAC teve uma longa história com o DoD, foram 35 anos. O contrato do RAC estava em vigor até junho de 2005 e foi operado por “Alion Science and Technology” (antigo “IIT Research Institute”). Um novo contrato foi elaborado para operar a RIAC, a mudança de nome ocorreu para associar a antiga RAC com o programa IAC (“*Information Analysis Center*”). A RIAC, assim como era o RAC, é financiada pelo DoD para coletar, analisar e divulgar os dados. Todos os dados de confiabilidade, bibliotecas, acervos e publicações recolhidos e ou produzidos pela RAC após junho de 2005 foram, por contrato, transferidos totalmente para a RIAC.

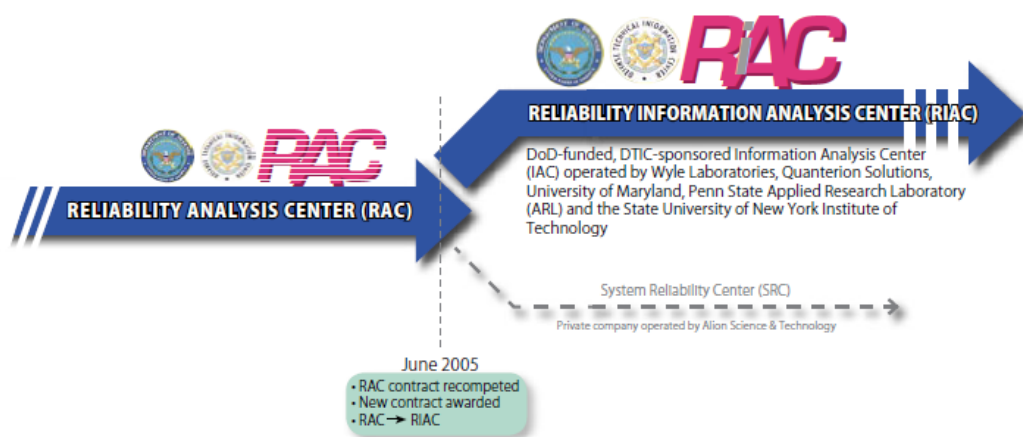


Figura 5 - Mostra a transição de RAC para RIAC. Fonte: Nicholls (2006)

O método adotado pela 217PLUS™ foi liberado maio de 2006 pelo RIAC e de acordo com Nicholls (2007), foi lançado incorporando seis novos modelos de componentes: conector, indutor, dispositivos optoeletrônicos, relés, interruptores e transformadores. Totalizando doze modelos de componentes: conectores, diodos, indutores, circuitos integrados, dispositivos optoeletrônicos, relés, resistores, interruptores, tiristores, transistores, capacitores e transformadores. A 217Plus™ foi publicada pelo RIAC como “*Handbook of 217Plus™ Reliability Prediction Models*”. Este manual no formato da MIL HDBK-217, detalha o método e os modelos da 217Plus™ como o atual substituto para a MIL HDBK-217 e do método PRISM®.

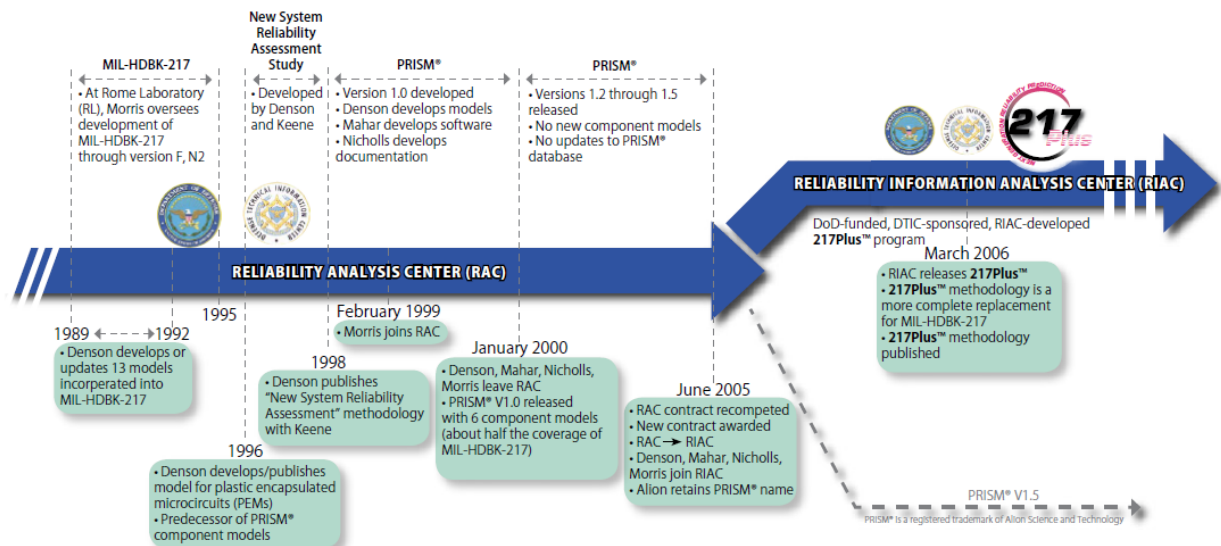


Figura 6 - Mostra a relação de normas publicadas até a atualização 217PlusTM. fonte: Nicholls (2006).

O método 217PlusTM foca em dois elementos primários que são a “Previsão da Confiabilidade dos Componentes” (*Component Reliability Prediction*) e a “Previsão da Confiabilidade do Nível do Sistema” (*System-level Reliability Prediction*).

Segundo Nicholls (2007) dentro da metodologia 217PlusTM é fornecido uma capacidade adicional para modificar a estimativa da confiabilidade do sistema com vários fatores de nível de sistema, chamados de “*Fatores de um Processo de Classificação*”, que são responsáveis por efeitos que não são ocasionados pelos componentes. As categorias de fatores de processos de classificação utilizados na 217PlusTM que são utilizadas para analisar os efeitos do nível do sistema são:

- Projetos;
- Fabricação;
- Peças de Qualidade;
- Gerenciamento de Sistema;
- Não é possível duplicar;
- Induzida;
- Desgaste.

Adaptando Nicholls (2007), obviamente o objetivo de qualquer metodologia de previsão de confiabilidade é fazer uma boa estimativa da “taxa de ocorrência da falha”. E para isso os modelos devem ser adequadamente sensíveis a uma variedade de cenários e tensões de operação, de modo que os usuários possam analisar e avaliar esses fatores. Um dos conceitos básicos dos modelos de componentes da 217PlusTM é que eles contem fatores de taxa de falha que representam períodos operacionais, períodos não operacionais e ciclismo. Ou seja, essa versão incorpora os modelos de predição de taxas de falhas de componentes considerando as quantidades, Fatores de Ajuste, Ano de Fabricação, Ciclo de Função, Taxa de Ciclo, Temperatura Ambiente (operacional e não operacional) e outras variáveis específicas de peças. Como resultado, os usuários podem realizar análises de trade-offs com base no ciclo de trabalho e outros fatores para ajudar a responder perguntas como: se o sistema não terá uma taxa de falhas maior que a energia continuamente aplicada ou completamente removida, durante os períodos de não utilização.

O método adotado pela 217-Plus tem como base muitos fatores, incluindo os três fatores a seguir:

- 1) Se existe informação sobre um sistema antecessor;
- 2) A quantidade de dados empíricos de confiabilidade que está disponível para esse sistema;
- 3) Se o analista escolhe os processos utilizados no desenvolvimento do sistema para avaliar a confiabilidade.

Segundo Nicholls (2007), para os fins da nossa discussão, “**sistema**” aplica-se a definição de nível mais elevado do produto definido no interior 217PlusTM. Um “sistema”, portanto, pode ser um verdadeiro sistema, um produto, um equipamento, uma montagem, um subconjunto, ou seja, qualquer nível de complexidade que o *usuário deseja definir*.

A Figura 7, mostra uma visão geral da abordagem 217PlusTM, a estimativa de taxa de falha que se baseia em três fatores mencionados acima.

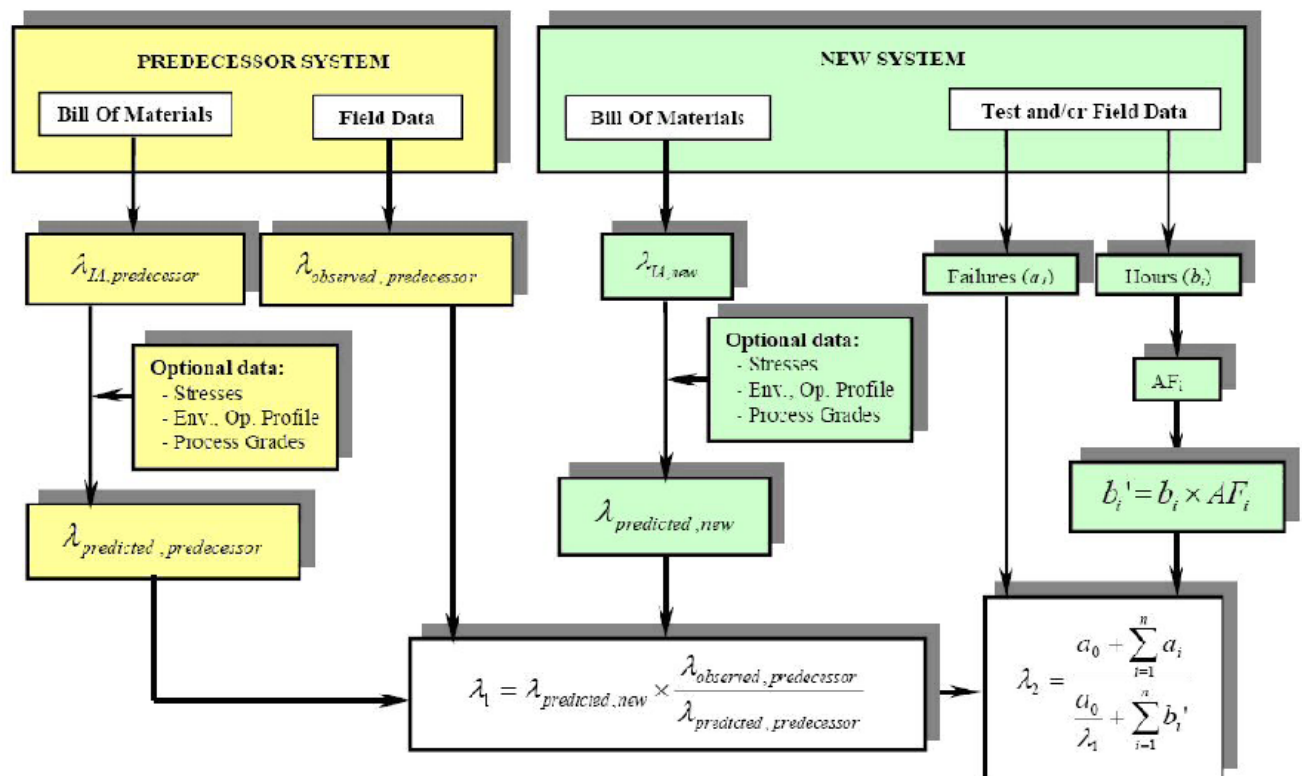


Figura 7 - Abordagem para aproximação da taxa de falha. Fonte: 217PlusTM (2006).

De acordo com Nicholls (2006) e 217Plus (2006), para analisar um sistema pela versão 217PlusTM é preciso analisar se o item em análise é uma evolução de um item antecessor, caso seja, o campo de experiência do item anterior pode ser aproveitado e modificado para trabalhar as diferenças entre eles. Um item antecessor é definido como um sistema ou produto que é baseado em uma tecnologia similar e usa de projeto e processos de fabricação semelhante.

A análise da taxa de falha se baseia nos dados dos dois sistemas, tomando por base as duas taxas de falhas, formando uma proporção que pode ser usada para modificar e ou até melhorar a taxa de falhas observada no novo sistema. Para isso utiliza-se de dados de campo, teste ou ambos. Se os dados forem suficientes e estão disponíveis para o novo sistema a ser analisado, esses valores podem ser combinados com a taxa prevista de 217PlusTM, utilizando a abordagem Bayseana para então formar uma combinação que resulta na melhor taxa de falha possível. Essa abordagem depende da quantidade de dados empíricos, quanto maior for a quantidade de dados melhor fica a combinação das taxas. O resultado dessa combinação Bayesiana (taxa λ_2) é apresentada na Figura 7. (217PlusTM, 2006).

A quantidade mínima de análise necessários para resultar na taxa de falha prevista pela 217PlusTM é a soma das taxas de falha dos componentes estimados, além de outros dados que podem estar disponíveis para o analista. O resultado da previsão baseado em componentes é representado por $\lambda_{IA, new}$, ver Figura 7. Esse valor previsto pode ser modificado dentro da 217PlusTM através da aplicação da análise do grau do processo opcional ou outras modificações para o grau de stress ambiental ou perfis operacionais. Estas modificações são refletidas na taxa de falha representada por $\lambda_{predicted, new}$, ver Figura 7. (217PlusTM, 2006)

Importante salientar que a metodologia 217PlusTM calcula a taxa de falhas em termos de falhas por milhão de horas calendário, e não de horas de operação. Portanto, as entradas do usuário para dados de campo ou taxas de falha definidas pelo usuário devem ser convertidas para uma base de calendário horas antes de incorporá-los em uma previsão de confiabilidade na abordagem 217PlusTM. Os fatores de conversão são:

- Calendário horas = $\frac{\text{horas de funcionamento}}{\text{Ciclo de trabalho}}$
- Horário de funcionamento = Calendário horas x Ciclo de trabalho

4.1. Modelagem Matemática -Definição de fatores e constants

A estimativa da taxa de falhas do sistema é feita inicialmente utilizando o modelo do componente para estimar a taxa de falhas de cada componente do sistema, assim como é realizada na MIL HDBK-217. E então, as taxas de falhas são somadas para então se estimar a taxa de falhas do sistema.

A modelagem matemática utilizada na 217PlusTM é do tipo aditiva para a contribuição física e do tipo multiplicativa para obter a influência dos fatores de correção (π) na confiabilidade total.

$$\lambda = ((\lambda \cdot \pi)_O + (\lambda \cdot \pi)_E + (\lambda \cdot \pi)_C + \lambda_i + (\lambda \cdot \pi)_{Sj}) \cdot \pi_{process} \quad (9)$$

A Figura 8 distingue as contribuições físicas diferenciando também os fatores que colaboram para ela e a contribuição de processos na modelagem matemática desse manual.

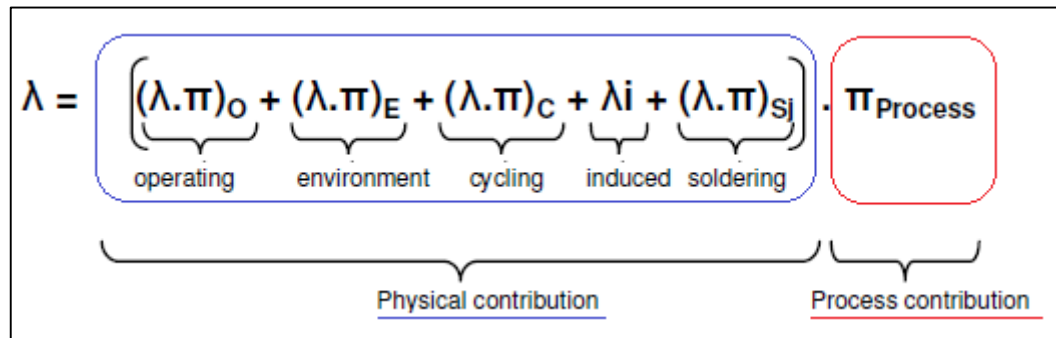


Figura 8 - Contribuições Físicas e de Processos na modelagem matemática de 217PlusTM.

A fim de explorar um pouco mais a modelagem matemática da 217PlusTM, nos tópicos abaixo será apresentado melhor cada fator de correção e constantes globais utilizados nesse manual.

4.101. Fator $\lambda_{IA,predecessor}$

O valor de $\lambda_{IA,predecessor}$ é a avaliação inicial do item antecessor. Esta é a soma das previsões das taxas de falhas dos componentes analisados, e utiliza os modelos de taxas de falhas dos componentes da 217PlusTM, dados do banco de dados da RIAC, ou dados de componentes de outras fontes. (217PlusTM, 2006)

4.102. Fator $\lambda_{observed,predecessor}$

O valor de $\lambda_{observed,predecessor}$ é a taxa de falha observada do sistema anterior, é a estimativa pontual da taxa de falha. É igual ao número de falhas observadas dividido pelo número cumulativo de horas de operação. (217PlusTM, 2006)

4.103. Dados Opcionais

Segundo 217PlusTM (2006), dados opcionais são usados para refinar a taxa de falha prevista, adicionando dados detalhados referentes ao ambiente de stress, fatores de perfil de operação e graus de processos. A 217PlusTM tem valores predefinidos para ambiente de stress e perfil de operação, mas no caso em que os valores reais desses parâmetros são conhecidos, através de análises ou medições, eles devem ser usados em vez dos padrões.

A aplicação dos graus de processos também é opcional, ao passo que o usuário teve a opção de validar os processos específicos usados no desenvolvimento e sustentação do sistema. Se o grau de processo não for usado, os valores padronizados são fornecidos para cada processo (causa da falha), assim que o usuário possa avaliar qualquer parte ou todo o processo. (217PlusTM, 2006)

4.104. Fator $\lambda_{\text{predicted, predecessor}}$

Esse fator $\lambda_{\text{predicted, predecessor}}$ representa a taxa de falha prevista para o sistema antecessor depois da combinação da avaliação inicial com os dados opcionais, se forem utilizados. (217PlusTM, 2006)

4.105. Fator $\lambda_{\text{IA, new}}$

O fator $\lambda_{\text{IA, new}}$ representa a avaliação inicial do novo sistema. Esta é a soma da previsão da taxa de falha dos componentes e utiliza os modelos de taxas de falhas dos componentes da 217PlusTM, dados do banco de dado da RIAC e outros dados que podem ser avaliados pelo analista. (217PlusTM, 2006).

A previsão da confiabilidade realizada de acordo com esse método é o nível mínimo da análise que resultará em um valor dito confiável. Ao aplicar os dados opcionais é possível refinar ainda mais esse valor. (217PlusTM, 2006; Nicholls, 2006)

4.106. Fator $\lambda_{\text{predicted, new}}$

$\lambda_{\text{predicted, new}}$ é a taxa de falha prevista do novo sistema após a combinação da avaliação inicial com os dados opcionais, se forem utilizados. Caso os dados opcionais não forem utilizados, então o fator $\lambda_{\text{predicted, new}}$ é numericamente igual ao fator $\lambda_{\text{IA, new}}$. (217PlusTM, 2006)

4.107. Fator λ_1

Segundo 217PlusTM (2006) a taxa de falha do novo sistema após a combinação com a informação do item anterior (previsto e dados observados) é representada por λ_1 . A equação que traduz a taxa de falha do item antigo e novo é a seguinte:

$$\lambda_1 = \lambda_{\text{predicted, new}} \cdot \frac{\lambda_{\text{observed, predecessor}}}{\lambda_{\text{predicted, predecessor}}} \quad (10)$$

Os valores de $\lambda_{\text{predicted, new}}$ e $\lambda_{\text{predicted, predecessor}}$ são obtidos usando os procedimentos de previsão de confiabilidade, equações e dados descritos anteriormente. A relação $\lambda_{\text{observed, predecessor}} / \lambda_{\text{predicted, predecessor}}$ contabiliza as diferenças nas taxas de falha do sistema antecessor previsto e observado. Esta relação representa as diferenças entre os sistemas que são contabilizados na metodologia de previsão de confiabilidade dos componentes. (217PlusTM, 2006; Nicholls, 2006)

Essa metodologia pode ser usada quando o novo sistema é uma extensão evolutiva do projeto anterior. Se são usados processos semelhantes para projetar e fabricar um novo sistema, ou seja, é utilizado o mesmo processo de previsão de confiabilidade e os mesmos dados. Então, existem todos os motivos para acreditar que a razão entre o previsto e observado do novo sistema será semelhante ao observado do sistema anterior. (217PlusTM, 2006; Nicholls, 2006)

A metodologia adotada assume que o tempo operacional do produto anterior é suficiente para ter como base uma taxa de falha ($\lambda_{\text{observed, predecessor}}$). Para esse propósito a observação das falhas é um fator crítico para derivar uma estimativa da taxa de falha. (217PlusTM, 2006; Nicholls, 2006)

4.108. Fator a_i

Esse fator a_i representa o número de falhas para o i -ésimo conjunto de dados para o novo sistema. (217PlusTM, 2006; Nicholls, 2006)

4.109. Fator b_i

b_i é o número total de horas de operação para o i -ésimo conjunto de dados para o novo sistema. (217PlusTM, 2006; Nicholls, 2006)

4.110. Fator A_{Fi}

Segundo 217PlusTM (2006), este é o fator de aceleração entre as condições dos dados de teste ou campo sobre o novo sistema e as condições em que a taxa de insucesso prevista é desejada. Se os dados são de aplicações de campo no mesmo ambiente para o qual é desejada a previsão, o valor de A_F será um. Se os dados forem a partir de testes acelerados ou a partir de dados de campo em um ambiente diferente, então o valor de A_{Fi} deve ser determinado. Se as tensões aplicadas são mais elevadas do que o ambiente de utilização de campo do novo sistema, A_{Fi} será um valor maior do que um. O fator de aceleração pode ser determinada através da realização de uma previsão de confiabilidade, para o teste e para as condições de uso. Se o modelo de previsão de fiabilidade é capaz de discernir os efeitos de stress (tensão) aceleração do teste. Como exemplo, considere um teste de vida em que um sistema foi exposto a uma temperatura mais elevada do que aquilo que seria exposto em condições de campo implantados. Neste caso, a A_F pode ser calculado como se segue:

$$AF = \frac{\lambda_{T1}}{\lambda_{T2}} \quad (11)$$

Onde:

λ_{T1} – taxa de falha prevista sob as condições de teste obtida através da previsão do sistema sob essas condições.

λ_{T2} – a taxa de falha prevista sob as condições de uso obtida através da previsão do sistema sob essas condições.

4.111. Fator b_i'

De acordo com 217PlusTM (2006), b_i' é o número total de horas utilizados com dados de teste ou campo. Se os testes foram realizados em condições aceleradas, o número de horas equivalente deve ser convertido nas condições de interesse, como descreve abaixo:

$$b_i' = b_i \cdot AF_i \quad (12)$$

4.112. Fator a_0

Esse é o número efetivo de falhas associado a taxa de falha. Caso seja um fator desconhecido utilizar o valor numérico 0,5. Em um evento previsto e observado, onde os dados do sistema anterior é avaliável e suficiente, esse valor pode ser adaptado. (217PlusTM, 2006; Nicholls, 2006)

4.113. Fator λ_2

O fator λ_2 é a melhor estimativa da taxa de falha do novo sistema, pois esse fator é estimado depois de utilizar todas as informações e dados avaliados. Para a estimativa desse fator é utilizado o máximo possível de dados empíricos. Essa estimativa é realizada matematicamente, a partir das técnicas Bayesianas, combinando λ_1 com os dados empíricos. Se os dados empíricos (dados de teste ou campo) está disponível para o sistema em análise, é feita a combinação abaixo com base em λ_1 .

$$\lambda_2 = \frac{a_0 + \sum_{i=0}^n a_i}{\frac{a_0}{\lambda_1} + \sum_{i=0}^n b_i'} \quad (13)$$

λ_2 é a melhor estimativa da taxa de falha do novo sistema, a_0 é o número “equivalente” de falhas da distribuição correspondente antes da previsão da confiabilidade. Para esse cálculo 0,5 poderia ser utilizado, a menos que um valor adaptado pudesse ser derivado a partir de previsões e observações de uma base de dados satisfatória. O valor a_0/λ_1 é o número equivalente de horas associado a λ_1 e a_1 através de a_n que é o número de falhas experimentado em cada fonte de dados empíricos. Poderia ser “n” fontes de dados avaliáveis (para cada origem “n” corresponde a um dado individual de campo ou teste de uma população de itens). O valor b_1' através de b_n' , é o número total equivalente de operações para cada fonte de dado individual.

4.114. A adaptação da constante Bayesiana a_0 em λ_2

De acordo com 217PlusTM (2006) e Nicholls (2006), o valor de a_0 é proporcional ao grau de ponderação dado ao valor previsto λ_1 . A constante a_0 é escolhida de tal forma que a incerteza na estimativa da taxa de falha, calculada com a distribuição Qui-Quadrado, equivale a incerteza observada. O valor predefinido $a_0 = 0,5$, pode ser usado na equação se estiver baseado na relação previsto/observado para uma ampla variedade de sistemas, aplicações, etc. Há muitos fatores que contribuem para a variabilidade nesta relação. Entretanto, se o usuário da metodologia 217PlusTM tem dados suficientes sobre a qual derivar um valor adaptado para a_0 , poderia ser derivado e utilizado. Enquanto o valor padrão de 0,5 representa o elevado grau de incerteza quando um conjunto de dados diversos é utilizado, um típico usuário da 217PlusTM geralmente analisará os itens com um maior rigor, em termos do tipo de item, ambiente, perfil, etc. E como já mencionado, com dados suficientes o valor de a_0 pode ser incrementado. Para estimar o valor de a_0 que deve ser usado, a distribuição da seguinte métrica é calculada para todos os itens para os quais ambos os dados preditos e observados está disponível:

$$\frac{\lambda_{observed,predecessor}}{\lambda_{predicted,predecessor}} \quad (14)$$

Resumindo 217PlusTM (2006) e Nicholls (2006), a distribuição lognormal se encaixa na métrica acima, porém outras distribuições como a Weibull pode ser usada. O valor cumulativo dessa distribuição é visualizado num gráfico, assim como os multiplicadores da taxa de falha calculados pela distribuição qui-quadrado. A distribuição qui-quadrado deveria ser calculada e representada graficamente para vários números de falha, para garantir que a distribuição da relação taxa de falha observada/prevista esteja em valores qui-quadrado. Na maioria dos casos de uma a três falhas já é o suficiente. Em seguida os gráficos são comparados para determinar qual das distribuições qui-quadrado melhor se aproxima dos valores de incerteza observados. O número de falhas associadas com a distribuição determina então o valor de a_0 .

4.115. Constantes globais

Muitas das variáveis são comuns a todos os modelos de componentes na 217PlusTM, esses valores são conhecidos como constantes globais e são as seguintes:

- Y = Ano de fabricação;
- D = Ciclo de trabalho (a porcentagem de tempo do calendário em que o sistema ou componente está funcionando, estado operacional);
- T_{AO} = Temperatura do ambiente em estado operacional (em graus C);
- T_{AE} = Temperatura do ambiente em estado não operacional (em graus C);
- CR = Taxa de Ciclismo (o número de ciclos de energia por ano em que o sistema é exposto). Neste caso, presume-se que as transições do sistema a partir de um ambiente não-operacional para um o ambiente de operação, ao mesmo tempo que a energia está aplicada;
- RH = Humidade relativa.

5. DISCUSSÃO SOBRE A FINALIDADE DE PREVISÃO DE CONFIABILIDADE SEGUNDO AS NORMAS

Atualmente Confiabilidade é reconhecida como uma necessidade essencial em sistemas eletrônicos. É vista como uma medida para reduzir custos de fabricação e melhorar o desempenho de sistemas. A norma MIL HDBK 217 desempenha um padrão para realizar de forma eficiente uma previsão de confiabilidade para o sistema em questão.

Segundo MIL-HDBK-217F (1991) a previsão de confiabilidade fornece a quantidade de linhas de base para avaliar o progresso na engenharia de confiabilidade. A previsão feita a partir de um projeto proposto pode ser utilizada de várias maneiras, em geral é usada como um guia para melhorias mostrando o principal contribuinte para a falha. A previsão de confiabilidade para cada alternativa de design fornece uma medida de valor relativo que, combinada com outras considerações auxiliará na seleção da melhor opção disponível.

A previsão de confiabilidade pode ser utilizada para medir a habilidade do sistema manter um nível de confiabilidade aceitável em um ambiente extremo. Auxiliando também na avaliação dos efeitos da complexidade e na probabilidade de sucesso da missão. Essa previsão pode auxiliar também na análise de necessidade de controle ambiental, assim como na necessidade de redundância e back-up.

Corroborando com as ideias de MIL-HDBK-217F (1991) a previsão da confiabilidade ajuda na avaliação da significância da falha relatada. Por exemplo, se muitas falhas de um mesmo modo ou de um mesmo componente ocorrer no sistema, a previsão da taxa de falha pode ser usada para determinar se o número de falhas do sistema é proporcional ao número de componentes utilizados no sistema ou para verificar se isso indica um problema de área. É utilizada também para avaliar a probabilidade de eventos de falhas descritos em um modo de falha, incluindo análise dos efeitos e criticidade. Com isso é possível afirmar que a previsão de confiabilidade é útil para muitas análises de engenharia.

Apesar das grandes contribuições que a previsão de confiabilidade fornece, ela apresenta algumas limitações e a mais relevante é que o modelo de taxa de falha é calculado através de estimativas baseadas em dados disponíveis. Isso implica que são válidos apenas sobre as condições em que os dados foram obtidos e para os dispositivos cobertos. É possível fazer algumas extrapolações enquanto o modelo é desenvolvido, mas em geral eles são restritos, devido as várias condições, como por exemplo a sensibilidade aos efeitos da radiação.

De acordo com MIL-HDBK-217F (1991) mesmo quando usados em ambientes similares as diferenças entre as aplicações do sistema podem ser significantes. A confiabilidade prevista e alcançada deve ser sempre mais próxima a sistemas eletrônicos do que sistemas avionicos. Isso porque o ambiente de stress pode variar de um sistema para outro, por isso as condições estão em geral mais perto do ambiente em que os dados foram coletados para o modelo de previsão.

Entre outras limitações destacamos aqui a dependência da aplicação correta para o uso. Aqueles que aplicam corretamente os modelos e usam as informações em um programa de confiabilidade consciente encontrarão na previsão uma ferramenta útil. Aqueles que veem a confiabilidade apenas como um número que deve ser superior a um valor específico pode encontrar uma maneira de alcançar seu objetivo sem qualquer impacto no sistema.

O exposto acima sugere que uma das dificuldades encontradas na análise da Confiabilidade é determinar o comportamento do sistema usando como base algumas medidas e informações de algumas partes do sistema funcionando juntas no mesmo intervalo de tempo e em condições prescritas pois essas informações são probabilísticas. Mas ajudam a evitar ou tolerar falhas com algum êxito (Souza e Carvalho, 2005). Essa é uma questão que deve ser investigada por outro estudo. Outra dificuldade é fazer uma comparação entre os métodos de cálculo com as diferentes versões da Série MIL-HDBK-217, ou seja, analisar o mesmo componente para mais de uma versão desta série e descrever quais foram os impactos no cálculo da confiabilidade (Rabello e Souza, 2010). Essa é uma tarefa a ser realizada por este estudo, utilizando as versões mais atuais F-Notice 1, F-Notice 2 e Plus.

Com base nas referências, como Pecht (1988), Anrig (2002), Freitas(1997), Mroczkowski (1991) entre outras, ficou claro que as incertezas representadas pela distribuição de taxas de falhas mostram que se pode melhorar os processos de análise e tomadas de decisões para a predição da confiabilidade, através dos dados históricos sobre sistemas anteriores e informações coletadas e analisadas.

6. Algumas direções futuras

Os objetivos futuros do estudo em questão são conduzir uma análise e sugerir procedimentos para melhorias de processos de confiabilidade de circuitos eletrônicos espaciais, baseadas nas normas de confiabilidade da Série MIL-HDBK-217. Para isto pretende-se concluir um estudo de caso com base em um levantamento da literatura, já iniciado, para apurar maiores informações sobre as semelhanças e diferenças entre as várias versões da Série MIL-HDBK-217 (A, B, C, D, E, F, F Notice 1, F Notice 2, Plus, etc.), sobretudo as 3 últimas (vide refs.); concluir uma análise sobre as semelhanças e diferenças entre essas versões; analisar os impactos ocasionados por essas diferenças e semelhanças através da escolha de um equipamento ou componente que será avaliado e analisado segundo cada uma das versões escolhidas e assim discutir e possivelmente recomendar medidas para a melhoria de processos de confiabilidade, através das possíveis conclusões avaliadas e validadas a partir do estudo em questão, já iniciado.

7. Referências

- 217PlusTM, Military Handbook, Reliability Prediction of Electronic Equipment, Department of Defense, 26 may 2006.
- ANRIG B. and KOHLAS J. Model-Based Reliability and Diagnostics: A Common Framework for Reliability and Diagnostics, 2002.
- CARPINETTI, L.C.R., Gestão da Qualidade – Conceitos e Técnicas, São Paulo, Atlas, 2010.

- EPSMA - EUROPEAN POWER SUPPLY MANUFACTURES ASSOCIATION – Reliability – Guidelines to Understanding Reliability Prediction, Wellingborough, Inglaterra, junho de 2005.
- FREITAS, M.A. and COLOSIMO, E.A. Confiabilidade: Análise de Tempo de Falha e Testes de Vida Acelerados, Fundação Christiano Ottoni, Belo Horizonte, MG, 1997.
- GULLO, L. The Revitalization of MIL-HDBK-217, artigo de IEEE Reliability Society, 2008.
- IEEE. Institute of Electrical and Electronic Engineers Reliability Society. Disponível em: <<http://www.ieee.org/portal/site/relsoc/>>. Acesso em abril de 2012.
- LAIRA, J. R. B. Manual de Confiabilidade, Manutenibilidade e Disponibilidade. Rio de Janeiro, Brasil: Qualitymark, 2001.
- MCLEISH, J. G. Enhancing MIL-HDBK-217 Reliability Predictions with Physics of Failure, Maryland, USA, 2010.
- MIL-HDBK-217F (Notice 1), Military Handbook, Reliability Prediction of Electronic Equipment, Department of Defense, Washington DC, 10 de Julho de 1992.
- MIL-HDBK-217F (Notice 2), Military Handbook, Reliability Prediction of Electronic Equipment, Department of Defense, Washington DC, 28 February 1995.
- MIL-HDBK-217F, Military Handbook, Reliability Prediction of Electronic Equipment, Department of Defense, Washington DC, 2 de Dezembro de 1991.
- MROCKOWSKI, R.S and MAYNARD, J.M. Estimating the Reliability of Electrical Connectors, IEE Transactions on Reliability, 1991.
- NICHOLLS, D. So, Who Are You and What Did You Do With the RAC, the Journal of the Reliability Information Analysis Center, - FIRST QUARTER, 2006.
- NICHOLLS, D., An Overview of the 217Plus Reliability Information Analysis Center - the Journal of the Reliability Information Analysis Center, Fourth Quarter – 2006.
- NICHOLLS, D., What is 217Plus™ and Where Did It Come From?, USA, 2007.
- PECHT, M. and KANG, W. C. A Critique of MIL-HDBK-217E Reliability Prediction Methods, IEE Transactions on Reliability, EUA, 1988.
- PECHT, M. Why the traditional reliability prediction models do not work – is there an alternative? January 1996 Disponível em: <http://www.electronics-cooling.com/1996/01/why-the-traditional-reliability-prediction-models-do-not-work-is-there-an-alternative/> acesso em junho de 2013.
- RABELLO, A. P. S. S., SOUZA, M. L. O. A Proposal for Improving the Results of the Reliability Analysis and FMEA/FMECA of the CBERS Satellite Program, SAE Brasil 2010, São Paulo, 2010.
- RABELLO, A. P. S. S., SOUZA, M. L. O. Relatório de Comparação entre os Métodos de Cálculo para Obtenção da Taxa de Falhas dos Conectores “Retangular” e “Rack and Panel” – China Brazil Earth Resource Satellite CBERS 3 &4, INPE, S.J.Campos, SP, dezembro de 2011.
- REGINATO, J. P. M. Uma Proposta de Aperfeiçoamento de um Processo de Gerenciamento de Requisitos de Sistema e de Software e sua Aplicação a Sistemas Espaciais e Aeronáuticos Embarcados. Dissertação de Mestrado, INPE, Brasil, 2012.
- SOUZA, M. L. O., CARVALHO, T. R. The Fault Avoidance and The Fault Tolerance Approaches for Increasing the Reliability of Aerospace and Automotive Systems, Congresso SAE Brasil 2005, São Paulo, SP, 2005.
- VILLEMEUR, A. Reliability, Availability, Maintainability and Safety Assessment, Volume 1 Methods and Techniques, England, 1992.