



MINISTÉRIO DA CIÊNCIA, TECNOLOGIA E INOVAÇÃO  
**INSTITUTO NACIONAL DE PESQUISAS ESPACIAIS**

sid.inpe.br/plutao/2014/11.24.15.05-TDI

**ANÁLISE E COMPARAÇÃO DOS MANUAIS DA  
FAMÍLIA MIL-HDBK-217F E PROPOSTA DE  
MELHORIA DE PROCESSOS DE CONFIABILIDADE  
DE EQUIPAMENTOS ELETRÔNICOS ESPACIAIS**

Roberta de Cássia Ferreira Porto

Dissertação de Mestrado do Curso de Pós-Graduação em Engenharia e Tecnologia Espaciais/Engenharia e Gerenciamento de Sistemas Espaciais, orientada pelo Dr. Marcelo Lopes de Oliveira e Souza, aprovada em 10 de novembro de 2014.

URL do documento original:

<<http://urlib.net/8JMKD3MGP3W/3HF47K5>>

INPE  
São José dos Campos  
2014

**PUBLICADO POR:**

Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais - INPE

Gabinete do Diretor (GB)

Serviço de Informação e Documentação (SID)

Caixa Postal 515 - CEP 12.245-970

São José dos Campos - SP - Brasil

Tel.:(012) 3208-6923/6921

Fax: (012) 3208-6919

E-mail: pubtc@sid.inpe.br

**COMISSÃO DO CONSELHO DE EDITORAÇÃO E PRESERVAÇÃO  
DA PRODUÇÃO INTELECTUAL DO INPE (DE/DIR-544):****Presidente:**

Marciana Leite Ribeiro - Serviço de Informação e Documentação (SID)

**Membros:**

Dr. Gerald Jean Francis Banon - Coordenação Observação da Terra (OBT)

Dr. Amauri Silva Montes - Coordenação Engenharia e Tecnologia Espaciais (ETE)

Dr. André de Castro Milone - Coordenação Ciências Espaciais e Atmosféricas  
(CEA)

Dr. Joaquim José Barroso de Castro - Centro de Tecnologias Espaciais (CTE)

Dr. Manoel Alonso Gan - Centro de Previsão de Tempo e Estudos Climáticos  
(CPT)

Dr<sup>a</sup> Maria do Carmo de Andrade Nono - Conselho de Pós-Graduação

Dr. Plínio Carlos Alvalá - Centro de Ciência do Sistema Terrestre (CST)

**BIBLIOTECA DIGITAL:**

Dr. Gerald Jean Francis Banon - Coordenação de Observação da Terra (OBT)

**REVISÃO E NORMALIZAÇÃO DOCUMENTÁRIA:**

Maria Tereza Smith de Brito - Serviço de Informação e Documentação (SID)

Yolanda Ribeiro da Silva Souza - Serviço de Informação e Documentação (SID)

**EDITORAÇÃO ELETRÔNICA:**

Maria Tereza Smith de Brito - Serviço de Informação e Documentação (SID)

André Luis Dias Fernandes - Serviço de Informação e Documentação (SID)



MINISTÉRIO DA CIÊNCIA, TECNOLOGIA E INOVAÇÃO  
**INSTITUTO NACIONAL DE PESQUISAS ESPACIAIS**

sid.inpe.br/plutao/2014/11.24.15.05-TDI

**ANÁLISE E COMPARAÇÃO DOS MANUAIS DA  
FAMÍLIA MIL-HDBK-217F E PROPOSTA DE  
MELHORIA DE PROCESSOS DE CONFIABILIDADE  
DE EQUIPAMENTOS ELETRÔNICOS ESPACIAIS**

Roberta de Cássia Ferreira Porto

Dissertação de Mestrado do Curso de Pós-Graduação em Engenharia e Tecnologia Espaciais/Engenharia e Gerenciamento de Sistemas Espaciais, orientada pelo Dr. Marcelo Lopes de Oliveira e Souza, aprovada em 10 de novembro de 2014.

URL do documento original:

<<http://urlib.net/8JMKD3MGP3W/3HF47K5>>

INPE  
São José dos Campos  
2014

Dados Internacionais de Catalogação na Publicação (CIP)

---

Porto, Roberta de Cássia Ferreira.

P838a Análise e Comparação dos Manuais da família MIL-HDBK-217F e Proposta de Melhoria de Processos de Confiabilidade de Equipamentos Eletrônicos Espaciais / Roberta de Cássia Ferreira Porto. – São José dos Campos : INPE, 2014.

xliv + 393 p. ; (sid.inpe.br/plutao/2014/11.24.15.05-TDI)

Dissertação (Mestrado em Engenharia e Tecnologia Espaciais/Engenharia e Gerenciamento e Sistemas Espaciais) – Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais, São José dos Campos, 2014.

Orientador : Dr. Marcelo Lopes de Oliveira e Souza.

1. Confiabilidade. 2. Taxa de falhas. 3. mil hdbk217. I.Título.

CDU 629.7.017

---



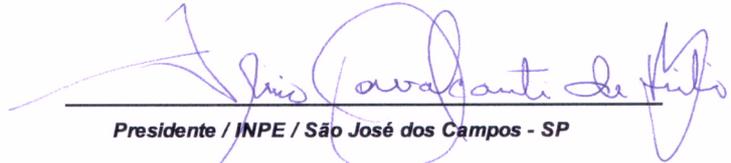
Esta obra foi licenciada sob uma Licença [Creative Commons Atribuição-NãoComercial 3.0 Não Adaptada](https://creativecommons.org/licenses/by-nc/3.0/).

This work is licensed under a [Creative Commons Attribution-NonCommercial 3.0 Unported License](https://creativecommons.org/licenses/by-nc/3.0/).

Aprovado (a) pela Banca Examinadora  
em cumprimento ao requisito exigido para  
obtenção do Título de **Mestre** em

**Engenharia e Tecnologia  
Espaciais/Gerenciamento de Sistemas  
Espaciais**

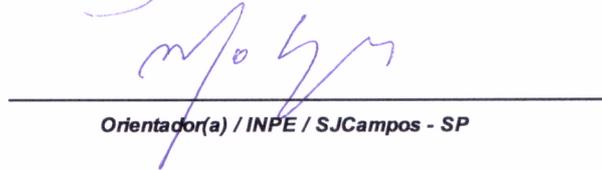
Dr. Alírio Cavalcanti de Brito



---

**Presidente / INPE / São José dos Campos - SP**

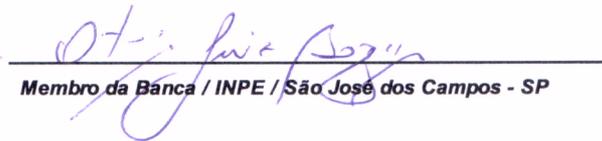
Dr. Marcelo Lopes de Oliveira e Souza



---

**Orientador(a) / INPE / SJC Campos - SP**

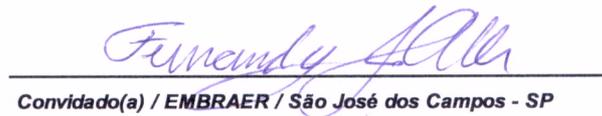
Dr. Otávio Luiz Bogossian



---

**Membro da Banca / INPE / São José dos Campos - SP**

Dr. Fernando José de Oliveira



---

**Convidado(a) / EMBRAER / São José dos Campos - SP**

**Este trabalho foi aprovado por:**

maioria simples

unanimidade

Aluno (a): **Roberta de Cássia Ferreira Porto**

**São José dos Campos, 10 de Novembro de 2014**



*...muitas vezes estamos em dificuldades, mas não somos derrotados. Algumas vezes ficamos em dúvida, mas nunca desesperados. Temos muitos inimigos, mas nunca nos falta um amigo. Às vezes somos feridos, mas não destruídos. Trazemos sempre conosco os traços da morte de Jesus, para que também a vida de Jesus se manifeste em nosso corpo.*

II Coríntios 4, 8-10



*A meus familiares e amigos pelo incentivo constante.*



## **AGRADECIMENTOS**

Primeiramente a Deus, a quem devo tudo o que sou, pelo dom da vida, pela oportunidade e possibilidade de realizações. Pela paciência e tolerância com a qual recebeu minhas orações e por sua preciosa proteção.

Agradeço ao INPE pela oportunidade e a todos os professores do Curso ETE/CSE pelos conhecimentos compartilhados e orientações, que foram de grande valia durante todo o período de realização desse Curso de Mestrado em Engenharia e Tecnologias Espaciais.

Em especial agradeço ao meu orientador Professor Dr. Marcelo Lopes de Oliveira e Souza, que considero um excelente professor e orientador e, acima de tudo, uma pessoa admirável, tornando-se uma referência profissional e pessoal para o meu crescimento. A ele que sempre auxiliou, confiou, motivou e incentivou durante todo esse período, o meu sincero agradecimento.

Agradeço também de forma especial à Eng. Ana Paula de Sá Santos Rabello, pela ajuda, dicas, pela paciência em esclarecer dúvidas, pela disposição constante em ajudar e, principalmente, pela amizade. Você, cara amiga, é parte essencial deste trabalho.

Aos membros da Banca Examinadora, Dr. Otávio Luiz Bogossian, Dr. Alírio Cavalcanti de Brito e Dr. Fernando José de Oliveira Moreira, por terem atendido ao convite, dispondo de seu tempo e conhecimento para analisar este trabalho e pelas contribuições.

Expresso também, meu sincero agradecimento à amiga Patrícia Helena, que contribuiu com algumas correções, às secretárias Edleusa e Valdirene que sempre foram solícitas e atenciosas, aos colegas de curso pelo apoio e amizade (Juliana Padilha, Franciscana Melo, Antônio Cassiano, Eron Fernandes, Eloy Martins, Marize Simões e Ítalo Rodrigues) e a todos do INPE que de alguma forma contribuíram para a realização deste documento.

Deixo aqui meu agradecimento a minha família, especialmente a meus queridos pais, José Henrique e Sebastiana, que sempre me estimularam a prosseguir e nunca desistir. A vocês que se doaram e que, muitas vezes, renunciaram aos seus sonhos para propiciar um algo a mais a mim e a meu irmão. A vocês que me mostraram que tudo é possível com muito trabalho e dedicação, que sempre enfatizaram que a caminhada não seria nada fácil, no entanto, quanto maior fosse o obstáculo maior seria a satisfação e a conquista. Muito obrigada pelas lições de vida e pelo exemplo de simplicidade, honestidade e superação. Amo muito vocês.

Por último, mas não menos importante, agradeço a meu esposo Robson, cuja presença e apoio foram mais que constantes. Um grande amigo, pessoa de extrema paciência, que soube me dar ânimo nos momentos difíceis e que agora divide comigo a felicidade desta conquista.

## RESUMO

Sistemas como satélites, aviões, automóveis e controles de tráfego aéreo estão se tornando cada vez mais complexos e/ou altamente integrados. Eles integram várias tecnologias e trabalham em ambientes muito exigentes, muitas vezes com pouca ou nenhuma manutenção, devido às condições severas de operação. Para sobreviver a essas condições severas de trabalho, que exigem altos níveis de confiabilidade a serem atingidos por uma diversidade de abordagens e processos, é necessário que os processos de análises e tomadas de decisões sejam melhorados progressivamente, utilizando-se as experiências acumuladas em várias abordagens e comunidades tecnológicas para propor possíveis modificações nos processos locais. Essas experiências se refletem na proposição e aperfeiçoamento das várias Séries de Manuais de Confiabilidade por várias abordagens e comunidades tecnológicas. O objetivo deste trabalho é a análise e comparação dos manuais de confiabilidade MIL-HDBK-217, versões F, F NOTICE 1 e F NOTICE 2, visando a melhoria de processos de confiabilidade de equipamentos eletrônicos espaciais. Para isto, este trabalho: 1) faz o levantamento de informações do manual MIL-HDBK-217, suas ferramentas, metodologias adotadas e, sobretudo, as diferenças entre essas últimas versões que são analisadas; 2) apresenta uma análise parcial das mudanças através de estudos de casos com componentes eletrônicos, como capacitores, resistores e conectores, com o objetivo de mostrar os impactos das mudanças entre as versões e algumas de suas limitações; 3) incorpora também uma aplicação e análise do manual para semicondutores como, por exemplo, diodos e transistores; 4) sugere recomendações sobre o uso das versões analisadas do manual MIL-HDBK-217 nos programas de satélites brasileiros e sugere medidas para melhorias de estimativas de confiabilidade de equipamentos eletrônicos espaciais; 5) apresenta também uma análise sucinta do manual MIL-HDBK-217Plus™, uma breve comparação entre esse manual e o manual MIL-HDBK-217, e informações sobre o atual esforço de atualização do manual MIL-HDBK-217 para formar a futura versão G.



# **ANALYSIS AND COMPARISON OF THE FAMILY MIL-HDBK-217F AND A PROPOSAL FOR IMPROVEMENT OF RELIABILITY PROCESSES FOR SPACE ELECTRONIC EQUIPMENT**

## **ABSTRACT**

Systems such as satellites, airplanes, cars and air traffic controls are becoming more and more complex and/or highly integrated. These systems integrate several technologies inside themselves, and must be able to work in very demanding environments, sometimes with few, or none, maintenance services, because of their severe conditions of work. To survive to the severe work conditions, the systems must present high levels of reliability, which are achieved through different approaches and processes. Therefore, it is necessary that the processes of decision analysis and making be progressively improved, taking into account experiences collected before by several technological communities, and then propose efficient modifications in the local processes. These experiences influence the proposition and improvement of several Reliability Standards Series taken by different approaches and technological communities. The aim of this work is to analyze and compare the Reliability Handbook MIL-HDBK-217, versions F, F NOTICE 1 and F NOTICE 2, to improve the reliability processes of space electronic equipment. To do that, This work: 1) collects information about the Standard MIL-HDBK-217, its tools, methodologies and, most important, the differences among its last three versions; 2) presents a partial analysis of the changes through the study of cases with electronic devices such as capacitors, resistors and connectors, to show the impact of the changes among the Standard versions and their limitations; 3) also incorporates an analysis and application of the Standard to semiconductors, such as diodes and transistors; 4) Suggests recommendations for the use of the Standard MIL-HDBK-217 versions analyzed in the Brazilian satellites programs and also suggests measures for improvements of reliability estimates of space electronic circuits; 5) also presents a brief analysis of the 217Plus™ Standard, a comparison between this Standard and the MIL-HDBK-217, and information about the current effort to update the MIL-HDBK-217 to build the future G version.



## LISTA DE FIGURAS

	<u>Pág.</u>
Figura 1.1 - Variação da taxa de falhas dos conectores dos tipos “Rectangular” e “Rack and Panel” versus número de pinos ativos. ....	4
Figura 2.1 - Principais atributos da Dependabilidade. ....	13
Figura 2.2 – A) Função de Probabilidade Acumulada (F(t)) B). Função de Confiabilidade (R(t)) .....	17
Figura 2.3 - Curva da banheira.....	19
Figura 2.4 - Modelamento de partes em Série. ....	22
Figura 2.5 - Modelamento de Partes em Paralelo. ....	22
Figura 2.6 - Modelamento de Partes com Redundância Parcial. ....	23
Figura 2.7 - As etapas de aplicação de confiabilidade. ....	24
Figura 2.8 - Destaca as fases do ciclo de vida. ....	26
Figura 2.9 - Efeito do parâmetro de qualidade na distribuição Weibull. ....	29
Figura 2.10 - Efeitos do parâmetro de qualidade da distribuição Weibull na taxa de falhas.....	30
Figura 2.11 - Modelando a Curva da banheira com a distribuição Weibull. ....	31
Figura 2.12 - Efeito o do parâmetro de escala da Weibull.....	32
Figura 3.1 - Datas de lançamento dos manuais de confiabilidade. ....	41
Figura 4.1 –Abrange as seções da versão F do manual MIL HDBK 217, que passou por ao menos por uma alteração com a atualização. ....	61
Figura 4.2- Descreve a mudança de escala da variável D, na seção 5.7 (versão F para N1) .....	66

Figura 4.3- Descreve parte das mudanças na seção 7.2 da versão F (esquerda) para N2 (direita). .....	<b>70</b>
Figura 4.4 - Mudanças da versão F para versão N2 para seção 13.1 (relays, mechanical). .....	<b>110</b>
Figura 4.5 - Mudanças da versão F para versão N2 na tabela " <i>Default Insert Temperature Rise (<math>\Delta T^\circ</math>) Determination</i> " citadas na Tabela 4.46. ....	<b>119</b>
Figura 5.1 - Diversos Capacitores. ....	<b>135</b>
Figura 5.2 – Capacitores cerâmicos.....	<b>137</b>
Figura 5.3 - Comparação das taxas de falhas de Capacitores Cerâmicos de 50 VDC, versão F com N2. A) Ambiente $S_F$ , B) Ambiente $G_F$ , C) Ambiente $A_{IC}$ e D) Ambiente $C_L$ Unidades Capacitancias em pF x Taxa de falha em falhas/ $10^6$ horas.....	<b>139</b>
Figura 5.4 - Comparação das taxas de falhas de Capacitores Cerâmicos de 100 VDC, versão F com N2. A) Ambiente $S_F$ , B) Ambiente $G_F$ , C) Ambiente $A_{IC}$ e D) Ambiente $C_L$ . Unidades Capacitancias em pF x Taxa de falha em falhas/ $10^6$ horas.....	<b>140</b>
Figura 5.5 - Comparação das taxas de falhas de Capacitores Cerâmicos de 200 VDC, versão F com N2. A) Ambiente $S_F$ , B) Ambiente $G_F$ , C) Ambiente $A_{IC}$ e D) Ambiente $C_L$ Unidades Capacitâncias em pF x Taxa de falha em falhas/ $10^6$ horas.....	<b>143</b>
Figura 5.6 - Capacitor de tântalo, não sólido.....	<b>144</b>
Figura 5.7 - Comparação das taxas de falhas de Capacitores de Tântalo não sólido de 50 VDC, versão F com N2. A) Ambiente $S_F$ , B) Ambiente $G_F$ , C) Ambiente $A_{IC}$ e D) Ambiente $C_L$ Unidades Capacitâncias em $\mu F$ x Taxa de falha em falhas/ $10^6$ horas.....	<b>147</b>
Figura 5.8 - Comparação das taxas de falhas de Capacitores de Tântalo não sólido de 60 VDC, versão F com N2. . A) Ambiente $S_F$ , B) Ambiente $G_F$ , C) Ambiente $A_{IC}$ e D) Ambiente $C_L$ Unidades Capacitâncias em $\mu F$ x Taxa de falha em falhas/ $10^6$ horas .....	<b>148</b>

Figura 5.9 - Comparação das taxas de falhas de Capacitores de Tântalo não sólido de 100 VDC, versão F com N2. . A) Ambiente S <sub>F</sub> , B) Ambiente G <sub>F</sub> , C) Ambiente A <sub>IC</sub> e D) Ambiente C <sub>L</sub> Unidades Capacitâncias em $\mu\text{F}$ x Taxa de falha em falhas/ $10^6$ horas .....	<b>149</b>
Figura 5.10 - Capacitor de tântalo sólido.....	<b>150</b>
Figura 5.11 - Quadro demonstrativo dos valores do fator $\pi\text{SR}$ , a) Valores de referência encontrados na versão F b) Valores de referência encontrados na versão N2 .....	<b>152</b>
Figura 5.12 - Comparação das taxas de falhas de um Capacitor de Tântalo sólido de 50 VDC, versão F com N2. A) Ambiente S <sub>F</sub> , B) Ambiente G <sub>F</sub> , C) Ambiente A <sub>IC</sub> e D) Ambiente C <sub>L</sub> Unidades Capacitâncias em $\mu\text{F}$ x Taxa de falha em falhas/ $10^6$ horas.....	<b>154</b>
Figura 5.13 - Comparação das taxas de falhas de um Capacitor de Tântalo sólido de 75 VDC, versão F com N2. A) Ambiente SF, B) Ambiente GF, C) Ambiente AIC e D) Ambiente CL Unidades Capacitâncias em $\mu\text{F}$ x Taxa de falha em falhas/ $10^6$ horas.....	<b>155</b>
Figura 5.14 - Comparação das taxas de falhas de um Capacitor de Tântalo sólido de 100 VDC, versão F com N2. A) Ambiente S <sub>F</sub> , B) Ambiente G <sub>F</sub> , C) Ambiente A <sub>IC</sub> e D) Ambiente C <sub>L</sub> Unidades Capacitâncias em $\mu\text{F}$ x Taxa de falha em falhas/ $10^6$ horas.....	<b>156</b>
Figura 5.15 - Comparação das taxas de falhas de Capacitores de Vidro de 300 VDC, qualidade S, versão F com N2. A) Ambiente SF, B) Ambiente GF, C) Ambiente AIC e D) Ambiente CL. Unidades Capacitâncias em pF x Taxa de falha em falhas/ $10^6$ horas .....	<b>159</b>
Figura 5.16 - Comparação das taxas de falhas de Capacitores de Vidro de 300 VDC, qualidade S na versão F e D em N2. A) Ambiente SF, B) Ambiente GF, C) Ambiente AIC e D) Ambiente CL. Unidades Capacitâncias em pF x Taxa de falha em falhas/ $10^6$ horas.....	<b>160</b>
Figura 5.17 - Resistor fixo de filme.....	<b>162</b>

Figura 5.18 - Ilustração dos intervalos de resistência considerados na versão F para compor o fator resistência ( $\pi_R$ ). .....	<b>164</b>
Figura 5.19 - Comparação das taxas de falhas de resistores fixos de metal filme, versão F com N2. A) Ambiente SF, B) Ambiente GF, C) Ambiente AIC e D) Ambiente CL Unidades resistor estilos 1 (RN50), 2 (RN65) e 3 (RN70) x Taxa de falha em falhas/10 <sup>6</sup> horas .....	<b>165</b>
Figura 5.20 - Resistor Network de filme. ....	<b>167</b>
Figura 5.21 - Os dois perfis de resistores que o fabricante apresenta valores: A esquerda - Perfil A; A direita - Perfil C.....	<b>167</b>
Figura 5.22 - Mostra os esquemas de montagem para "resistor networks" .....	<b>169</b>
Figura 5.23 - Comparação das taxas de falhas de resistores fixos network de filme, em dois ambientes A) Versão F, ambiente S <sub>F</sub> , B) Versão N2, ambiente S <sub>F</sub> , C) Versão F, ambiente G <sub>F</sub> e D) Versão N2, ambiente G <sub>F</sub> Unidades rede de resistores dos perfis A e C com 3, 4 e 5 resistores x Taxa de falha em falhas/10 <sup>6</sup> horas.....	<b>170</b>
Figura 5.24 - Comparação das taxas de falhas de resistores fixos network de filme, em dois ambientes A) Versão F, ambiente A <sub>IC</sub> , B) Versão N2, ambiente A <sub>IC</sub> , C) Versão F, ambiente C <sub>L</sub> e D) Versão N2, ambiente C <sub>L</sub> Unidades rede de resistores dos perfis A e C com 3, 4 e 5 resistores x Taxa de falha em falhas/10 <sup>6</sup> horas.....	<b>171</b>
Figura 5.25 - Taxas de falhas de resistor network de filme, para Ambiente CI considerando iguais os valores do fator qualidade. Unidades rede de resistores dos perfis A e C com 3, 4 e 5 resistores x Taxa de falha em falhas/10 <sup>6</sup> horas.....	<b>172</b>
Figura 5.26 - Detalhes das várias partes de um Conector "Rack and Panel".	<b>175</b>
Figura 5.27 - Conectores circulares. ....	<b>177</b>
Figura 5.28 - Conectores power .....	<b>178</b>

Figura 5.29 - Comparação das taxas de falhas de conectores "Rack and Panel", versão F com N2", A) ambiente S <sub>F</sub> B) Ambiente G <sub>F</sub> . Unidades Número de pinos ativos x Taxa de falha em falhas/10 <sup>6</sup> horas.....	<b>182</b>
Figura 5.30 - Comparação das taxas de falhas de conectores "Rack and Panel", versão F com N2. A) ambiente A <sub>IC</sub> , B) Ambiente C <sub>L</sub> . Unidades Número de pinos ativos x Taxa de falha em falhas/10 <sup>6</sup> horas.....	<b>183</b>
Figura 5.31 - Comparação das taxas de falhas de conectores "Circular", versão F com N2. A) Ambiente S <sub>F</sub> , B) Ambiente G <sub>F</sub> . Unidades Número de pinos ativos x Taxa de falha em falhas/10 <sup>6</sup> horas .....	<b>185</b>
Figura 6.1 - Vários tipos de diodos.....	<b>197</b>
Figura 6.2 – Resultados para diodo de baixa frequência do tipo Zener. ....	<b>200</b>
Figura 6.3 – Resultados para diodo de baixa frequência do tipo Chaveamento. .....	<b>201</b>
Figura 6.4 – Resultados para diodo de alta frequência do tipo Schottky.....	<b>201</b>
Figura 6.5 - Diferentes tipos de transistores.....	<b>202</b>
Figura 6.6 - Taxas de falhas para Transistor Bipolar de baixa frequência. ....	<b>207</b>
Figura 6.7 - Taxas de falhas para Transistor Mosfet de baixa frequência.....	<b>207</b>
Figura 6.8 - Taxas de falhas para Transistor Bipolar de alta frequência. ....	<b>208</b>
Figura 7.1 - Mostra a transição de RAC para RIAC. ....	<b>210</b>
Figura 7.2 - Mostra a relação de normas publicadas até a atualização 217PlusTM.....	<b>211</b>
Figura 7.3 - Abordagem para aproximação da taxa de falhas.....	<b>214</b>
Figura 7.4 - Comparação da incerteza observada com o Incerteza calculada usando a distribuição qui-quadrado. ....	<b>230</b>
Figura 8.1 - Taxa de falhas do equipamento em vários ambientes .....	<b>236</b>
Figura 9.1 – Mostra os principais métodos de predição de confiabilidade utilizados. ....	<b>240</b>

.

## LISTA DE TABELAS

	<u>Pág.</u>
Tabela 2.1 - Principais características das distribuições de probabilidades mais utilizadas em Confiabilidade.....	<b>28</b>
Tabela 3.1 - Símbolos e Descrições das categorias de ambiente que compõem os fatores ambientais. ....	<b>48</b>
Tabela 3.2 – Partes com os vários níveis de especificações de qualidade.....	<b>50</b>
Tabela 4.1 - Mudanças para seção 5.1 ( <i>microcircuits, gate/logic arrays and microprocessors</i> ) e seção 5.2 ( <i>microcircuits, memories</i> ). ....	<b>64</b>
Tabela 4.2 -Mudanças para seção 5.3 do manual ( <i>microcircuits, vhsic/vhsic-like and vlsi cmos</i> ) .....	<b>65</b>
Tabela 4.3- mudanças na seção 5.4 ( <i>microcircuits, gaas mmic and digital devices</i> ) e seção 5.5 ( <i>microcircuits, híbridos</i> ).....	<b>66</b>
Tabela 4.4 - Mudanças registradas nas seções: 5.7 ( <i>microcircuits, magnetic bubble memories</i> ), 5.8 ( <i>microcircuits, <math>\mu T</math> table for all</i> ) e 5.12 ( <i>microcircuits, TJ determination, (for hybrids)</i> ). ....	<b>67</b>
Tabela 4.5 - Mudanças registradas nas seções: 6.1 ( <i>diodos, low frequency</i> ), 6.8 ( <i>transistors, high frequency, GaAs FET</i> ) e 7.1 ( <i>tubes, all types except twt and magnetron</i> ).....	<b>68</b>
Tabela 4.6- Mudança na seção 7.2 ( <i>tubes, traveling wave</i> ) .....	<b>69</b>
Tabela 4.7 - As seções de resistores da versão F que foram aglomeradas na seção 9.1 da versão N2 e as mudanças no cálculo da taxa de falhas.....	<b>71</b>
Tabela 4.8 -Mudanças registrada na seção 9.1 ( <i>resistors, fixed, composition</i> ) entre versão F para N2. ....	<b>72</b>
Tabela 4.9 -Mudanças registrada na seção 9.2 ( <i>resistors fixed, film</i> ), entre versão F para N2.....	<b>73</b>

Tabela 4.10 - Mudanças registrada na seção 9.3 ( <i>resistors, fixed, film, power</i> ), versão F para N2.....	<b>74</b>
Tabela 4.11 - Mudanças registrada na seção 9.4 ( <i>resistors, network, fixed, film</i> ), versão F para N2.....	<b>76</b>
Tabela 4.12 - Mudanças registrada na seção 9.5 ( <i>resistors, fixed, wirewound</i> ) e 9.6 ( <i>resistors, fixed, wirewound, power</i> ), versão F para N2.....	<b>77</b>
Tabela 4.13 - Mudanças registrada na seção 9.7 ( <i>resistors, fixed, wirewound, power, chassis mounted</i> ), versão F para N2.....	<b>78</b>
Tabela 4.14 - Mudanças registrada em 9.8 ( <i>resistors, thermistor</i> ) .....	<b>79</b>
Tabela 4.15 - Mudanças registrada em 9.9 ( <i>resistors, variable, wirewound</i> ), versão F para N2.....	<b>80</b>
Tabela 4.16 - Mudanças registrada em 9.10 ( <i>resistors, variable, wirewound, precision</i> ).....	<b>81</b>
Tabela 4.17 - Mudanças registrada em 9.11 ( <i>resistors, variable, wirewound, semiprecision</i> ), versão F para N2.....	<b>82</b>
Tabela 4.18 - Mudanças registrada em 9.12 ( <i>resistors, variable, wirewound, power</i> ) e 9.13 ( <i>resistors, variable, nonwirewound</i> ), versão F para N2.....	<b>83</b>
Tabela 4.19 - Mudanças registrada em 9.14 ( <i>resistors, variable, composition power</i> ) .....	<b>84</b>
Tabela 4.20 - Mudanças registrada em 9.15 ( <i>resistors, variable, nonwirewound, film and precision</i> ), versão F para N2.....	<b>85</b>
Tabela 4.21 - As seções de capacitores da versão F que foram aglomeradas na seção 10.1 da versão N2 e as mudanças no cálculo da taxa de falhas.....	<b>88</b>
Tabela 4.22 - Mudança registrada na seção 10.1 ( <i>capacitors, fixed, paper, by- pass</i> ) .....	<b>89</b>

Tabela 4.23 - Mudança registrada na seção 10.2 ( <i>capacitors, fixed, paper, feed-through</i> ) da versão F para a versão N2.....	<b>90</b>
Tabela 4.24 - Mudança registrada nas seções 10.3 ( <i>capacitors, fixed, paper and plastic film</i> ) e 10.4 ( <i>capacitors, fixed, metallized paper, paper-plastic and plastic</i> ) da versão F para a versão N2.....	<b>91</b>
Tabela 4.25 - Mudança registrada na seção 10.5 ( <i>capacitors, fixed, plastic and metallized plastic</i> ).....	<b>92</b>
Tabela 4.26 - Mudança registrada na seção 10.6 ( <i>capacitors, fixed, super-metallized plastic</i> ) da versão F para a versão N2.....	<b>93</b>
Tabela 4.27 - Mudança registrada na seção 10.7 ( <i>capacitors, fixed, mica</i> ) .....	<b>94</b>
Tabela 4.28 - Mudança registrada na seção 10.8 ( <i>capacitors, fixed, super-metallized plastic</i> ) da versão F para a versão N2.....	<b>95</b>
Tabela 4.29 - Mudança registrada na seção 10.9 ( <i>capacitors, fixed, glass</i> ) e da versão f para a versão n2.....	<b>96</b>
Tabela 4.30 - Mudança registrada na seção 10.10 ( <i>capacitors, fixed, ceramic, general purpose</i> ) da versão F para a versão N2. ....	<b>97</b>
Tabela 4.31 - Mudança registrada na seção 10.11 ( <i>capacitors, fixed, ceramic, temperature compensating and chip</i> ) da versão F para a versão N2. ....	<b>98</b>
Tabela 4.32 - Mudança registrada na seção 10.12 ( <i>capacitors, fixed, eletrolytic, tantalum, solid</i> ) da versão F para a versão N2.....	<b>99</b>
Tabela 4.33 - Mudança registrada na seção 10.13 ( <i>capacitors, fixed, eletrolytic, tantalum, non-solid</i> ) da versão F para a versão N2.....	<b>100</b>
Tabela 4.34 - Mudança registrada na seção 10.14 ( <i>capacitors, fixed, eletrolytic, aluminum</i> ) da versão F para a versão N2. ....	<b>101</b>
Tabela 4.35 - Mudança registrada na seção 10.15 ( <i>capacitors, fixed, eletrolytic (dry), aluminum</i> ) da versão F para a versão N2. ....	<b>102</b>

Tabela 4.36 - Mudança registrada nas seções 10.16 ( <i>capacitors, variable, ceramic</i> ) da versão F para a versão N2. ....	<b>103</b>
Tabela 4.37 - Mudança registrada nas seções 10.17 ( <i>capacitors, variable, piston type</i> ) e 10.18 ( <i>capacitors, variable, air trimmer</i> ) da versão F para a versão N2.....	<b>104</b>
Tabela 4.38 - Mudança registrada na seção 10.19 ( <i>capacitors, fixed, eletrolytic, tantalum, non-solid</i> ) da versão F para a versão N2.....	<b>105</b>
Tabela 4.39 - Mudanças na seção 11.1 ( <i>inductive devices, transformers</i> ) de F para N2. ....	<b>107</b>
Tabela 4.40 - Mudanças nas seções 11.2 ( <i>inductive devices, coils</i> ) e 11.3 ( <i>inductive devices, determination of hot spot temperature</i> ) de F para N2.....	<b>108</b>
Tabela 4.41 - Mudanças na seção e 12.1 ( <i>rotation devices, motors</i> ) da versão F para N2. ....	<b>109</b>
Tabela 4.42 - Mudanças nas seções 12.2 ( <i>rotation devices, synchros and resolvers</i> ) e 13.1 ( <i>relays, mechanical</i> ).....	<b>111</b>
Tabela 4.43 - Mudanças nas seções 13.2 ( <i>relays, solid state and time delay</i> ) e 14.1 ( <i>switches</i> ). ....	<b>113</b>
Tabela 4.44 - Mudança na seção 14.2 ( <i>switches, basic sensitive (F) = switches, circuit breakers (N2)</i> ). ....	<b>114</b>
Tabela 4.45 - Mudança ocorrida na seção 15.1 ( <i>connectors, general</i> ). ....	<b>117</b>
Tabela 4.46 - Mudança ocorrida em “ <i>connectors, printed circuit board</i> ” seção 15.2 F para 15.1 N2.. ....	<b>118</b>
Tabela 4.47 - Mudanças nas seções referentes a “ <i>connectors, sockets</i> ” e na seção 16.1 ( <i>interconnection assemblies with plated through holes</i> ) na versão F e N2.....	<b>120</b>
Tabela 4.48 - Incorporação seção 16.2 ( <i>interconnection assemblies, surface mount technology</i> ) e mudança na seção 17.1 ( <i>connections</i> ). ....	<b>122</b>

Tabela 4.49 – Classificação das mudanças entre as versões F, N1 e N2, seções 5.1 a seção 10.14. ....	<b>124</b>
Tabela 4.50 – Classificação das mudanças entre as versões F, N1 e N2, seções 10.15 a seção 16.2.....	<b>125</b>
Tabela 5.1 - Matriz de casos mostra quais componentes foram escolhidos para a realização do estudo de caso.....	<b>133</b>
Tabela 5.2 - Taxa de falhas para capacitor cerâmico em ambiente CL, para tensão de 100 VDC .....	<b>142</b>
Tabela 5.3 - Mostra o valor médio da discrepância das taxas de falhas entre as versões F e N2, para capacitores cerâmicos. ....	<b>142</b>
Tabela 5.4 – Apresenta os três diferentes estilos de resistores de filme especificados por MIL R 10509 que foram analisados nessa seção. ....	<b>163</b>
Tabela 5.5 - Descreve os parâmetros e fatores considerados para o cálculo da taxa de falhas e as diferenças e semelhanças entre eles para as versões do manual. ....	<b>180</b>
Tabela 6.1 – As seções que a norma abrange para transistores. ....	<b>203</b>
Tabela 7.1 – Parâmetros para os fatores relacionados aos graus de processo. ....	<b>219</b>
Tabela 8.1 - Comparação qualitativa entre os manuais MIL HDBK 217 e o manual 217Plus.....	<b>234</b>
Tabela 8.2 – Condições de estresses considerados por 217Plus™ e MIL-HDBK-217 .....	<b>237</b>
Tabela 8.3 - Nível de dificuldade de aprendizagem dos manuais. ....	<b>238</b>
Tabela 9.1- Participantes da segunda reunião do grupo 217WG.....	<b>243</b>
Tabela A.1 - Taxas de falhas para Capacitor Cerâmico com 50 VDC para diferentes Capacitâncias, Ambiente S <sub>F</sub> , utilizando versão F. ....	<b>262</b>

Tabela A.2- Taxas de falhas para Capacitor Cerâmico com 100 VDC para diferentes Capacitâncias, Ambiente S <sub>F</sub> , utilizando versão F. ....	<b>263</b>
Tabela A.3- Taxas de falhas para Capacitor Cerâmico com 200 VDC para diferentes Capacitâncias, Ambiente S <sub>F</sub> , utilizando versão F. ....	<b>265</b>
Tabela A.4 -Taxas de falhas para Capacitor Cerâmico com 50 VDC para diferentes Capacitâncias, Ambiente A <sub>IC</sub> , utilizando versão F. ....	<b>266</b>
Tabela A.5 - Taxas de falhas para Capacitor Cerâmico com 100 VDC para diferentes Capacitâncias, Ambiente A <sub>IC</sub> , utilizando versão F. ....	<b>267</b>
Tabela A.6 - Taxas de falhas para Capacitor Cerâmico com 200 VDC para diferentes Capacitâncias, Ambiente A <sub>IC</sub> , utilizando versão F. ....	<b>268</b>
Tabela A.7 - Taxas de falhas para Capacitor Cerâmico com 50 VDC para diferentes Capacitâncias, Ambiente G <sub>F</sub> , utilizando versão F. ....	<b>269</b>
Tabela A.8 - Taxas de falhas para Capacitor Cerâmico com 100 VDC para diferentes Capacitâncias, Ambiente G <sub>F</sub> , utilizando versão F. ....	<b>270</b>
Tabela A.9 - Taxas de falhas para Capacitor Cerâmico com 200 VDC para diferentes Capacitâncias, Ambiente G <sub>F</sub> , utilizando versão F. ....	<b>271</b>
Tabela A.10 - Taxas de falhas para Capacitor Cerâmico com 50 VDC para diferentes Capacitâncias, Ambiente C <sub>L</sub> , utilizando versão F. ....	<b>272</b>
Tabela A.11 - Taxas de falhas para Capacitor Cerâmico com 100 VDC para diferentes Capacitâncias, Ambiente C <sub>L</sub> , utilizando versão F. ....	<b>273</b>
Tabela A.12 - Taxas de falhas para Capacitor Cerâmico com 200 VDC para diferentes Capacitâncias, Ambiente C <sub>L</sub> , utilizando versão F. ....	<b>274</b>
Tabela A.13 - Taxas de falhas para Capacitor de Tântalo não Sólido com 50 VDC para diferentes Capacitâncias, ambiente S <sub>F</sub> , utilizando versão F. ....	<b>275</b>
Tabela A.14 - Taxas de falhas para Capacitor de Tântalo não Sólido com 60 VDC para diferentes Capacitâncias, ambiente S <sub>F</sub> , utilizando versão F. ....	<b>276</b>

Tabela A.15 - Taxas de falhas para Capacitor de Tântalo não Sólido com 100 VDC para diferentes Capacitâncias, ambiente $S_F$ , utilizando versão F.....	<b>277</b>
Tabela A.16 - Taxas de falhas para Capacitor de Tântalo não Sólido com 50 VDC para diferentes Capacitâncias, ambiente $A_{IC}$ , utilizando versão F.....	<b>278</b>
Tabela A.17- Taxas de falhas para Capacitor de Tântalo não Sólido com 60 VDC para diferentes Capacitâncias, ambiente $A_{IC}$ , utilizando versão F.....	<b>279</b>
Tabela A.18 - Taxas de falhas para Capacitor de Tântalo não Sólido com 100 VDC para diferentes Capacitâncias, ambiente $A_{IC}$ , utilizando versão F.....	<b>279</b>
Tabela A.19 - Taxas de falhas para Capacitor de Tântalo não Sólido com 50 VDC para diferentes Capacitâncias, ambiente $G_F$ , utilizando versão F.....	<b>280</b>
Tabela A.20 - Taxas de falhas para Capacitor de Tântalo não Sólido com 60 VDC para diferentes Capacitâncias, ambiente $G_F$ , utilizando versão F.....	<b>281</b>
Tabela A.21 - Taxas de falhas para Capacitor de Tântalo não Sólido com 100 VDC para diferentes Capacitâncias, ambiente $G_F$ , utilizando versão F.....	<b>281</b>
Tabela A.22 - Taxas de falhas para Capacitor de Tântalo não Sólido com 50 VDC para diferentes Capacitâncias, ambiente $C_L$ , utilizando versão F.....	<b>282</b>
Tabela A.23 - Taxas de falhas para Capacitor de Tântalo não Sólido com 60 VDC para diferentes Capacitâncias, ambiente $C_L$ , utilizando versão F.....	<b>283</b>

Tabela A.24 - Taxas de falhas para Capacitor de Tântalo não Sólido com 100 VDC para diferentes Capacitâncias, ambiente CL, utilizando versão F. ....	<b>283</b>
Tabela A.25 - Taxas de falhas para Capacitor de Tântalo Sólido com 50 VDC para diferentes Capacitâncias, ambiente S <sub>F</sub> , utilizando versão F. ....	<b>285</b>
Tabela A.26 - Taxas de falhas para Capacitor de Tântalo Sólido com 75 VDC para diferentes Capacitâncias, ambiente S <sub>F</sub> , utilizando versão F. ....	<b>287</b>
Tabela A.27 - Taxas de falhas para Capacitor de Tântalo Sólido com 100 VDC para diferentes Capacitâncias, ambiente S <sub>F</sub> , utilizando versão F. ....	<b>289</b>
Tabela A.28 - Taxas de falhas para Capacitor de Tântalo Sólido com 50 VDC para diferentes Capacitâncias, ambiente A <sub>IC</sub> , utilizando versão F. ....	<b>290</b>
Tabela A.29 - Taxas de falhas para Capacitor de Tântalo Sólido com 75 VDC para diferentes Capacitâncias, ambiente A <sub>IC</sub> , utilizando versão F. ....	<b>291</b>
Tabela A.30 - Taxas de falhas para Capacitor de Tântalo Sólido com 100 VDC para diferentes Capacitâncias, ambiente A <sub>IC</sub> , utilizando versão F. ....	<b>292</b>
Tabela A.31 - Taxas de falhas para Capacitor de Tântalo Sólido com 50 VDC para diferentes Capacitâncias, ambiente G <sub>F</sub> , utilizando versão F. ....	<b>293</b>
Tabela A.32 - Taxas de falhas para Capacitor de Tântalo Sólido com 75 VDC para diferentes Capacitâncias, ambiente G <sub>F</sub> , utilizando versão F. ....	<b>294</b>

Tabela A.33 - Taxas de falhas para Capacitor de Tântalo Sólido com 100 VDC para diferentes Capacitâncias, ambiente $G_F$ , utilizando versão F. .....	<b>295</b>
Tabela A.34 - Taxas de falhas para Capacitor de Tântalo Sólido com 50 VDC para diferentes Capacitâncias, ambiente $C_L$ , utilizando versão F. .....	<b>296</b>
Tabela A.35 - Taxas de falhas para Capacitor de Tântalo Sólido com 75 VDC para diferentes Capacitâncias, ambiente $C_L$ , utilizando versão F. .....	<b>297</b>
Tabela A.36 - Taxas de falhas para Capacitor de Tântalo Sólido com 100 VDC para diferentes Capacitâncias, ambiente $C_L$ , utilizando versão F. .....	<b>298</b>
Tabela A.37 - Taxas de falhas para Capacitor de vidro com 300 VDC para diferentes Capacitâncias, ambiente $S_F$ , utilizando versão F.....	<b>300</b>
Tabela A.38- Taxas de falhas para Capacitor de vidro com 300 VDC para diferentes Capacitâncias, ambiente $A_{IC}$ , utilizando versão F.....	<b>301</b>
Tabela A.39 - Taxas de falhas para Capacitor de vidro com 300 VDC para diferentes Capacitâncias, ambiente $G_F$ , utilizando versão F. ....	<b>302</b>
Tabela A.40 - Taxas de falhas para Capacitor de vidro com 300 VDC para diferentes Capacitâncias, ambiente $C_L$ , utilizando versão F.....	<b>303</b>
Tabela A.41 - Taxas de falhas para resistores de filme, fixo, ambiente $S_F$ , utilizando versão F. ....	<b>305</b>
Tabela A.42 - Taxas de falhas para resistores de filme, fixo, ambiente $A_{IC}$ , utilizando versão F. ....	<b>306</b>
Tabela A.43 - Taxas de falhas para resistores de filme, fixo, ambiente $G_F$ , utilizando versão F. ....	<b>307</b>
Tabela A.44 - Taxas de falhas para resistores de filme, fixo, ambiente $C_L$ , utilizando versão F. ....	<b>309</b>

Tabela A.45 - Taxas de falhas para resistores network de filme, fixo, ambiente S <sub>F</sub> , utilizando versão F. ....	<b>310</b>
Tabela A.46 - Taxas de falhas para resistores network de filme, fixo, ambiente A <sub>IC</sub> , utilizando versão F. ....	<b>310</b>
Tabela A.47 - Taxas de falhas para resistores network de filme, fixo, ambiente G <sub>F</sub> , utilizando versão .....	<b>311</b>
Tabela A.48 - Taxas de falhas para resistores network de filme, fixo, ambiente C <sub>L</sub> , utilizando versão.....	<b>312</b>
Tabela A.49 - Taxas de falhas para conectores do tipo "Rack and Panel" em ambiente S <sub>F</sub> , utilizando versão F.....	<b>313</b>
Tabela A.50- Taxas de falhas para conectores do tipo "Rack and Panel" em ambiente A <sub>IC</sub> , utilizando versão F.....	<b>314</b>
Tabela A.51 - Taxas de falhas para conectores do tipo "Rack and Panel" em ambiente G <sub>F</sub> , utilizando versão F. ....	<b>314</b>
Tabela A.52 - Taxas de falhas para conectores do tipo "Rack and Panel" em ambiente C <sub>L</sub> , utilizando versão F.....	<b>315</b>
Tabela A.53 - Taxas de falhas para conectores do tipo "Circular" em ambiente S <sub>F</sub> , utilizando versão F. ....	<b>316</b>
Tabela A.54 - Taxas de falhas para conectores do tipo "Circular" em ambiente A <sub>IC</sub> , utilizando versão F. ....	<b>317</b>
Tabela A.55 - Taxas de falhas para conectores do tipo "Circular" em ambiente G <sub>F</sub> , utilizando versão F. ....	<b>318</b>
Tabela A.56 - Taxas de falhas para conectores do tipo "Circular" em ambiente C <sub>L</sub> , utilizando versão F. ....	<b>318</b>
Tabela A.57 - Taxas de falhas para conectores do tipo "Power" em ambiente S <sub>F</sub> , utilizando versão F. ....	<b>320</b>
Tabela A.58 - Taxas de falhas para conectores do tipo "Power" em ambiente A <sub>IC</sub> , utilizando versão F. ....	<b>321</b>

Tabela A.59 - Taxas de falhas para conectores do tipo "Power" em ambiente $G_F$ , utilizando versão F. ....	<b>321</b>
Tabela A.60 - Taxas de falhas para conectores do tipo "Power" em ambiente $C_L$ , utilizando versão F. ....	<b>322</b>
Tabela A.61 - Taxas de falhas para Diodo (Zener) de baixa frequência. ....	<b>323</b>
Tabela A.62 - Taxas de falhas para Diodo (Switching) de baixa frequência. .	<b>325</b>
Tabela A.63 - Taxas de falhas para Diodo (Schottky) de baixa frequência. ...	<b>326</b>
Tabela A.63 - Taxas de falhas para Transistor bipolar de baixa frequência. ...	<b>328</b>
Tabela A.64 - Taxas de falhas para Transistor mosfet de baixa frequência. ...	<b>329</b>
Tabela A.65 - Taxas de falhas para Transistor bipolar de alta frequência. ....	<b>331</b>
Tabela B.1 - Taxas de falhas para Capacitor Cerâmico com 50 VDC para diferentes Capacitâncias, Ambiente $S_F$ , utilizando versão N2. ....	<b>334</b>
Tabela B.2- Taxas de falhas para Capacitor Cerâmico com 100 VDC para diferentes Capacitâncias, Ambiente $S_F$ , utilizando versão N2. ....	<b>336</b>
Tabela B.3- Taxas de falhas para Capacitor Cerâmico com 200 VDC para diferentes Capacitâncias, Ambiente $S_F$ , utilizando versão N2. ....	<b>338</b>
Tabela B.4 - Taxas de falhas para Capacitor Cerâmico com 50 VDC para diferentes Capacitâncias, Ambiente $A_{IC}$ , utilizando versão N2. ....	<b>339</b>
Tabela B.5 - Taxas de falhas para Capacitor Cerâmico com 100 VDC para diferentes Capacitâncias, Ambiente $A_{IC}$ , utilizando versão N2. ...	<b>340</b>
Tabela B.6 - Taxas de falhas para Capacitor Cerâmico com 200 VDC para diferentes Capacitâncias, Ambiente $A_{IC}$ , utilizando versão N2. ....	<b>341</b>
Tabela B.7 - Taxas de falhas para Capacitor Cerâmico com 50 VDC para diferentes Capacitâncias, Ambiente $G_F$ , utilizando versão N2 ....	<b>342</b>
Tabela B.8 - Taxas de falhas para Capacitor Cerâmico com 100 VDC para diferentes Capacitâncias, Ambiente $G_F$ , utilizando versão N2 ....	<b>343</b>

Tabela B.9 - Taxas de falhas para Capacitor Cerâmico com 200 VDC para diferentes Capacitâncias, Ambiente $G_F$ , utilizando versão N2 ....	<b>344</b>
Tabela B.10 - Taxas de falhas para Capacitor Cerâmico com 50 VDC para diferentes Capacitâncias, Ambiente $C_L$ , utilizando versão N2.....	<b>345</b>
Tabela B.11 - Taxas de falhas para Capacitor Cerâmico com 100 VDC para diferentes Capacitâncias, Ambiente $C_L$ , utilizando versão N2.....	<b>346</b>
Tabela B.12 - Taxas de falhas para Capacitor Cerâmico com 200 VDC para diferentes Capacitâncias, Ambiente $C_L$ , utilizando versão N2.....	<b>347</b>
Tabela B.13 - Taxas de falhas para Capacitor de Tântalo não Sólido com 50 VDC para diferentes Capacitâncias, ambiente $S_F$ , utilizando versão N2.....	<b>348</b>
Tabela B.14 - Taxas de falhas para Capacitor de Tântalo não Sólido com 60 VDC para diferentes Capacitâncias, ambiente $S_F$ , utilizando versão N2.....	<b>349</b>
Tabela B.15 - Taxas de falhas para Capacitor de Tântalo não Sólido com 100 VDC para diferentes Capacitâncias, ambiente $S_F$ , utilizando versão N2.....	<b>350</b>
Tabela B.16 - Taxas de falhas para Capacitor de Tântalo não Sólido com 50 VDC para diferentes Capacitâncias, ambiente $A_{IC}$ , utilizando versão N2.....	<b>351</b>
Tabela B.17 - Taxas de falhas para Capacitor de Tântalo não Sólido com 60 VDC para diferentes Capacitâncias, ambiente $A_{IC}$ , utilizando versão N2.....	<b>352</b>
Tabela B.18 - Taxas de falhas para Capacitor de Tântalo não Sólido com 100 VDC para diferentes Capacitâncias, ambiente $A_{IC}$ , utilizando versão N2.....	<b>352</b>
Tabela B.19 - Taxas de falhas para Capacitor de Tântalo não Sólido com 50 VDC para diferentes Capacitâncias, ambiente $G_F$ , utilizando versão N2.....	<b>353</b>

Tabela B.20 - Taxas de falhas para Capacitor de Tântalo não Sólido com 60 VDC para diferentes Capacitâncias, ambiente $G_F$ , utilizando versão N2.....	<b>354</b>
Tabela B.21 - Taxas de falhas para Capacitor de Tântalo não Sólido com 100 VDC para diferentes Capacitâncias, ambiente $G_F$ , utilizando versão N2.....	<b>354</b>
Tabela B.22 - Taxas de falhas para Capacitor de Tântalo não Sólido com 50 VDC para diferentes Capacitâncias, ambiente $C_L$ , utilizando versão N2.....	<b>355</b>
Tabela B.23 - Taxas de falhas para Capacitor de Tântalo não Sólido com 60 VDC para diferentes Capacitâncias, ambiente $C_L$ , utilizando versão N2.....	<b>356</b>
Tabela B.24 - Taxas de falhas para Capacitor de Tântalo não Sólido com 100 VDC para diferentes Capacitâncias, ambiente $C_L$ , utilizando versão N2.....	<b>356</b>
Tabela B.25 - Taxas de falhas para Capacitor de Tântalo Sólido com 50 VDC para diferentes Capacitâncias, ambiente $S_F$ , utilizando versão N2. ....	<b>358</b>
Tabela B.26 - Taxas de falhas para Capacitor de Tântalo Sólido com 75 VDC para diferentes Capacitâncias, ambiente $S_F$ , utilizando versão N2. ....	<b>360</b>
Tabela B.27 - Taxas de falhas para Capacitor de Tântalo Sólido com 100 VDC para diferentes Capacitâncias, ambiente $S_F$ , utilizando versão N2. ....	<b>362</b>
Tabela B.28 - Taxas de falhas para Capacitor de Tântalo Sólido com 50 VDC para diferentes Capacitâncias, ambiente $A_{IC}$ , utilizando versão F. ....	<b>363</b>

Tabela B.29 - Taxas de falhas para Capacitor de Tântalo Sólido com 75 VDC para diferentes Capacitâncias, ambiente $A_{IC}$ , utilizando versão N2. .....	<b>364</b>
Tabela B.30 - Taxas de falhas para Capacitor de Tântalo Sólido com 100 VDC para diferentes Capacitâncias, ambiente $A_{IC}$ , utilizando versão N2. .....	<b>365</b>
Tabela B.31 - Taxas de falhas para Capacitor de Tântalo Sólido com 50 VDC para diferentes Capacitâncias, ambiente $G_F$ , utilizando versão F. .....	<b>366</b>
Tabela B.32 - Taxas de falhas para Capacitor de Tântalo Sólido com 75 VDC para diferentes Capacitâncias, ambiente $G_F$ , utilizando versão N2. .....	<b>367</b>
Tabela B.33 - Taxas de falhas para Capacitor de Tântalo Sólido com 100 VDC para diferentes Capacitâncias, ambiente $G_F$ , utilizando versão N2. .....	<b>368</b>
Tabela B.34 - Taxas de falhas para Capacitor de Tântalo Sólido com 50 VDC para diferentes Capacitâncias, ambiente $C_L$ , utilizando versão F. .....	<b>369</b>
Tabela B.35 - Taxas de falhas para Capacitor de Tântalo Sólido com 75 VDC para diferentes Capacitâncias, ambiente $C_L$ , utilizando versão N2. .....	<b>370</b>
Tabela B.36 - Taxas de falhas para Capacitor de Tântalo Sólido com 100 VDC para diferentes Capacitâncias, ambiente $C_L$ , utilizando versão N2. .....	<b>371</b>
Tabela B.37 - Taxas de falhas para Capacitor de vidro com 300 VDC para diferentes Capacitâncias, ambiente $S_F$ , utilizando versão N2. ....	<b>373</b>
Tabela B.38 - Taxas de falhas para Capacitor de vidro com 300 VDC para diferentes Capacitâncias, ambiente $A_{IC}$ , utilizando versão N2. ...	<b>374</b>

Tabela B.39 -Taxas de falhas para Capacitor de vidro com 300 VDC para diferentes Capacitâncias, ambiente $G_F$ , utilizando versão N2. ....	<b>375</b>
Tabela B.40 - Taxas de falhas para Capacitor de vidro com 300 VDC para diferentes Capacitâncias, ambiente $C_L$ , utilizando versão N2. ....	<b>376</b>
Tabela B.41 - Taxas de falhas para resistores de filme, fixo, ambiente $S_F$ , utilizando versão N2.....	<b>378</b>
Tabela B.42 - Taxas de falhas para resistores de filme, fixo, ambiente $A_{IC}$ , utilizando versão N2.....	<b>380</b>
Tabela B.43 - Taxas de falhas para resistores de filme, fixo, ambiente $G_F$ , utilizando versão N2.....	<b>381</b>
Tabela B.44 - Taxas de falhas para resistores de filme, fixo, ambiente $C_L$ , utilizando versão N2.....	<b>383</b>
Tabela B.45 - Taxas de falhas para Resistor Network de Filme para dois perfis em ambiente $S_F$ , utilizando versão N2. ....	<b>384</b>
Tabela B.46 - Taxas de falhas para Resistor Network de Filme para dois perfis em ambiente $A_{IC}$ , utilizando versão N2. ....	<b>385</b>
Tabela B.47 - Taxas de falhas para Resistor Network de Filme para dois perfis em ambiente $G_F$ , utilizando versão N2. ....	<b>386</b>
Tabela B.48 - Taxas de falhas para Resistor Network de Filme para dois perfis em ambiente $C_L$ , utilizando versão N2. ....	<b>386</b>



## LISTA DE SIGLAS E ABREVIATURAS

ASSIST	- Acquisition Streamlining and Standardization Information System
DoD	- Department of Defense
DSPO	- Defense Standardization Program Office
ECSS	- European Cooperation for Space Standardization
EEPROM	- Electrically-Erasable Programmable Read-Only Memory
EPSMA	- European Power Supply Manufacturers Association
ER	- Established Reliability
EUA	- Estados Unidos da América
Fdp	- Função densidade de probabilidade
IAC	- Information Analysis Center
IEEE	- Institute of Electrical and Electronic Engineers
IEEE 1413	- Standard Framework for Reliability Prediction of Hardware
IEEE-RS	- IEEE Reliability Society
IEEE-RS-SC	- Reliability Society Standards Committee
INPE	- Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais
MIL-HDBK-217	- Reliability Prediction for Electronic Systems
MTBF	- Mean Time Between Failures
MTTF	- Mean Time To Failure
NSWC	- Naval Surface Warfare Center
RAC	- Reliability Analysis Center
RCA	- Reliability Stress Analysis for Electronic Equipment
RIAC	- Reliability Information Analysis Center
SAE	- Society of Automotive Engineers



# SUMÁRIO

	<b><u>Pág.</u></b>
<b>1. INTRODUÇÃO .....</b>	<b>1</b>
1.1. Contexto.....	1
1.2. Motivação .....	1
1.3. Objetivo .....	4
1.4. Organização do Trabalho.....	5
<b>2. CONCEITOS BÁSICOS E REVISÃO BIBLIOGRÁFICA.....</b>	<b>9</b>
2.1. Breve Histórico de Confiabilidade.....	9
2.2. Dependabilidade.....	12
2.3. Confiabilidade .....	14
2.3.1. Curva de Falhas .....	17
2.3.2. Modelagem Matemática de Confiabilidade .....	20
2.3.3. A Confiabilidade do Sistema.....	24
2.3.4. Distribuições de Probabilidades Associadas à Confiabilidade.....	27
2.3.4.1. A Distribuição de Probabilidade Weibull.....	28
2.3.4.2. A Distribuição de Probabilidade Exponencial .....	32
2.3.4.3. A Distribuição de Probabilidade Normal .....	33
2.3.4.4. A Distribuição de Probabilidade Log-Normal .....	33
2.4. A Predição de Confiabilidade Através do Manual de Confiabilidade MIL HDBK 217.....	34
2.5. A Finalidade de Predição de Confiabilidade Segundo MIL-HDBK-217 ....	35
<b>3. ANÁLISE DO MANUAL MIL-HDBK-217 .....</b>	<b>39</b>
3.1. Apresentação do Manual .....	39
3.2. Métodos adotados pela MIL HDBK 217 .....	42
3.2.1. Método: Contagem de Partes (“Parts Count”).....	42
3.2.2. Método: Análise de Esforços (“Parts Stress”).....	44

3.3.	Fatores de Correção .....	47
3.4.	As revisões do Manual MIL HDBK 217 .....	52
3.4.1	Apresentação da Versão HDBK 217 F .....	53
3.4.2	Apresentação da HDBK 217 F Notice 1 .....	55
3.4.3	Apresentação da HDBK 217 F Notice 2 .....	55
<b>4.</b>	<b>COMPARAÇÃO ENTRE AS VERSÕES DA FAMÍLIA F DO MANUAL MIL-HDBK-217 .....</b>	<b>57</b>
4.1.	Comparação e Levantamento de Diferenças entre as Versões do Manual MIL HDBK 217 .....	62
4.2.	Análise das Mudanças Mencionadas.....	122
<b>5.</b>	<b>APLICAÇÕES DO MANUAL MIL-HDBK-217 ATRAVÉS DE ESTUDOS DE CASOS .....</b>	<b>131</b>
5.1.	Escolha dos Estudos de Casos .....	131
5.2.	Estudos de Casos com Capacitores .....	135
5.2.1	Hipóteses Adotadas para os Cálculos e Comparações.....	135
5.2.2	Estudo de Caso: Capacitor do tipo “ <i>Fixed, Ceramic, Dielectric</i> ”.....	136
5.2.2.1	Valores Capacitância e Condições de Tensões Adotadas.....	137
5.2.2.2	Resultados da Comparação para Capacitor Cerâmico.....	138
5.2.3	Estudo de Caso: Capacitor do Tipo “ <i>Fixed, Electrolytic, Tantalum, non- solid</i> ” 143	
5.2.3.1	Valores de Capacitância e Condições Tensões Adotadas.....	145
5.2.3.2	Resultados da Comparação Capacitor de Tântalo não Sólido .....	145
5.2.4	Estudo de caso: Capacitor do tipo “ <i>fixed, electrolytic, tantalum, solid</i> ”... 149	
5.2.4.1	Valores de Capacitância e Condições de Tensões Adotadas .....	150
5.2.4.2	Resultados da Comparação para Capacitor de Tântalo Sólido.....	151
5.2.5	Estudo de Caso: Capacitor do Tipo “ <i>Fixed, Glass</i> ”.....	156
5.2.5.1	Resultados da Comparação para Capacitores de Vidro.....	157
5.3.	Estudos de Casos com Resistores.....	160
5.3.1	Hipóteses Adotadas para os Cálculos e Comparações.....	160

5.3.2	Estudo de Caso: Resistor do Tipo “ <i>Resistors, Fixed, Film (High Stability)</i> ”	161
5.3.2.1	Resultados da Comparação para Resistor Fixos De Metal Filme .....	163
5.3.3	Estudo de Caso: Rede de Resistores Tipo Filme Fixo “ <i>Resistors, Network, Fixed, Film</i> ” .....	166
5.3.3.1	Resultados da comparação para Rede de Resistores Tipo Filme Fixo..	168
5.4.	Estudos de Casos com Conectores .....	173
5.4.1	Hipóteses Adotadas para os Cálculos e Comparações .....	173
5.4.2	Estudo de Caso: Conector do Tipo “ <i>Rack and panel</i> ” .....	173
5.4.3	Estudo de Caso: Conector do Tipo “ <i>Circular/cylindrical</i> ” .....	175
5.4.3	Estudo de Caso: Conector do Tipo “ <i>Power</i> ” .....	177
5.4.5	Resultados Gerais para Conectores .....	178
5.4.5.1	Resultados da Comparação para Conector do Tipo “Rack and Panel” com o Uso de “ <i>Savers</i> ” .....	181
5.4.5.2	Resultados da Comparação para Conector do Tipo “Circular” com o Uso de <i>Savers</i>	184
5.4.5.3	Resultados da Comparação para Conector do Tipo “Power” com o Uso de <i>Savers</i>	186
5.4.5.4	Resultados da Comparação para Conectores Sem o Uso de “ <i>Savers</i> ”.	191
<b>6.</b>	<b>APLICAÇÃO DO MANUAL PARA SEMICONDUTORES .....</b>	<b>195</b>
6.1.	Diodos .....	195
6.1.2	Hipóteses Adotadas para os Cálculos de Diodos .....	197
6.1.3	Diodes, “ <i>Low Frequency</i> ” (seção 6.1 – versão F ou N2) .....	198
6.1.4	Diodes, “ <i>High Frequency</i> ” (seção 6.2 – versão F ou N2) .....	199
6.1.5	Resultados.....	199
6.2.	Transistores.....	202
6.2.1	Hipóteses Adotadas para os Cálculos de Transistores.....	203
6.2.2	Transistors, “ <i>Low Frequency, Bipolar</i> ” (seção 6.3 – versão F ou N2) ....	204
6.2.3	Transistors, “ <i>Low Frequency, SI FET</i> ” (seção 6.4 – versão F ou N2) ....	205
6.2.4	Transistors, “ <i>Low Noise, High Frequency, Bipolar</i> ” (seção 6.6 – versão F ou N2)	205
6.2.5	Resultados.....	206

<b>7.</b>	<b>A NORMA 217PLUS™</b> .....	<b>209</b>
7.1.	Apresentação de 217PLUS™ .....	209
7.2.	Modelagem Matemática - Definição de fatores e constantes .....	216
7.2.1.	O Fator $\lambda_{IA, predecessor}$ .....	222
7.2.2.	O Fator $\lambda_{observed, predecessor}$ .....	222
7.2.3.	Dados Opcionais .....	223
7.2.4.	O Fator $\lambda_{predicted, predecessor}$ .....	223
7.2.5.	O Fator $\lambda_{IA, new}$ .....	223
7.2.6.	O Fator $\lambda_{predicted, new}$ .....	224
7.2.7.	O Fator $\lambda_1$ .....	224
7.2.8.	O Fator $a_i$ .....	225
7.2.9.	O Fator $b_i$ .....	225
7.2.10.	O Fator $AF_i$ .....	226
7.2.11.	O Fator $b_i'$ .....	227
7.2.12.	O Fator $a_0$ .....	227
7.2.13.	O Fator $\lambda_2$ .....	227
7.2.14.	A Adequação da Constante Baysiana $a_0$ na Equação de $\lambda_2$ .....	228
7.2.15.	Constantes Globais .....	231
7.3.	Comentários Sobre os Níveis de Qualidade dos Componentes .....	231
<b>8.</b>	<b>COMPARAÇÃO ENTRE MIL-HDBK-217 E 217PLUSTM</b> .....	<b>233</b>
8.1.	MIL-HDBK-217 Versus 217PLUS™ .....	233
<b>9.</b>	<b>A FUTURA ATUALIZAÇÃO DA NORMA MIL-HDBK-217</b> .....	<b>239</b>
9.1	Atualização da Versão MIL-HDBK -217 F Notice 2 para MIL-HDBK G..	239
9.2	Fase I e II da Atualização .....	242
9.3	Estado Atual da Atualização MIL-HDBK-217 G .....	245
<b>10</b>	<b>RECOMENDAÇÕES PARA MELHORIA DE PROCESSOS DO INPE</b> .....	<b>247</b>

<b>11</b>	<b>CONCLUSÃO .....</b>	<b>249</b>
11.1	Conclusões Gerais .....	249
11.2	Principais Dificuldades ou Problemas.....	253
11.3	Trabalhos Futuros .....	253

<b>REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS .....</b>	<b>255</b>
---	------------

**APENDICE A - CÁLCULOS DAS TAXAS DE FALHAS DE COMPONENTES  
PELA VERSÃO MIL HDBK 217 F .....**

A 1 – Capacitor Fixo Cerâmico, Uso Geral (MIL HDBK 217 F - seção 10.10) .....	261
A 2 - Capacitor Fixo, Eletrolítico, Tantâlo Não-Sólido (MIL HDBK 217 F – seção 10.13) .....	274
A 3 - Capacitor Fixo, Eletrolítico, Tantâlo, Sólido (MIL HDBK 217 F – seção 10.12) .....	284
A 4 - Capacitor Fixo de Vidro (MIL HDBK 217 F – seção 10.9).....	298
A 5 - Resistor Fixo de Filme (MIL HDBK 217 F – seção 9.2).....	304
A 6 - Rede de Resistores Tipo Filme Fixo (MIL HDBK 217 F – seção 9.4) .....	309
A 7 – Conector do Tipo “ <i>Rack and Panel</i> ” (MIL HDBK 217 F – seção 15.1).....	312
A 8 - Conector do Tipo Circular (MIL HDBK 217 F – seção 15.1).....	315
A 9 - Conector do Tipo “ <i>Power</i> ” (MIL HDBK 217 F – seção 15.1).....	319
A 10 – Semicondutores – Diodos, Baixa Frequência (MIL HDBK 217 F – seção 6.1) .....	322
A 11 – Semicondutores – Diodos, Alta Frequência (Microwave, RF) - (MIL HDBK 217 F – seção 6.2) .....	325
A 12 – Semicondutores – Transistor, Baixa Frequência, Bipolar (MIL HDBK 217 F – seção 6.3) .....	327
A 13 – Semicondutores – Transistor, Baixa Frequência, SI FET (MIL HDBK 217 F – seção 6.4).....	328
A 14 – Semicondutores – Transistor, Baixo Ruído, Alta Frequência, Bipolar (MIL HDBK 217 F – seção 6.6) .....	330

**APENDICE B - CÁLCULOS DAS TAXAS DE FALHAS DE COMPONENTES  
PELA VERSÃO MIL HDBK 217 F N2 .....**

B 1 – Capacitor Cerâmico (MIL HDBK 217 F N2 - seção 10.1).....	333
B.2 – Capacitor Fixo, Eletrolítico, Tantâlo Não-Sólido (MIL HDBK 217 F N2– seção 10.1).....	347
B.3 – Capacitor Fixo, Eletrolítico, Tantâlo, Sólido (MIL HDBK 217 F N2 – seção 10.1) .....	357
B.4 – Capacitor Fixo de Vidro (MIL HDBK 217 F N2– seção 10.1).....	371
B 5 – Resistor Fixo de Filme (MIL HDBK 217 F N2 – section 9.1).....	377
B 6 - Rede de Resistores Tipo Filme Fixo (MIL HDBK 217 F – seção 9.1) .....	383
B 7 – Conector do Tipo “ <i>Rack and Panel</i> ” (MIL HDBK 217 F (Notice 2) - seção 15.1) .....	387
B 8 – Conector do Tipo “ <i>Circular/Cylindrical</i> ” (MIL HDBK 217 F (Notice 2) - section 15.1).....	389
B 9 – Conector do Tipo “ <i>Power</i> ” (MIL HDBK 217 F (Notice 2) - seção 15.1) .....	391

.

# **1. INTRODUÇÃO**

## **1.1. Contexto**

Há algum tempo, projetar um equipamento confiável era selecionar de forma adequada os componentes e utilizá-los de acordo com as recomendações do fabricante, sem considerar as inúmeras variáveis existentes e propícias a falhas. Com a evolução da tecnologia, evidenciou-se a grande necessidade de se prever falhas nos componentes utilizados em produtos pois, cada vez mais, as organizações realizam operações em ambientes de alto risco. Um exemplo disso são os sistemas de satélites, aviões, automóveis e controles de tráfego aéreo que estão se tornando cada vez mais complexos e altamente integrados. Integrando várias tecnologias e operando em ambientes exigentes, muitas vezes sem a opção de manutenção, e realizando funções de maior complexidade, tais sistemas demandam um uso maior de memórias ou funcionalidades.

No setor espacial fatores como evolução tecnológica, a complexidade de sistemas e a alta integração contribuem para o aumento da suscetibilidade dos sistemas às características do ambiente aeroespacial; acarretando a necessidade de se conhecê-los melhor e tomar ações no sentido de minimizar os riscos à missão inerentes.

## **1.2. 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 a 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 Manuais de Confiabilidade.

Os Padrões e Manuais 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 vários aperfeiçoamentos através das várias versões: A, B, C, D, E, F, F Notice 1 e F Notice 2. Com base em levantamento bibliográfico e nos manuais da série MIL-HDBK-217, este trabalho pretende ao final mostrar uma análise, comparação e discutissão de melhorias de processos de confiabilidade.

A principal 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 falhas de conectores através dos Manuais 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 falhas, já na versão F N2 esta informação não é considerada. Para os conectores analisados houve um nivelamento entre as versões E e F N2. Tal nivelamento constitui uma espécie de nível teto para a taxa de falhas, porém se considerarmos os conectores “Rectangular” que pode chegar a 125 pinos e utilizar um com número de pinos inferior a 125, 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 N2 é perceptível uma discrepância significativa (ver Figura 1.1). Isso gera uma série de questionamentos, pois essa não é a única mudança, existem outras e quais são elas, quais os impactos?

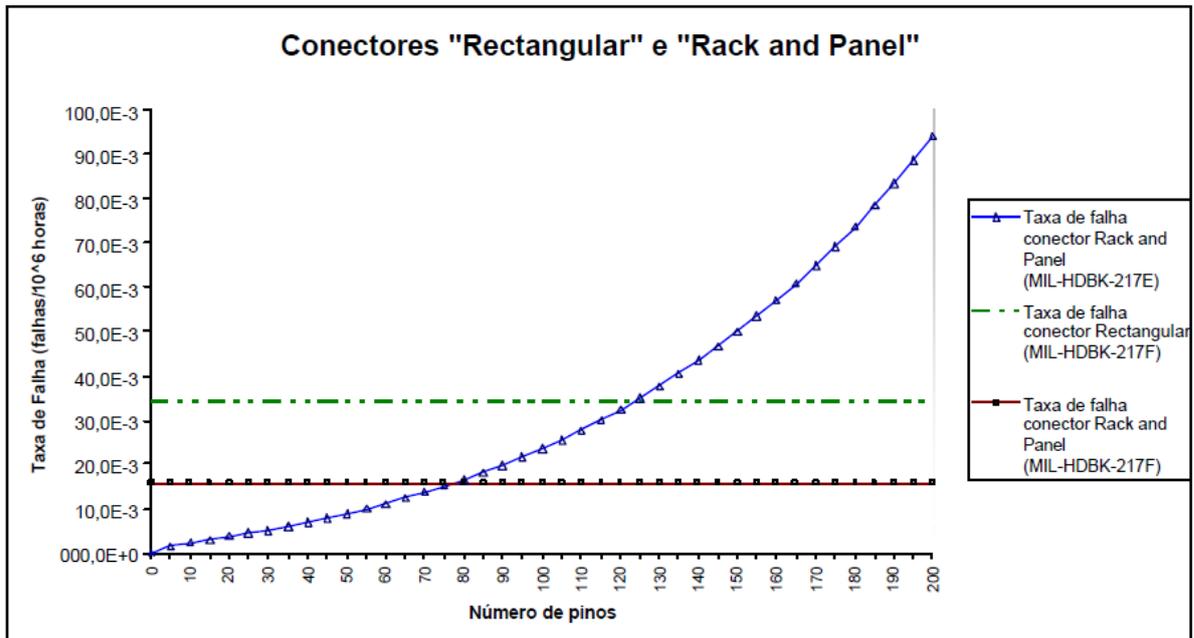


Figura 1.1 - Variação da taxa de falhas dos conectores dos tipos "Rectangular" e "Rack and Panel" versus número de pinos ativos.  
 Fonte: Rabello e Souza (2011)

### 1.3. Objetivo

O objetivo deste estudo é a análise e comparação dos manuais de predição de confiabilidade MIL HDBK-217 F, F NOTICE 1 e F NOTICE 2, visando a melhoria de processos de confiabilidade de circuitos eletrônicos espaciais. Expressa com os seguintes objetivos específicos:

- 1) Estudo de conceitos relativos a confiabilidade, estudo de falhas, fazendo o levantamento de conceitos importantes e relevantes.
- 2) Estudo do manual da família MIL-HDBK-217F.
  - a. Levantamento de informações do manual, ferramentas, metodologias adotadas, etc. Sobre tudo semelhanças e diferenças entre as versões MIL HDBK-217 F, F NOTICE 1 e F NOTICE 2;

- b. Estudo dessas mudanças através do levantamento das diferenças no cálculo da confiabilidade pelas três versões do manual.
- 3) Estudo de caso:
- a. Seleção de um ou mais componentes eletrônicos e levantamento das diferenças para eles, no cálculo da confiabilidade pelas três versões do manual;
  - b. Comparação dos resultados obtidos pelo cálculo de confiabilidade pelas versões analisadas;
  - c. Estudo dos impactos causados pelas diferenças no cálculo da confiabilidade pelas três versões do manual.
  - d.

#### **1.4. Organização do Trabalho**

O primeiro capítulo destina-se à introdução ao tema que serve de motivação à concepção da presente dissertação e à enumeração dos objetivos que se pretendem alcançar.

No segundo capítulo, a princípio apresenta-se um resumo histórico da evolução da confiabilidade, iniciando na década de 40 aos dias atuais. Enfatizando os principais pontos, como o surgimento da disciplina Dependabilidade e a grande contribuição da elaboração de um padrão para a análise da confiabilidade, o manual MIL HDBK 217. Esse capítulo prossegue com definições de conceitos básicos relativos à confiabilidade, incluindo fatores que influenciam a sua definição, assim como a forma de representação da confiabilidade de componentes eletrônicos. Destaca a apresentação do manual militar MIL HDBK

217 e a necessidade e finalidade de se prever a confiabilidade segundo esse padrão.

O capítulo 3 aborda uma análise do padrão MIL HDBK 217, apresentando de forma mais clara e detalhada o seu surgimento, as versões, a modelagem matemática e seus métodos de predição de confiabilidade de componentes eletrônicos. Aqui é apresentado de forma sucinta os tópicos de mudanças entre as versões.

Todas as mudanças e alterações entre as versões analisadas neste trabalho são declaradas no capítulo 4. Esse capítulo aborda uma comparação minuciosa das versões F, N1 e N2 do manual MIL HDBK 217.

A fim de melhorar a análise e interpretar algumas das alterações, o capítulo 5 apresenta estudos de casos para componentes eletrônicos. Esse capítulo apresenta a comparação dos cálculos de taxas de falhas para os componentes eletrônicos que passaram por mudanças significativas entre as versões. Compara taxas de falhas para capacitores, conectores e resistores.

O manual MIL HDBK 217 não apresentou mudanças significativas para semicondutores com as atualizações F, N1 e N2. Dessa forma, o capítulo 6 apresenta uma pequena análise com cálculos de taxas de falhas de alguns tipos de diodos e transistores que são os componentes semicondutores mais utilizados, a fim de complementar a análise do manual e ressaltar quais são os parâmetros utilizados na metodologia adotada para os semicondutores.

O capítulo 7 apresenta outro manual, o 217PLUS™, que foi elaborado com o intuito de substituir o padrão analisado. Este capítulo expõe um histórico, sobre o que antecede esse manual, a elaboração do mesmo, suas características e modelagem, levantando informações sobre sua metodologia e fatores utilizados.

Com um manual elaborado para a substituição da MIL HDBK 217, embora não tenha substituído, o capítulo 8 explora uma breve comparação dos dois manuais, com base em elementos bibliográficos sem muitos aprofundamentos.

O capítulo 9 apresenta as informações sobre o processo de atualização da MIL HDBK 217, a promessa de uma nova versão denominada como versão G. Uma atualização que promete mudanças e que já está em atraso em seu lançamento.

Finalizando, no capítulo 10 são apresentadas as conclusões a respeito deste trabalho, as recomendações para melhorias de processos do INPE, as principais dificuldades encontradas na realização deste trabalho e direções para trabalhos futuros. Em seguida, temos as referências bibliográficas que subsidiaram a execução desta dissertação e as referências que julgo importantes e recomendo ao leitor.

Os cálculos das taxas de falhas realizados pelas versões do manual MIL HDBK 217 podem ser encontrados com detalhes nos apêndices A e B.



## **2. CONCEITOS BÁSICOS E REVISÃO BIBLIOGRÁFICA**

Este capítulo apresenta um breve histórico sobre a evolução da confiabilidade, alguns conceitos básicos e uma revisão bibliográfica com o intuito de uniformizar a terminologia e conceitos utilizados. 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. Breve Histórico de Confiabilidade**

Segundo Villemeur (1992), os aspectos referentes a confiabilidade e a segurança eram muito intuitivos antes da década de 40 e se limitavam a componentes mecânicos. Os profissionais utilizavam a experiência e o aprendizado dos desenvolvedores. No entanto, foi nessa década que as primeiras ferramentas e modelos de confiabilidade surgiram, na Alemanha, durante o desenvolvimento do projeto do míssil V1. O que se esperava era que a confiabilidade de um sistema, dentro de certa extensão, seria igual à média da confiabilidade de todas as partes constituintes desse sistema. Para confirmar essa teoria realizaram testes que, por sua vez revelaram, na verdade, que a confiabilidade do sistema era muito pior que a sua média.

Villemeur (1992) complementa através de demonstrações matemáticas, nasceu então, a fórmula de confiabilidade para sistemas em série, conhecida como Lei de Lusser, que diz que a confiabilidade dos componentes deve exceder em muito a confiabilidade requerida para o sistema.

Durante a Segunda Guerra Mundial iniciou uma preocupação maior quanto a confiabilidade dos sistemas desenvolvidos, com necessidade ascendente dos dispositivos e sistemas funcionarem sem falhas. Este período foi o advento da

disciplina de engenharia de confiabilidade. Esclarecendo que, a disciplina emergente estava usando vários métodos diferentes para alcançar sua meta de maior confiabilidade. Uma delas foi a identificação das causas de falhas de campo e determinação de ações de mitigação. Outra foi a especificação de requisitos quantitativos de confiabilidade. Essa especificação de requisitos, por sua vez levou ao desejo de ter um meio de estimar a confiabilidade antes do equipamento ser construído e testado, para que a probabilidade de alcançar sua meta de confiabilidade pudesse ser estimada. Com tais fatos, se iniciou a predição de confiabilidade. (VILLEMEUR, 1992; DENSON, 1998)

A década de 50 e 60 foi marcada por muitos trabalhos pioneiros. Foi nessas décadas que foi desenvolvido uma variedade de esforços para melhorar a confiabilidade de dispositivos através de coleta de dados e design. Nesse período foi estabelecido e desenvolvido programas de confiabilidade, simpósios dedicados à qualidade e confiabilidade de engenharia, técnicas estatísticas de desenvolvimento, como o uso da distribuição Weibull e manuais militares que forneceram orientações sobre a aplicação confiável de componentes eletrônicos. (VILLEMEUR, 1992; DENSON, 1998)

De acordo com Villemeur (1992), os anos seguintes, representando a década de 60 foram marcados pela incrível multiplicação das publicações e livros acerca dos problemas de confiabilidade. Em 1965, o conceito de *manutenibilidade* foi criado graças à preocupação com os crescentes custos de manutenção dos cada vez mais sofisticados sistemas eletrônicos e, também, pelos custos de *indisponibilidade* desses equipamentos quando eles não podiam mais cumprir as funções para as quais foram designados.

Em 1965, foi emitido o padrão MIL HDBK 217, que se tornou rapidamente o padrão pelo qual as previsões de confiabilidade foram realizadas, e outras fontes de taxas de falha desapareceram gradualmente. Parte da razão para o desaparecimento de outras fontes foi o fato de MIL HDBK 217 ser um

documento de defesa contratualmente citados, muitas vezes as empresas não tinham opção de usar outras fontes de dados.

A década de 70 deu início aos primeiros estudos sobre a confiabilidade de software. Foram introduzidas novas técnicas nas indústrias de bens de consumo com o objetivo de melhorar a qualidade e a confiabilidade dos seus produtos. Nas indústrias japonesas surgem os primeiros círculos da qualidade, visando primeiramente à solução de problemas relacionados à qualidade, segurança, produtividade e condições de trabalho. Atualizações do manual MIL HDBK 217 sugeriram nessa década. (VILLEMEUR, 1992; DENSON, 1998).

Segundo Villemeur (1992) entre as décadas de 70 e 80 os engenheiros passaram a englobar à suas preocupações e esforços os conceitos de *manutenibilidade* e *disponibilidade*, o que levou ao surgimento de uma nova disciplina na engenharia: a *Dependabilidade*.

Denson (1998) declara que a década de 80 se destacou pelo desenvolvimento de modelos de predição de confiabilidade, a fim de suprir às necessidades da indústria, como, por exemplo, a SAE (*Society of Automotive Engineers*), que estabeleceu um conjunto de modelos específicos para a eletrônica automotiva, pois ele acreditava que não existia nenhuma metodologia que se aplicasse para o nível específico de qualidade e ambiente das aplicações automotivas.

Ao longo da década de 90, levantou-se uma grande discussão sobre a forma de aquisição dos dados. Não somente nessa década, pode-se dizer que essa discussão permanece até os dias de hoje. A premissa dos métodos tradicionais, como por exemplo, o manual MIL HDBK 217, é de que a taxa de falha é determinada primeiramente pelos componentes que compõem o sistema. Nas décadas de 60 e 70 essa premissa era razoável, pois os componentes possuíam alto índice de falhas e os sistemas não eram tão complexos como os atuais. O aumento da complexidade dos sistemas e da qualidade dos componentes transferiu as causas de falhas dos sistemas para

fatores que incluem o design, requisitos do sistema, interfaces e softwares. Fatores que não são modelados pela MIL HDBK 217. (DENSON, 1998).

Segundo Denson (1998), ao longo dos anos, vários críticos da MIL HDBK 217 se manifestaram, alguns se queixaram sobre a sua utilidade, outros a declaram como um método eficaz para avaliar a confiabilidade. Embora os críticos alegam que é imprecisa e cara, até à data não há substituto viável no domínio público.

## 2.2. 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** 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.

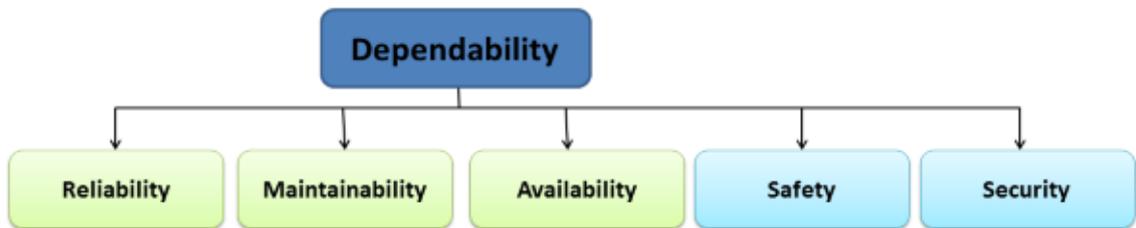


Figura 2.1 - Principais atributos da Dependabilidade.

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*). (LAFRAIA, 2001)

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

- **Manutenibilidade:** A probabilidade de um sistema ou dispositivo ser retido na, ou restaurado para a condição operacional em um intervalo de tempo específico com recursos e procedimentos prescritos (SOUZA e CARVALHO, 2005).
- **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.

- **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.

### 2.3. Confiabilidade

A **confiabilidade** é uma característica historicamente buscada por projetistas e construtores de todos os tipos de sistemas. O que há de novo na segunda metade do século XX é o movimento para quantificar a Confiabilidade. É um movimento similar, e provavelmente tão importante quanto o movimento de séculos atrás para quantificar as propriedades dos materiais (JURAN, 1991).

IEEE (2012) apresenta uma definição da disciplina confiabilidade “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 mais bem 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”. Em termos de variável aleatória  $t$ , o tempo até ocorrer a falha, e da correspondente função densidade de probabilidade (fdp) de ocorrência de falha  $f(t)$ , tem-se que a probabilidade de falha, em um intervalo de tempo específico pode ser definido pela relação:

$$f(t)\Delta t = P\{t < \mathbf{t} < t + \Delta t\} \quad (2.1)$$

Sendo  $F(t)$  a função de probabilidade acumulada, temos:

$$F(t) = P\{t < \mathbf{t}\} \quad (2.2)$$

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

Um componente ou equipamento pode admitir um de dois estados, ou está operando adequadamente ou está no estado de falha, esses eventos são mutuamente exclusivos, logo a confiabilidade  $R$  pode ser expressa por:

$$R(t) = P\{t < \mathbf{t}\} \quad (2.3)$$

$$R(t) = 1 - F(t) \quad (2.4)$$

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

$$R(t = 0) = 1 \quad (2.5)$$

$$R(t = \infty) = 0 \quad (2.6)$$

Como decorrência da Figura 2.2, pode-se afirmar que a confiabilidade de um sistema decai ao longo do tempo, quanto maior o tempo de operação maior será a probabilidade do sistema apresentar falha. No instante em que o sistema é colocado para o funcionamento este tem a máxima confiabilidade.

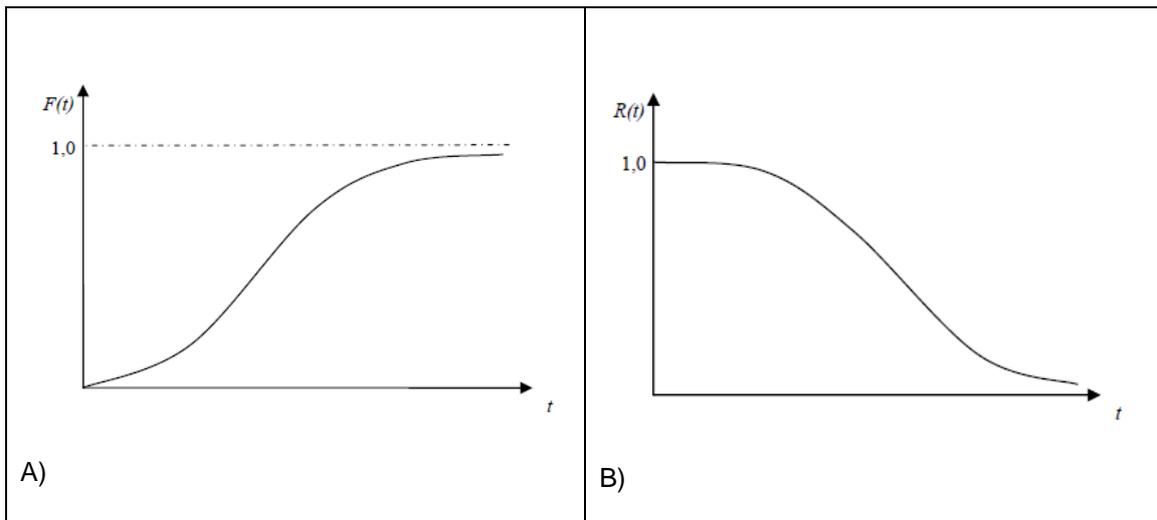


Figura 2.2 – A) Função de Probabilidade Acumulada (F(t)) B). Função de Confiabilidade (R(t))

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. (LAFRAIA, 2001)

### 2.3.1. Curva de Falhas

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”.

De acordo com Felix (2006) “essa Taxa de falhas  $\lambda(t)$  pode ser definida em termos da própria confiabilidade, sendo  $\lambda(t) \Delta t$  a probabilidade de que o sistema falhará em um tempo  $t < t + \Delta t$ , dado que ainda não falhou até o tempo  $t = t$ , tem-se que  $\lambda(t) \Delta t$  é a probabilidade condicional abaixo indicada:”

$$\lambda(t)\Delta t = P\{t < t + \Delta t \mid t > t\} \quad (2.7)$$

Com base na definição de probabilidade condicional, obtém-se:

$$P\{t < t + \Delta t \mid t > t\} = P\{(t > t) \cap (t < t + \Delta t)\} / P(t > t) \quad (2.8)$$

Substituindo as equações 2.1, 2.3 e 2.8 em 2.7, tem-se:

$$\lambda(t) = f(t)/R(t) \quad (2.9)$$

A taxa de falhas dos produtos ao longo do tempo de um componente ou sistema é modelada de uma maneira geral pela **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 2.3.

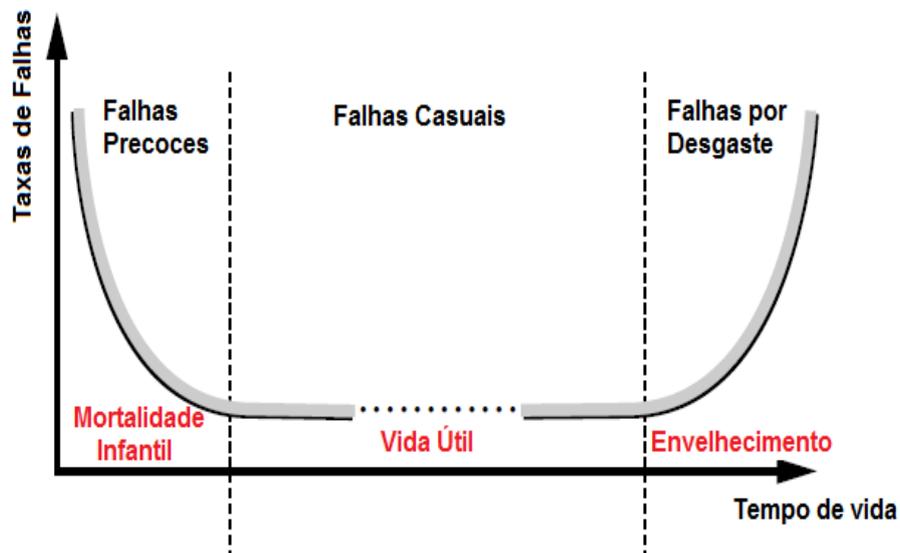


Figura 2.3 - Curva da banheira.

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.

A **Fase II** denomina-se *Fase 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.

### **2.3.2. Modelagem Matemática de Confiabilidade**

O modelo matemático mais comum para se determinar a confiabilidade de um equipamento ou componente é baseado na taxa de falhas constante (eq. 2.10), equivalente ao modelo de distribuição exponencial, onde não se considera a possibilidade do componente falhar devido à infância ou ao desgaste. Um outro modelo muito utilizado é o modelo da distribuição weibull mono-paramétrica, que também é exponencial, pois é quando seu parâmetro de posição, localização ( $\gamma$ ) é nulo e o seu parâmetro de qualidade ( $\beta$ ) assume o valor unitário (1) o que exprime uma taxa de falha constante, modelando assim a segunda região da banheira (eq 2.11). Porém, numa situação real sabe-se que as taxas de falhas tendem a aumentar com o aumento da idade do componente.

$$R(\Delta t) = e^{-\lambda \cdot \Delta t} \quad (2.10)$$

$$R(\Delta t) = e^{-\left(\frac{t}{\eta}\right)} \quad (2.11)$$

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

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

e - 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  $\lambda_i$ , a confiabilidade do mesmo pode ser escrita como sendo:

$$R_{SIS} = \prod_i^n R_i = e^{-\sum \lambda_i t} \quad (2.12)$$

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**), como pode ser verificado pela Figura 2.4 e Figura 2.5. O sistema que não possui essa propriedade é denominado de **Simplex**.

De acordo com as informações acima, a formulação matemática para os seguintes exemplos de sistemas será:



Figura 2.4 - Modelamento de partes em Série.

$$R_{SIS} = R_A R_B R_C \quad (2.13)$$

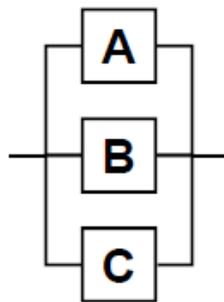


Figura 2.5 - Modelamento de Partes em Paralelo.

$$R_{SIS} = 1 - (1 - R_A)(1 - R_B)(1 - R_C) \quad (2.14)$$

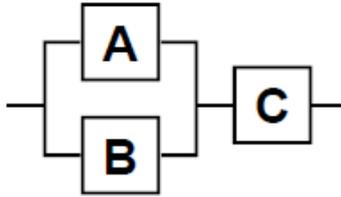


Figura 2.6 - Modelamento de Partes com Redundância Parcial.

$$R_{SIS} = R_C[1 - (1 - R_A)(1 - R_B)] \quad (2.15)$$

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.

### 2.3.3. A Confiabilidade do Sistema

A confiabilidade do sistema é uma medida de qualidade importante, pois a qualidade de um sistema está sujeita a exigências que especificam padrões mínimos de confiabilidade, afetando diretamente padrões como custo, desempenho e tempo de vida. 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 2.7). (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.

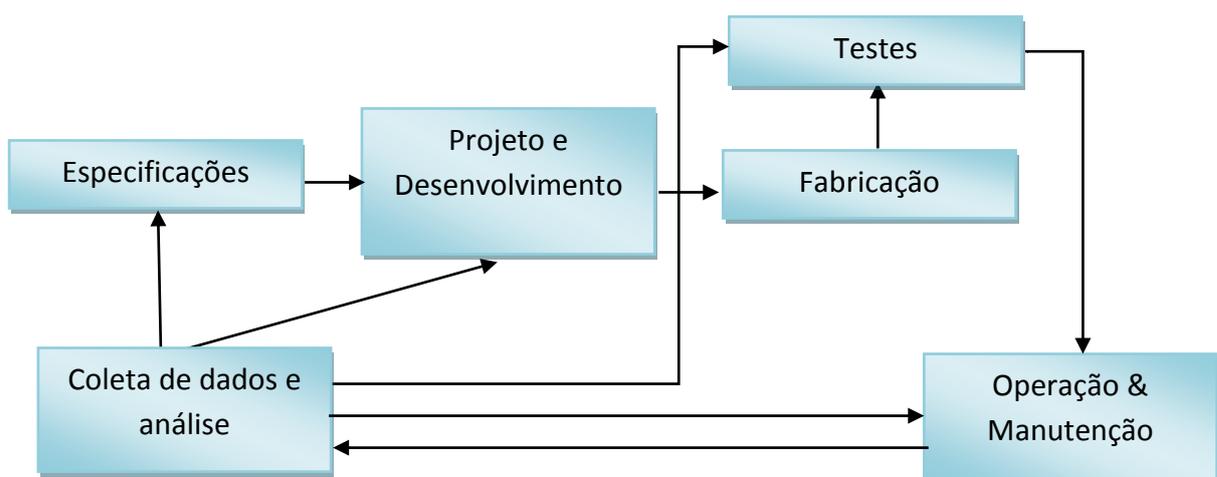


Figura 2.7 - As etapas de aplicação de confiabilidade.

Fonte: Adaptado de Lafraia (2001).

Os projetos espaciais são estruturados em fases com objetivos voltados à concepção, ao projeto, à fabricação e à utilização de produtos. Essas etapas são sequenciais, separadas por reuniões formais de revisão que aprovam ou não a passagem do projeto para a fase seguinte. Essa sequência objetiva maximizar a confiabilidade do produto final e a verificação tanto do projeto quanto da fabricação dos equipamentos. Conforme ilustra a Figura 2.8.

**Fase 0** – A *confiabilidade* é uma medida que deve ser considerada nessa fase, pois buscam identificar os principais requisitos de missão, tais como desempenho esperado, confiabilidade e vida útil do produto, juntamente com restrições de caráter geral, como as relativas ao ambiente operacional. É onde acontece a primeira análise do custo esperado e o orçamento do projeto.

**Fase A** – é a fase de análise de viabilidade, onde se avalia a factibilidade da execução do projeto em prazos, tecnologias e orçamento. Nessa fase se estabelece as especificações técnicas, a definição de planos de gerenciamento, desenvolvimento e qualidade, e uma proposta de verificação. *Na fase A se institui o processo de confiabilidade, os manuais a serem utilizadas para o desenvolvimento da confiabilidade esperada.*

**Fase B** – aqui se consolida as soluções propostas para as configurações preliminares do sistema. Tais como projetos técnicos; definição da lista de materiais; plano de fabricação, procedimentos para fabricação, montagem, ajustes, integração (*incluindo aqui o processo descrito no manual para garantir a confiabilidade*), avaliação da confiabilidade e da segurança. Nessa fase deve realizar a revisão dos requisitos do sistema.

**Fase C** – onde é finalizado o detalhamento do sistema e das operações selecionadas, incluindo o detalhamento dos planos de fabricação, integração e testes para o sistema e componentes. Nesta fase, o Modelo de Engenharia de equipamentos e subsistemas selecionados e o modelo de qualificação da estrutura como um todo (sistema) são submetidos a testes funcionais,

mecânicos e de compatibilidade eletromagnética, de modo a demonstrar a viabilidade das soluções de projeto adotadas.

**Fase D** – nessa fase, são realizadas as atividades para a Qualificação, testes e atividades de verificação. Onde ocorre a conclusão do Modelo de Qualificação de equipamentos e subsistemas selecionados são concluídos.

**Fase E** – Durante esta fase do programa os sistemas são colocados em serviço, utilizados assim como os recursos necessários para a realização da missão operacional.

**Fase F** – é a fase de descarte, período em que são implementados planos para o descarte do sistema.

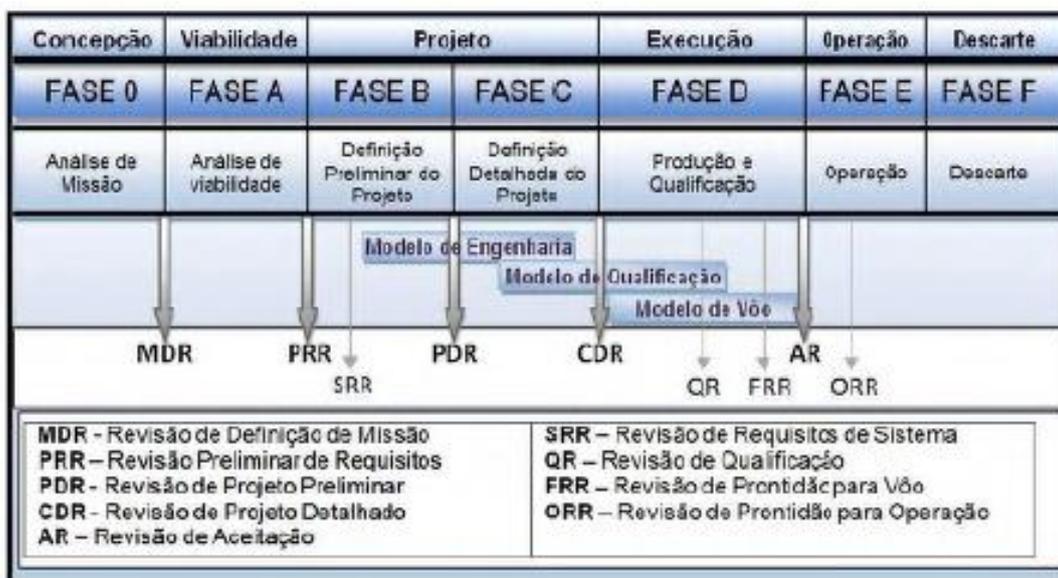


Figura 2.8 - Destaca as fases do ciclo de vida.  
 Fonte: ECSS-M-ST-10C (2009).

#### **2.3.4. Distribuições de Probabilidades Associadas à Confiabilidade**

Existem técnicas estatísticas para estimar parâmetros importantes como *Tempo Médio Para Falha* (MTTF), usado para sistemas não reparáveis, *Tempo Médio Entre Falhas* (MTBF), usado para sistemas reparáveis, entre outros. A diferença principal entre esses dois parâmetros é que a MTBF considera também o tempo de reparo do equipamento. (LAFRAIA, 2001 e FREITAS, 1997)

Essas técnicas são chamadas paramétricas e requerem uma distribuição de probabilidades que torna a estimação do parâmetro mais confiável, isso quando a escolha é adequada aos dados a serem tratados.

A escolha do modelo probabilístico é de suma importância na análise de confiabilidade, pois ao utilizar um modelo inadequado toda a análise estatística e probabilística será comprometida gerando grandes erros e induzindo estimativas distorcidas. No entanto, quando se acerta na definição do modelo probabilístico, é possível estimar os parâmetros com máxima verosimilhança. Para verificar a melhor distribuição, é necessário comparar, através de técnicas gráficas, as estimativas com os valores observados.

As principais distribuições de probabilidade associadas à confiabilidade são: Weibull, Exponencial, Normal e Log-normal. É importante salientar que são vários os modelos probabilísticos usados em Confiabilidade, porém estes ocupam um lugar de destaque.

As distribuições de probalidades são utilizadas nos manuais de confiabilidade, por exemplo a MIL-HDBK-217 se baseia na distribuição exponencial, a 217Plus™ utiliza mais de uma distribuição para melhorar ou estimar alguns de seus fatores de correção, como por exemplo a log normal, qui quadrado, etc.

A Tabela 2.1 mostra resumidamente as principais características das distribuições de probabilidades utilizadas em confiabilidade.

Tabela 2.1 - Principais características das distribuições de probabilidades mais utilizadas em Confiabilidade.

<b>Distribuição Weibull</b>	<b>Distribuição Log-normal</b>
<ul style="list-style-type: none"> <li>• Pode representar qualquer uma das três regiões da curva da banheira.</li> <li>• Usada principalmente em componentes microeletrônicos para mortalidade infantil.</li> <li>• Seu modelo contém três parâmetros (<math>\gamma</math>, <math>\eta</math>, <math>\beta</math>), porém é comum utilizar apenas dois (<math>\eta</math>, <math>\beta</math>).</li> <li>• Apropriada para testes de vida acelerada.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Pode representar qualquer uma das três regiões da curva da banheira.</li> <li>• Usada principalmente em componentes microeletrônicos para desgaste.</li> <li>• Seu modelo possui dois parâmetros.</li> <li>• Apropriada para testes de vida acelerada</li> <li>• Substitui o tempo de falha por seu logaritmo.</li> </ul>
<b>Distribuição Normal</b>	<b>Distribuição Exponencial</b>
<ul style="list-style-type: none"> <li>• Possui dois parâmetros, média e desvio padrão.</li> <li>• Usada para monitoramento e gráficos de controle.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Mais utilizada quando a taxa de falhas é constante.</li> <li>• Por isso descreve apenas a segunda região da curva da banheira, vida útil.</li> <li>• Seu modelo possui apenas um parâmetro: a taxa de falhas.</li> </ul>

Fonte: Adaptado de Crowe (2001)

#### **2.3.4.1. A Distribuição de Probabilidade Weibull**

A distribuição de probabilidades de Weibull foi proposta originalmente por Waloddi Weibull em 1954 em estudos relacionados a tempos de vida de equipamentos e estimativas de falhas. Esta distribuição é frequentemente usada em tempos de vida de componentes e produtos industriais, devido à sua versatilidade, apresentando uma grande variedade de formas. Sua taxa de falhas pode ser decrescente, constante ou crescente, podendo representar qualquer região da curva da banheira. Esta distribuição descreve adequadamente a vida de mancais, componentes eletrônicos, cerâmicas, capacitores e dielétricos.

Esta distribuição é definida por três parâmetros: parâmetro de qualidade ( $\beta$ ), de escala ( $\eta$ ) e de localização, posição ( $\gamma$ ). Frequentemente o parâmetro de

localização não é utilizado, assumindo o valor zero, representado na equação 2.17. A equação 2.16 é a distribuição Weibull com três parâmetros.

$$f(t) = \frac{\beta}{\eta} \left( \frac{t - \gamma}{\eta} \right)^{\beta-1} e^{-\left( \frac{t - \gamma}{\eta} \right)^\beta} \quad (2.16)$$

$$f(t) = \frac{\beta}{\eta} \left( \frac{t}{\eta} \right)^{\beta-1} e^{-\left( \frac{t}{\eta} \right)^\beta} \quad (2.17)$$

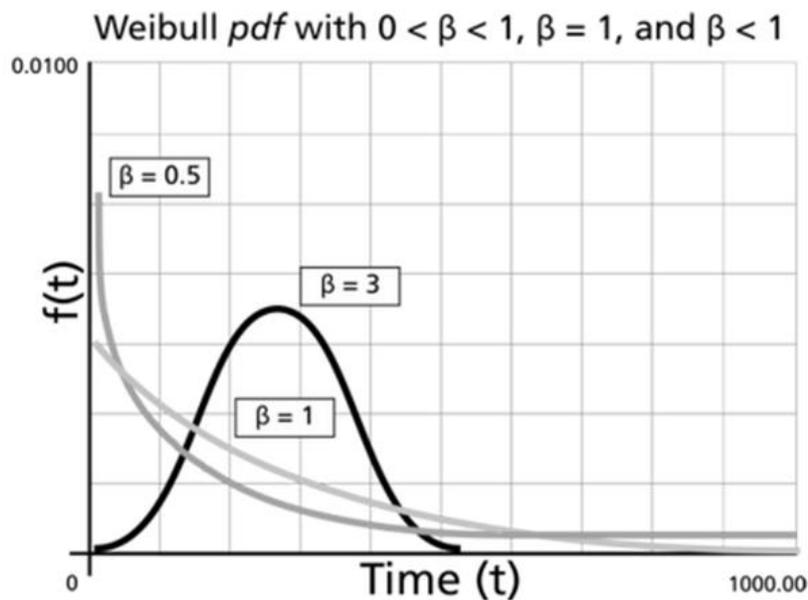


Figura 2.9 - Efeito do parâmetro de qualidade na distribuição Weibull.

Fonte: ReliaSoft Corporation (2012).

O parâmetro de qualidade ( $\beta$ ) é também conhecido como parâmetro de inclinação ou forma. Diferentes valores deste podem mudar o comportamento da distribuição. Como pode ser verificado na Figura 2.9, quando  $\beta = 1$  a

distribuição assume o formato da Distribuição Exponencial e sua forma se modifica de acordo com os diferentes valores assumidos.

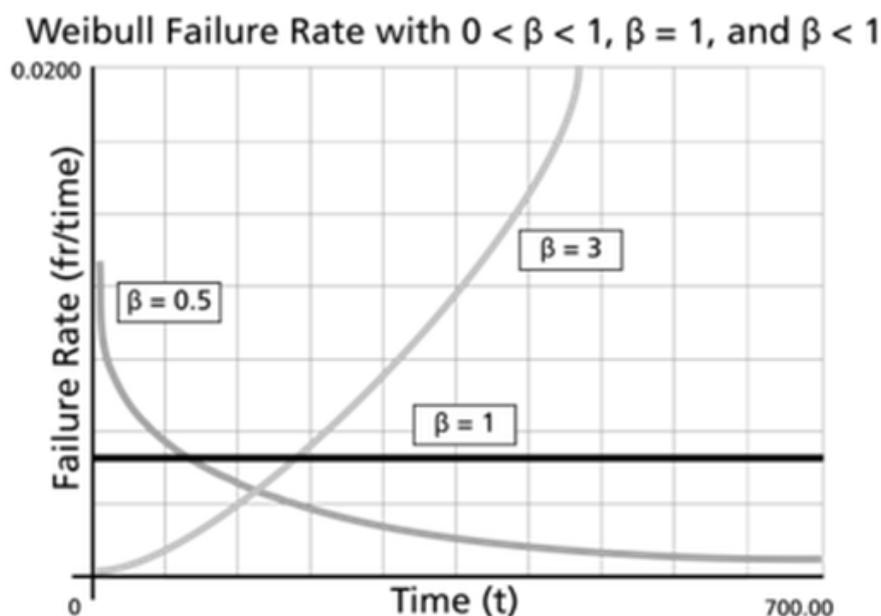


Figura 2.10 - Efeitos do parâmetro de qualidade da distribuição Weibull na taxa de falhas.

Fonte: ReliaSoft Corporation (2012).

A Figura 2.10 e a Figura 2.11 mostram algumas formas da função taxa de falhas para a distribuição Weibull: ao variar valores para o parâmetro de qualidade  $\beta$ , é possível modelar a curva da banheira. Observe que a taxa de falhas ( $\lambda(t)$ ) é estritamente decrescente para  $0 < \beta < 1$  (falhas precoces); e estritamente crescente para  $\beta > 1$  (falhas por desgaste). Como a distribuição exponencial é um caso particular da distribuição de Weibull quando  $\beta = 1$ , a taxa de falhas fica constante neste caso. O caso em que  $0 < \beta < 1$  produz um comportamento que representa o tipo de falhas precoces, para o qual a taxa de falhas diminui com a idade. Encontrar esse tipo de comportamento em um produto manufaturado, pode ser indicativo de problemas no processo de produção ou problemas com a embalagem e transporte.

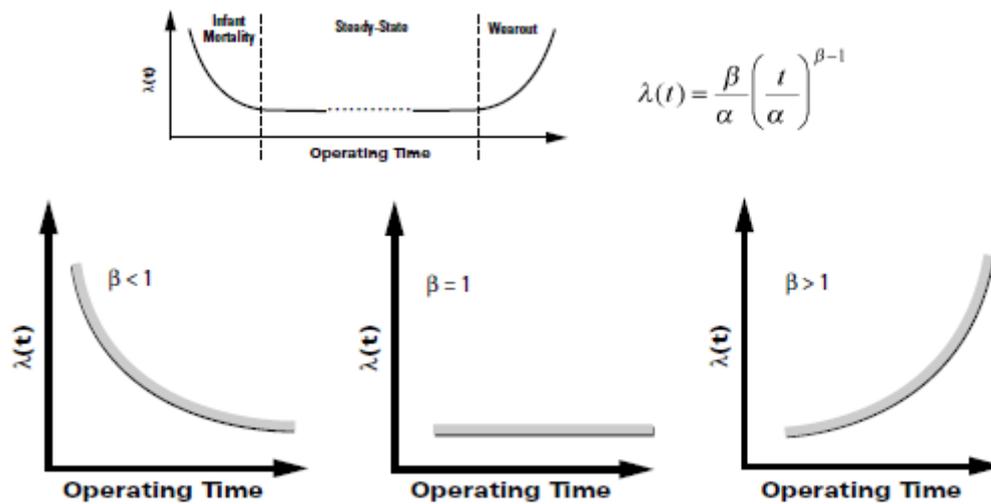


Figura 2.11 - Modelando a Curva da banheira com a distribuição Weibull.

Fonte: Crowe e Feinberg (2001).

O parâmetro de escala ( $\eta$ ) ao assumir diferentes valores, determina uma mudança na largura da curva, ou seja, provoca variação no eixo das abscissas. Mantendo  $\beta$  constante e variando valores para  $\eta$ , tem o efeito de esticar ou comprimir a f.d.p. Como a área sob a curva é um valor constante e igual a 1, ao esticar ou comprimir a curva, a f.d.p. terá o pico alterado para baixo ou para cima, como mostra a Figura 2.12.

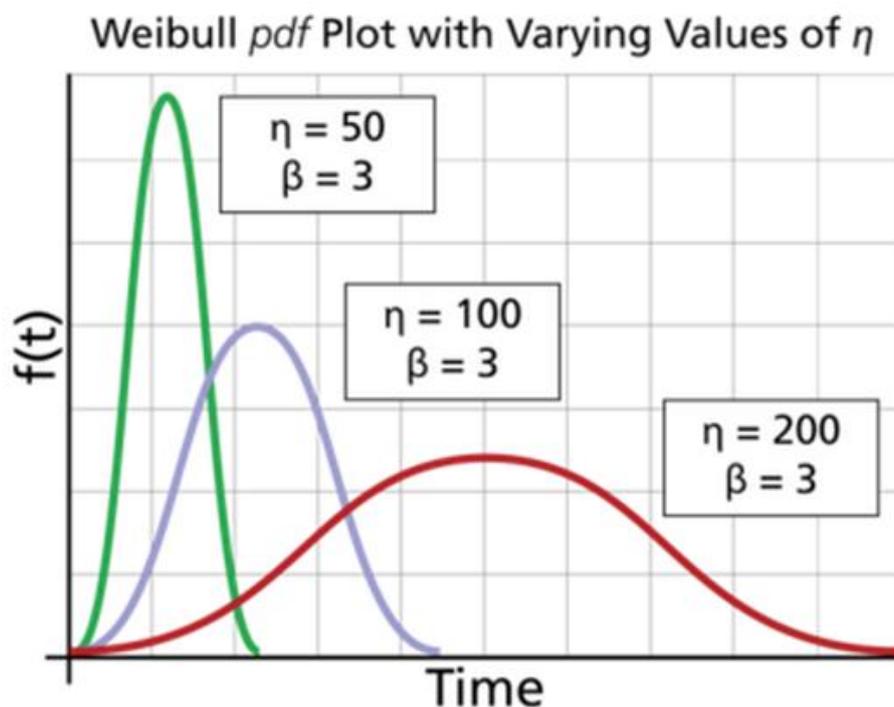


Figura 2.12 - Efeito o do parâmetro de escala da Weibull.  
 Fonte: ReliaSoft Corporation (2012).

#### 2.3.4.2. A Distribuição de Probabilidade Exponencial

A distribuição de probabilidades exponencial é considerada a mais simples em termos matemáticos, pois é definida por apenas um parâmetro: a taxa de falhas. Caracterizada por ter taxa de falhas constante, é utilizada em Confiabilidade para modelar a segunda região da curva da banheira, descrevendo a vida útil do componente. Apesar disso, tem muita aplicabilidade já que os componentes passam a maior parte do tempo de sua vida na região de vida útil. (Crowe, Feinberg, 2001).

#### **2.3.4.3. A Distribuição de Probabilidade Normal**

A distribuição de probabilidades normal também é conhecida como a distribuição de Gauss ou Gaussiana, apesar de ter sido introduzida por Abraham de Moivre, em 1733. Esta distribuição é uma das mais utilizadas em aplicações em geral.

Segundo Crowe e Feinberg (2001), a distribuição normal não é utilizada para modelar a curva da banheira, sendo comumente utilizada para análise de dados variáveis ou paramétricos, como monitoramento de processos.

Esta distribuição raramente é utilizada para a modelagem de tempo de vida porque o limite do lado esquerdo da distribuição estende-se até o infinito negativo. Isso poderia resultar em falhas na modelagem. No entanto, desde que a distribuição em questão tem uma média relativamente elevada e um desvio padrão relativamente pequeno, a questão de tempos de falha negativos não deve se apresentar como um problema. No entanto, a distribuição normal tem sido utilizada para modelar o tempo de vida de itens de consumo, tais como cartuchos de toner. (ReliaSoft Corporation, 2012).

#### **2.3.4.4. A Distribuição de Probabilidade Log-Normal**

Assim como a distribuição de probabilidades de Weibull, a Log-Normal é muito usada para caracterizar tempos de vida, pois esta tem a característica de ser flexível e se ajustar a vários formatos de tempo de vida e taxas de falhas.

A Log-Normal tem grande relação com a distribuição Normal e é similar às distribuições de Weibull. A variável aleatória da distribuição log-normal é o logaritmo de uma variável aleatória distribuída normalmente. Ou seja, o logaritmo de uma variável aleatória  $x$  segue a distribuição Log-Normal com parâmetros:  $\mu$  (média) e  $\sigma$  (desvio-padrão), então  $x$  tem distribuição Normal com os mesmos parâmetros. Essa relação significa que dados provenientes de

uma distribuição Log-Normal podem ser analisados segundo uma distribuição Normal se trabalharmos com o logaritmo dos dados ao invés dos valores originais. (RELIASOFT CORPORATION, 2012).

#### **2.4. A Predição de Confiabilidade Através do Manual de Confiabilidade MIL HDBK 217**

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 manuais que estabelecem condições e propriedades que ajudam a avaliar e a mensurar a confiabilidade dos componentes, equipamentos, subsistemas e sistemas, como o manual MIL-HDBK-217.

O **Manual MIL-HDBK-217** (*Reliability Prediction for Electronic Systems*) é o manual padrão utilizado pelo *Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais* (INPE) e por outras organizações para a predição da Confiabilidade de componentes eletrônicos; e é um dos mais conhecidos nas indústrias militares e comerciais. Trata-se de um manual com o intuito de proporcionar *estimativas conservadoras* e rigorosamente seguras para o cálculo inicial da confiabilidade de equipamentos eletrônicos.

Atualmente, o manual 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.

Conforme já mencionado, a confiabilidade é a probabilidade de um componente executar sua função sob condições específicas sem falhas por um intervalo de tempo preestabelecido. Importante destacar que quando se trata de componentes eletrônicos as condições específicas incluem todo o ambiente físico incluindo condições mecânicas, térmicas e elétricas.

Confiabilidade hoje é um dos requisitos críticos de sistemas eletrônicos e leva em consideração as falhas do componente ou sistema.

No método proposto pelo manual MIL HDBK 217, a confiabilidade é determinada pela associação de uma taxa base de falhas associada a um tipo específico de componente. Essa taxa é modificada através da aplicação de coeficientes que levam em conta fatores como a qualidade do componente, fatores ambientais, nível de esforço, entre outros.

De acordo com Felix (2006), o manual MIL HDBK 217 recomenda a definição da confiabilidade do componente empregando a distribuição exponencial, a partir da estimativa da taxa de falhas, para obter a representação da probabilidade de falhas dos componentes.

## **2.5. A Finalidade de Predição de Confiabilidade Segundo MIL-HDBK-217**

Atualmente Confiabilidade é reconhecida como um requisito essencial em sistemas eletrônicos militares. É vista como uma medida para reduzir custos de fabricação e melhorar o desempenho de sistemas. O manual MIL HDBK 217 constitui um padrão para realizar de forma eficiente uma predição de confiabilidade para o sistema em questão. (MIL-HDBK-217F, 1991)

Segundo a MIL-HDBK-217F (1991) a predição 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 predição de confiabilidade para cada alternativa de design fornece uma medida de valor relativo que, combinada com outras considerações auxilia na seleção da melhor opção disponível.

A predição de confiabilidade pode ser utilizada para prever a capacidade do sistema manter um nível de confiabilidade aceitável em um ambiente operacional 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. (MIL-HDBK-217F, 1991)

Segundo MIL-HDBK-217F (1991) a previsão da confiabilidade ajuda na avaliação da significância da falha detectada. Por exemplo, se muitas falhas de um mesmo modo ou de um mesmo componente ocorrer no sistema, a previsão da taxa de falhas pode ser usada para determinar se o número de falhas do sistema é proporcional ao número de componentes utilizados no sistema. A previsão de confiabilidade é utilizada também para avaliar a probabilidade de eventos de falhas descritos em um modo de falha, incluindo análise dos efeitos e criticidade.

Apesar da grande contribuição que a previsão de confiabilidade fornece, ela apresenta algumas limitações e a mais relevante é que o modelo de taxa de falhas é calculado através de estimativas baseadas em dados disponíveis. Isso implica que são válidos sobre as condições em que os dados foram obtidos e para os componentes estabelecidos no manual, não podendo se estender de forma generalizada para quaisquer componentes.

De acordo com a MIL-HDBK-217F (1991), mesmo quando os componentes são 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 de solo do que sistemas espaciais. 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.



### **3. ANÁLISE DO MANUAL MIL-HDBK-217**

O manual MIL-HDBK-217 já foi previamente apresentada no capítulo anterior, destacando suas finalidades e a importância de sua utilização para estimar a confiabilidade de componentes eletrônicos.

Este capítulo destina-se a expor o padrão MIL HDBK 217, apresentando um histórico do seu surgimento, suas versões, modelagem matemática e suas concepções a respeito da confiabilidade de componentes eletrônicos.

#### **3.1. Apresentação do Manual**

O **manual MIL-HDBK-217** tem como base uma coletânea de dados reais de desempenho em campo para equipamentos eletrônicos e fornece um apoio comum de comparação e avaliação das previsões de confiabilidade durante os programas de aquisição de sistemas eletrônicos e equipamentos militares. Este manual é uma ferramenta para aumentar a confiabilidade de um equipamento que está em fase inicial de projeto e é fundamentada na distribuição exponencial.

De acordo com Felix (2006), a MIL HDBK 217 propõem uma predição de confiabilidade para componentes eletrônicos sem a necessidade do uso de análises experimentais, baseando-se na definição dos componentes e do fluxo de informação entre eles durante a operação do sistema.

Segundo Pecht (1996) esse manual 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 predição. 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), uma orientação para obter a predição de confiabilidade e especificações de avaliações foi lançada em novembro de 1956, com a publicação da RCA lançamento TR-1100, "*Reliability Stress Analysis for Electronic Equipment*" (que tem por tradução: "*Análise de Solicitações 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 predição de confiabilidade militar conhecida como MIL-HDBK-217.

A MIL HDBK-217 foi publicada inicialmente em 1965 e, foi revisada, atualmente está na versão F N2 (A, B, C, D, E, F, F, FN1 e FN2), que garantem progressivas melhoras da Série MIL-HDBK-217. Embora contemple uma base de dados que não acompanha a evolução tecnológica, ainda é a mais utilizada.

Segundo Risk Management Institute (2009), os modelos de confiabilidade desse manual foram construídos de acordo com uma abordagem empírica. Os fatores de influência foram identificados através da análise de amostras estatísticas. Em seguida, eles foram modelados de forma empírica, a fim de corresponder, tanto quanto possível aos dados de origem. Os dados de feedback usados para construir os modelos estão na seguinte ordem de importância:

- Dados de manutenção do exército dos Estados Unidos,
- Resultados dos testes,
- Informações públicas (literatura),

- Informações coletadas a partir de fabricantes de componentes eletrônicos.

Os dados resultantes dos serviços de manutenção do exército dos EUA correspondem a itens eletrônicos em serviço, coletados entre os anos de 1988 a 1990, provenientes de sistemas que estavam em serviço desde o início dos anos 80. Além disso, esses itens de equipamento são, na maioria, itens eletrônicos embarcados em aeronaves militares. (RISK MANAGEMENT INSTITUTE, 2009)

De acordo com Felix (2006) o banco de dados do manual MIL HDBK 217 é construído com dados de falhas reais de equipamentos em operação normal e são consideradas as condições ambientais, temperatura e nível de vibração, bem como fatores inerentes ao componente ou sistema como correntes elétricas, entre outros fatores para estimar a taxa de falhas do componente em condição operacional.

A Figura 3.1, apresenta as datas de lançamento de vários manuais de predição de confiabilidade para componentes.

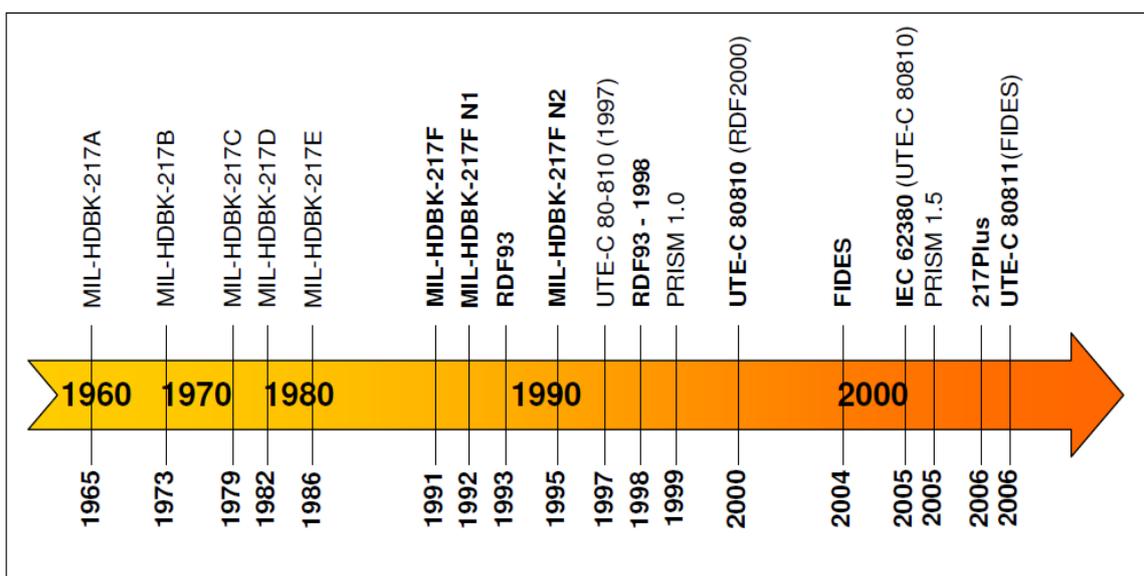


Figura 3.1 - Datas de lançamento dos manuais de confiabilidade.  
 Fonte: Risk Management Institute (2009)

A versão mais empregada da MIL HDBK 217 é a MIL-HDBK-217F, lançada em 2 de Dezembro de 1991 e suas notificações “F Notice 1”, lançada em 10 de Julho de 1992, e “F Notice 2”, lançada em 28 de Fevereiro de 1995, que são o foco deste trabalho. Existem outras versões da MIL-HDBK-217 e outros manuais igualmente importante, como a 217Plus™ lançada em julho de 2006.

### 3.2. Métodos adotados pela MIL HDBK 217

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 Estresse de Componentes** (“Parts Stress”), métodos que serão apresentados a seguir.

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  $\lambda$  (lambda).

#### 3.2.1 Método: Contagem de Partes (“Parts Count”)

No método **Parts Count** o valor de MTBF é determinado pelo inverso da taxa de falhas para cada componente de um dispositivo eletrônico.

Ao observar a equação 3.1, pode-se afirmar que quanto maior a complexidade do sistema, mais falhas serão inseridas diminuindo assim o tempo médio entre falhas. Ou seja, ambientes severos como no setor espacial tende a apresentar um número maior ou crescente de falhas devido a sua complexidade, resultando em tempos médios entre falhas menores ou que tendem a zero.

$$MTBF = \frac{1}{\lambda_1 + \lambda_2 + \lambda_3 + \dots + FR_n} \quad (3.1)$$

O Método de **Contagem de Partes** é uma abordagem mais simples para usar durante a fase inicial do projeto, quando não foram definidos todos os componentes. Essa técnica assume níveis médios de solicitações (exigência de carga) 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:

$$\lambda_{b,i} = \sum_{i=1}^n N_i \left( \lambda_{ref} \cdot \pi_Q \right)_i \quad (3.2)$$

Onde:

$\lambda_{b,i}$  → Estimativa da Taxa básica de Falhas total do equipamento;

$b$  → Se refere a básico;

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

$i$  → Número de falhas;

$N_i$  → Quantidade de partes;

$\pi_Q \rightarrow$  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 Estresse**.

### 3.2.2 Método: Análise de Esforços (“Parts Stress”)

O método Análise de Esforços 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 predição até que o programa tenha amadurecido, de tal forma que esses *stresses* 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 Estresse**, 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);
- Solicitação mecânica e térmica;
- Solicitação elétrica.

O procedimento para calcular o nível da taxa de falhas para o sistema, usando **Análise de Esforços**, é a soma das taxas de falhas de cada componente calculadas em condições específicas. De forma genérica a modelagem matemática usada no manual MIL HDBK 217 para cada componente é uma multiplicação. Essa multiplicação consiste em utilizar a taxa de falhas 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 falhas de transistores de baixa frequência bipolar pode ser calculado pela HDBK 217 F da seguinte forma:

$$\lambda_{b,i} = \sum_{i=1}^n \left( \lambda_{ref} \cdot \pi_s \cdot \pi_T \cdot \pi_E \cdot \pi_Q \cdot \pi_A \cdot \pi_R \right) \quad (3.3)$$

Onde:

$\lambda_{b,i}$  - Estimativa da Taxa básica de Falhas total do equipamento;

$\lambda_{ref}$  - Taxa de Falhas nas condições de referência para cada tipo de componente, nesse caso é tabelada de acordo com o tipo de transistor NPN ou PNP;

$\pi_s$  - Fator de Solicitação (Consistência de Stress e estresse), esse fator em função das tensões;

$\pi_T$  - Fator de Temperatura, esse fator é em função da temperatura de junção;

$\Pi_E$  - Fator Ambiental, tabelada de acordo com a severidade de ambiente;

$\Pi_Q$  - Fator de Qualidade, tabelada de acordo com o nível de qualidade especificada;

$\Pi_A$  - Fator de Ajuste ou aplicação, também tabelada de acordo com a aplicação do transistor;

$\Pi_R$  - Fator de Potência, esse fator é em função da potência.

Para alguns elementos como os circuitos integrados, a formulação matemática da taxa de falhas se altera um pouco, como pode ser visualizada pela equação 3.4.

$$\lambda = (C_1\pi_T + C_2\pi_E) \cdot \pi_Q \cdot \pi_L \quad (3.4)$$

Onde:

$C_1 \rightarrow$  O valor de  $C_1$  é uma Taxa de falha do componente em função de parâmetros específicos.  $C_1$  é chamado de fator de complexidade baseado no número de bits de memórias, número de transistores para dispositivos lineares, etc.

$C_2 \rightarrow$  Fator de complexidade baseado no número de pinos, encapsulamentos, etc.

$\pi_T \rightarrow$  Fator de Temperatura, em função da temperatura;

$\pi_E \rightarrow$  Fator Ambiental, tabelado de acordo com a severidade de ambiente;

$\pi_Q \rightarrow$  Fator de Qualidade, tabelado de acordo com o nível de qualidade da peça;

$\pi_L \rightarrow$  Fator de aprendizagem, igual a uma unidade para um produto com mais de dois anos de produção.

### 3.3. Fatores de Correção

Para uma análise mais completa é necessário introduzir fatores de correção à taxa de falhas do componente. Esses fatores especificam condições severas de operação e uma estimativa mais sólida. Importante salientar que deve considerar as particularidades de cada componente, acarretando em fatores específicos para cada tipo de componente. Os fatores mais utilizados são os fatores de *qualidade* ( $\pi_Q$ ), *ambiental* ( $\pi_E$ ) e *temperatura* ( $\pi_T$ ).

Experiências mostram que os sistemas eletrônicos têm taxas de falhas que dependem do ambiente de uso do equipamento. Por exemplo, um conjunto de rádio de um avião de combate que normalmente falha mais frequentemente que um conjunto similar instalado em uma base fixa. Isto ocorre devido aos altos níveis de solicitação, como por exemplo, vibrações, temperaturas elevadas, choques e outras variações ambientais sofridas na operação de um avião (FÉLIX, 2006).

Praticamente todos os modelos de confiabilidade incluem os efeitos de um Ambiente de estresse, onde se aplica o fator do Meio Ambiente ou Fator Ambiental ( $\pi_E$ ), exceto os efeitos da radiação ionizante. O Fator ambiental, no manual, possui valores tabelados de acordo com a severidade do ambiente, ou seja, o fator é separado por categorias de ambiente. A descrição dessas categorias de ambiente pode ser visualizada na Tabela 3.1, que apresenta os

ambientes classificados de acordo com o nível de severidade, o símbolo no qual representa o ambiente e a descrição do mesmo.

Tabela 3.1 - Símbolos e Descrições das categorias de ambiente que compõem os fatores ambientais.

<b>Ambiente</b>	<b>Símbolo</b>	<b>Símbolo equivalente</b>	<b>Descrição dos fatores ambientais</b>
<b>Solo, benigno</b>	$G_B$	$G_{MS}$	Não-móveis, temperatura e umidade controlada. Ambientes de fácil acesso para manutenção. Inclui instrumentos de laboratórios e equipamentos de teste, equipamentos eletrônicos com aplicação médica, computadores científicos complexos, mísseis e equipamentos de suporte terrestre.
<b>Solo, fixo</b>	$G_F$	$G_F$	Ambientes Moderadamente controlados tais como instalação em racks permanentes com ar de refrigeração adequada e possível instalação de equipamentos de controle de tráfego aéreo de radar e de comunicação.
<b>Solo, móvel</b>	$G_M$	$G_M, M_P$	Equipamentos instalados em veículos de rodas.
<b>Naval, protegido</b>	$N_S$	$N_S, N_{SB}$	Inclui condições de convés protegidas ou abaixo em navios e equipamentos de superfície instalados em submarinos.
<b>Naval, desprotegido</b>	$N_U$	$N_U, N_{UU}, N_H$	Superfície de equipamento de bordo desabrigados expostos a condições climáticas e equipamentos imersos em água salgada.
<b>Transportado pelo ar, habitado, carga</b>	$A_{IC}$	$A_{IC}, A_{IT}, A_{IB}$	Condições típicas nos compartimentos de carga, que podem ser ocupadas por tripulação. Condições ambientais extremas de pressão, temperatura, choque e vibração são mínimas.

Fonte: MIL HDBK 217, 1991

Continuação Tabela 3.1 - Símbolos e Descrições das categorias de ambiente que compõem os fatores ambientais.

<b>Ambiente</b>	<b>Símbolo</b>	<b>Símbolo equivalente</b>	<b>Descrição dos fatores ambientais</b>
<b>Transportado pelo ar, habitado.</b>	$A_{IF}$	$A_{IF}, A_{IA}$	As mesmas condições de $A_{IC}$ , mas instalado em aeronaves de alta performance, tais como interceptores e de luta.
<b>Transportado pelo ar, não habitado, carga.</b>	$A_{UC}$	$A_{UC}, A_{UT}, A_{UB}$	Áreas ambientalmente descontrolados, que não podem ser habitados por uma tripulação durante o voo. Condições ambientais extremas de pressão, temperatura, choque pode ser grave.
<b>Transportado pelo ar, não habitado.</b>	$A_{UF}$	$A_{UF}, A_{UA}$	As mesmas condições de $A_{UC}$ mas instalado em aeronaves de alta performance, tais como interceptores e de luta.
<b>Transportado por via aérea, voo rotativo.</b>	$A_{RW}$	$A_{RW}$	Equipamentos instalados em helicópteros. Aplica-se tanto interna como externo, equipamento montado como designadores de laser, sistemas de controle de incêndio e equipamentos de comunicações
<b>Espaço, Voo</b>	$S_F$	$S_F$	Orbital da Terra. Abordagens em condições de solo benignas.
<b>Míssil, voo</b>	$M_F$	$M_F$	Condições relacionadas com o voo motorizado de mísseis de respiração aérea, mísseis de cruzeiro e mísseis em voo livre sem energia.
<b>Míssil, lançamento</b>	$M_L$	$M_L$	Condições severas relacionadas com lançamento de mísseis.
<b>Canhão, disparo</b>	$C_L$	$C_L$	Condições extremamente severas relacionadas com disparo de canhão.

Fonte: MIL HDBK 217, 1991.

O Fator Qualidade ( $\pi_Q$ ) é utilizado devido a especificação de vários níveis de qualidade que se referem a diferentes componentes e a qualidade de uma peça tem um efeito direto sobre sua taxa de falhas. 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).

Todas as partes de qualidade são cobertas por especificações que contém muitos níveis de qualidade, o fator qualidade é tabelado no manual de confiabilidade MIL HDBK 217 de acordo com os níveis estabelecidos para os componentes. Níveis de qualidade designadas ilustrados na Tabela 3.2.

Tabela 3.2 – Partes com os vários níveis de especificações de qualidade.

<b>Parte</b>	<b>Qualidade designada</b>
<b>Microcircuitos</b>	S, B, B-1, Outros: Qualidade julgada por nível de blindagem
<b>Semicondutores Discretos</b>	JANTXV, JANTX, JAN
<b>Capacitores, Confiabilidade Estabelecida (ER)</b>	D, C, S, R, B, P, M, L
<b>Resistores, Qualidade Estabelecida (ER)</b>	S, R, P, M
<b>Bobina, Moldada</b>	S, R, P, M
<b>Relays, Qualidade Estabelecida (RE)</b>	R, P, M, L

Fonte: MIL HDBK 217, 1991.

Os requisitos detalhados para cada nível de qualidade são definidos claramente nos manuais de especificações aplicáveis aos componentes, com exceção para microcircuitos. Microcircuitos têm níveis de qualidade que dependem do padrão MIL-STD-883. (MIL-HDBK-217F, 1992)

Algumas partes são cobertas por outras especificações, usualmente referida como Confiabilidade Não Estabelecida (Nn-ER), que não possui muitos níveis, apenas dois: "MIL-SPEC" e "Lower". Se a parte adquirida está em total conformidade com a especificação aplicável, o valor de  $\pi_Q$  recebe o valor de "MIL-SPEC". Se algum requisito foi dispensado, ou se uma parte comercial é obtida, pode ser usado para  $\pi_Q$  o valor de "Lower". (MIL-HDBK-217F, 1992)

A confiabilidade das partes do sistema é sensível também à 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 ( $\pi_T$ ). A análise térmica do projeto deve fornecer com precisão a temperatura do ambiente necessária para a utilização do projeto.

Segundo Felix (2006) alguns componentes podem falhar mais rápido, dependendo da magnitude das solicitações elétricas e do perfil de aplicação das mesmas. Assim, o manual MIL HDBK 217 considera essas magnitudes e perfis de solicitações aplicando um fator de aplicação,  $\pi_A$ . Esse fator é aplicado principalmente em diodos e transistores.

Segundo Jones e Hayes (1999), os parâmetros mais sensíveis utilizados no manual MIL HDBK 217 são os relacionados à qualidade e ao ambiente.

Muitos fatores de correção são utilizados na MIL HDBK 217, isso depende das características de cada componente. Mais adiante outros fatores serão citados e comentados.

### 3.4. As revisões do Manual 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 predição 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 desse manual é 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 predição 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.

Os principais componentes eletrônicos abrangidos pelo manual HDBK 217 são:

- ✓ Componentes Ativos (Semicondutores):
  - Circuitos integrados;
  - Híbridos,
  - Diodos,
  - Tiristores,
  - Transistores;
  - Optoeletrônicos;
  
- ✓ Componentes Passivos:
  - Resistências,
  - Potenciômetros,
  - Capacitores,
  - Indutores (bobinas, transformadores),

- Quartz,
  - Filtros,
- ✓ Componentes Ativos (excetos semi-condutores)
- Tubos;
  - Laser
- ✓ Componentes Eletromecânicos:
- Relés,
  - Interruptores,
  - Dispositivos de rotação (motores ...),
  - Medidores (voltímetro, Amperímetros ...),
- ✓ Miscelânea (diversos):
- Fusíveis,
  - Lâmpadas,
  - Placa de circuito impresso (PCB)

O foco deste trabalho é estudar as alterações entre as revisões: HDBK 217 F, HDBK 217 F (Notice 1) e HDBK 217 F (Notice 2).

### **3.4.1 Apresentação da Versão HDBK 217 F**

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 predição de confiabilidade é providenciado para as nove principais classes de microcircuitos, as alterações são baseadas nos estudos concluídos. As nove classes de microcircuitos são:

- Monolithic Bipolar Digital e Linear Gate/Logic Array Devices

- Monolithic MOS Digital e Linear Gate/Logic Array Devices
- Monolithic Bipolar e MOS Digital Microprocessador Devices
- Monolithic Bipolar e MOS Memory Devices
- Monolithic GaAs Digital Devices
- Monolithic GaAs MMIC Devices
- Hybrid Microcircuits
- Magnetic Bubble Memories
- Surface Acoustic Wave Devices

De acordo com MIL-HDBK-217F (1991), essa revisão fornece novos modelos de predição para microcircuitos bipolar e MOS com contagem de portas superiores 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 micro-ondas monolíticos GaAs integrados (MMICs) com mais de 1.000 elementos ativos.

O fator  $C_1$  foi revisado para refletir a nova tecnologia, resultando em dispositivos com melhor confiabilidade. A energia de ativação que representa a sensibilidade da temperatura ( $\pi_T$ ), esse fator sofreu alterações para dispositivos MOS e memórias. O fator  $C_2$  permanece inalterado com relação a versão anterior, mas inclui os empacotamentos “pin grid array – PGA” e os de montagem superficial usando o mesmo modelo, hermético, com empacotamento “dual-in-line” com selagem a solda. Novos valores foram incluídos para o fator de qualidade ( $\pi_Q$ ), para o fator de aprendizagem ( $\pi_L$ ) e o fator ambiental ( $\pi_E$ ).

O modelo para microcircuitos híbridos foi revisado para torná-los mais simples de usar, para eliminar a dependência de temperatura de vedação, interligar as

contribuições de taxas de falhas e para fornecer um método de calcular a temperatura da junção do chip.

Resumidamente podemos ressaltar para essa versão:

- Um novo modelo para circuitos integrados de alta velocidade (VHSIC/VHSIC Like) e uma integração de larga escala 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 ( $\Pi_E$ ), de 27 fatores para 14;
- Uma revisão no modelo de taxa de falhas para Resistores;
- Modelos revisados para TWTs e Klystrons baseado em dados fornecidos pela “*Electronic Industries Association Microwave Tube Division*”.

### **3.4.2 Apresentação da 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.

### **3.4.3 Apresentação da HDBK 217 F Notice 2**

Com base em novos estudos efetuados 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 2 (1995):

- Modelos de resistores e capacitores revisados, incluindo novos modelos para abordar dispositivos com chips;
- Modelos de taxa de falhas atualizados para transformadores, bobinas, motores, relés, interruptores, disjuntores, conectores, placas de circuito impresso (empregando ou não a tecnologia de montagem em superfície) e conexões.
- Um novo modelo para endereçar conexões de solda, tecnologia superfície montada.
- 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).
- Uma revisão em recuperação rápida de energia do retificador com taxas base de falhas descendentes baseadas numa reavaliação das referências.

#### **4. COMPARAÇÃO ENTRE AS VERSÕES DA FAMÍLIA F DO MANUAL MIL-HDBK-217**

Como já mencionado no capítulo anterior, as atualizações da série MIL-HDBK-217 ocorreram de forma gradativa com o objetivo de atualizar os dados de acordo com as tecnologias eletrônicas e não de produzir uma nova abordagem de predição. Os modelos foram revisados e algumas das versões sofreram modificações. O objetivo deste capítulo é descrever essas alterações, as mudanças ocorridas entre as atualizações.

Esse capítulo abrange uma comparação entre a versão F e suas notificações N1 e N2 do manual MIL-HDBK-217. A análise se refere às 60 seções da versão F que passaram por alterações, as seções abordadas são:

- Seção 5.1 (Microcircuits, gate/logic arrays and microprocessors);
- Seção 5.2 (Microcircuits, memories);
- Seção 5.3 (Microcircuits, vhsic/vhsic-like and vlsi cmos);
- Seção 5.4 (Microcircuits, gaas mmic and digital devices);
- Seção 5.5 (Microcircuits, híbridos);
- Seção 5.7 (Microcircuits, magnetic bubble memories);
- Seção 5.8 (Microcircuits,  $\mu$ t table for all);
- Seção 5.12 (Microcircuits,  $t_j$  determination, (for híbridos));
- Seção 6.1 (Diodos, low frequency);
- Seção 6.8 (Transistors, high frequency, GaAs FET);
- Seção 7.1 (Tubes, all types except twt and magnetron);
- Seção 7.2 (Tubes, traveling wave);

- Seção 9.1 – (Resistors, fixed, composition);
- Seção 9.2 - (Resistors, fixed, film);
- Seção 9.3 - (Resistors, fixed, film, power);
- Seção 9.4 - (Resistors, network, fixed, film);
- Seção 9.5 - (Resistors, fixed, wirewound);
- Seção 9.6 - (Resistors, fixed, wirewound, power);
- Seção 9.7 - (Resistors, fixed, wirewound, power, chassis mounted);
- Seção 9.8 - (Resistors, thermistor);
- Seção 9.9 - (Resistors, variable, wirewound);
- Seção 9.10 - (Resistors, variable, wirewound, precision);
- Seção 9.11 - (Resistors, variable, wirewound, semiprecision);
- Seção 9.12 - (Resistors, variable, wirewound, power);
- Seção 9.13 - (Resistors, variable, nonwirewound);
- Seção 9.14 - (Resistors, variable, composition);
- Seção 9.15 - (Resistors, variable, nonwirewound, film and precision);
- Seção 10.1 – (Capacitors, fixed, paper, by-pass);
- Seção 10.2 - (Capacitors, fixed, paper, feed-through);
- Seção 10.3 - (Capacitors, fixed, paper and plastic film);
- Seção 10.4 - (Capacitors, fixed, metallized paper, paper-plastic and plastic);
- Seção 10.5 - (Capacitors, fixed, plastic and metallized plastic);
- Seção 10.6 - (Capacitors, fixed, super-metallized plastic);
- Seção 10.7 - (Capacitors, fixed, mica);
- Seção 10.8 - (Capacitors, fixed, mica, button);

- Seção 10.9 - (Capacitors, fixed, glass);
- Seção 10.10 - (Capacitors, fixed, ceramic, general purpose);
- Seção 10.11 - (Capacitors, fixed, ceramic, temperature compensating and chip);
- Seção 10.12 - (Capacitors, fixed, eletrolytic, tantalum, solid);
- Seção 10.13 - (Capacitors, fixed, eletrolytic, tantalum, non-solid);
- Seção 10.14 - (Capacitors, fixed, eletrolytic, aluminum);
- Seção 10.15 - (Capacitors, fixed, eletrolytic (dry), aluminum);
- Seção 10.16 - (Capacitors, variable, ceramic);
- Seção 10.17 - (Capacitors, variable, piston type);
- Seção 10.18 - (Capacitors, variable, air trimmer);
- Seção 10.19 - (Capacitors, variable and fixed, gas or vacuum);
- Seção 11.1 (Inductive devices, transformers);
- Seção 11.2 (Inductive devices, coils);
- Seção 11.3 (Inductive devices, determination of hot spot temperature);
- Seção 12.1 (Rotation devices, motors);
- Seção 12.1 (Rotation devices, synchros and resolvers);
- Seção 13.1 (Relays, mechanical);
- Seção 13.2 (Relays, solid state and time delay);
- Seção 14.1 (Switches);
- Seção 14.2 (Switches, basic sensitive (F) = Switches, Circuit Breakers (N2));
- Seção 15.1 (Connectors, general)
- Seção 15.2 F / 15.1 N2 (Connectors, printed circuit board);

- Seção 16.1 (Interconnection assemblies with plated through holes);
- Seção 16.2 (Interconnection assemblies, surface mount technology);
- Seção 17.1 (Connections).

A Figura 4.1 apresenta e classifica as alterações das 60 seções da versão F que foram classificadas em não significativas, pouco significativas, significativas e muito significativas. É claro que, não é possível classificar uma mudança sem analisar os impactos causados por ela. Essa classificação objetiva apenas dar uma visualização das mudanças de uma forma geral, podendo descrever o tipo de alteração que ocorreu na seção. Para tal classificação foi utilizado um parâmetro qualitativo:

**1 – mudanças não significativas** – O valor 1 refere-se as mudanças entre as versões F e N1;

**2 – mudanças pouco significativas** – O valor 2 se refere a mudanças entre F/N1 e N2, mudanças mais brandas como correções de alguns valores de tabelas. As mudanças classificadas aqui não envolvem modelagem matemática.

**3 – mudanças significativas** – O valor 3 se refere a mudanças entre F/N1 e N2. As mudanças classificadas aqui são consideradas significativas com várias alterações de valores de tabelas e referências, mas não incluem alterações na modelagem.

**4 – mudanças muito significativas** – O valor 4 se refere a mudanças entre F/N1 e N2. Essas alterações são consideradas muito significativas, pois envolvem além de alterações de referências e valores de tabelas a inclusão de mudanças na modelagem.

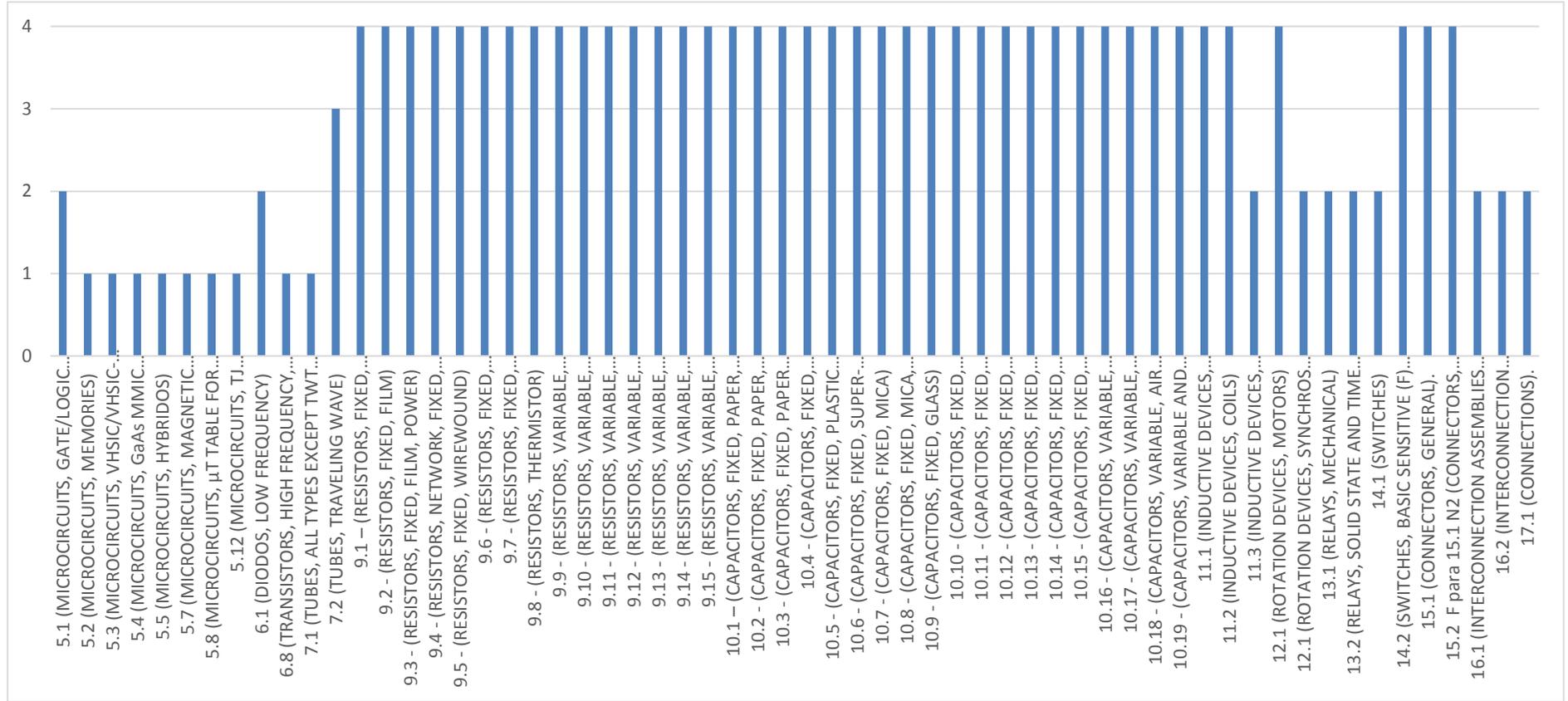


Figura 4.1 –Abrange as seções da versão F do manual MIL HDBK 217, que passou por ao menos uma alteração com a atualização.

As mudanças e alterações são comentadas e posteriormente apresentadas em tabelas. Essas tabelas descrevem com maior detalhe as alterações entre as versões do manual, o uso de asteriscos é utilizado para sinalizar que não ocorreu mudança na versão.

#### **4.1. Comparação e Levantamento de Diferenças entre as Versões do Manual MIL HDBK 217**

A Tabela 4.1 descreve as mudanças para duas seções das versões analisadas, seção 5.1 e 5.2. A seção 5.1 (MICROCIRCUITS, GATE/LOGIC ARRAYS AND MICROPROCESSORS) sofreu duas mudanças. Uma das mudanças ocorre na seção 5.1, é mais significativa, uma alteração na tabela: “*MOS Linear and Digital Gate/Logic Array Die Complexity Failure Rate – Ci*”, no número de portas, valor que auxilia na composição de  $C_1$  que é uma Taxa de falha do componente em função de parâmetros específicos, também chamado de fator de complexidade, descrito na equação 4.1

$$\lambda_p = (C_1\pi_T + C_2\pi_E)\pi_Q\pi_L \quad (4.1)$$

A versão F não cobre componentes com um número de portas entre 1001 e 2000, cobertura realizada apenas na versão N1, mas ao atualizar para a N2 esse intervalo é novamente descartado. Essas informações podem ser visualizadas na pág. 5-3 em todas as versões.

A segunda mudança se estabelece no cálculo do fator  $\pi_T$ , que para compor o fator são utilizados dados e equações da seção 5.8 que passou por mudanças de F para N1, que podem ou não alterar esse fator. Essa mudança também ocorreu na seção 5.2 (MICROCIRCUITS, MEMORIES).

A seção 5.2 sofre com mudanças na tabela denominada: “*EEPROM Read/write Cycling induced failure Rate*”, mudanças que alteram o fator  $\lambda_{CYC}$ . Esse fator se refere a taxa de falhas de ciclagem induzida, utilizado para compor a taxa de falha final do componente. O fator  $\lambda_{CYC}$  associado a EEPROM (de “*Electrically-Erasable Programmable Read-Only Memory*” - é um chip de armazenamento não-volátil usado em computadores e outros aparelhos) depende de outros fatores ( $A_1$ ,  $A_2$ ,  $B_1$ ,  $B_2$ ,  $\Pi_Q$  e  $\Pi_{ECC}$ ). Os fatores  $A_1$  e  $A_2$  foram desenvolvidos baseados numa vida útil do sistema de 10 000 horas de operação. Para sistemas EEPROM com uma expectativa de vida maior ou menor, os fatores  $A_1$  e  $A_2$  devem ser multiplicados por uma equação que sofreu mudanças da  $N_1$  para  $N_2$ , veja detalhes na Tabela 4.1.

Tabela 4.1 - Mudanças para seção 5.1 (*microcircuits, gate/logic arrays and microprocessors*) e seção 5.2 (*microcircuits, memories*).

	F	F NOTICE 1	F NOTICE 2
<b>Seção 5.1</b>	<b>MICROCIRCUITS, GATE/LOGIC ARRAYS AND MICROPROCESSORS</b>		
<b>MUDANÇA F p N1 p N2</b>	<b>Nº GATES</b>		
<i>Tabela: MOS Linear and Digital Gate/Logic Array Die Complexity Failure Rate - CI* PLA/PAL</i>	501 até 1000 = 0,0017	501 até 2000 = 0,0017	501 até 1000 = 0,0017
obs.	Informações na pág. 5-3 em todas as versões, seção 5.1.		
<b>MUDANÇA F para N1</b>	<b>Mudanças na maneira de calcular o fator <math>\pi_T</math>, que usa como referência 5.8</b>		
<i>Tabela: All Other Model Parameters</i>	Dependência da seção 5.8 que sofreu algumas alterações. Ver seção 5.8.	*****	
	F	F NOTICE 1	F NOTICE 2
<b>Seção 5.2</b>	<b>MICROCIRCUITS, MEMORIES</b>		
<b>MUDANÇA F/N1 para N2</b>	<b>Fator multiplicativo para A1 e A2</b>		
<i>Tabela: EEPROM Read/write Cycling induced failure Rate <math>\lambda_{cyc}=[A_1 B_1 + (A_2 B_2)/\pi_Q]</math> <math>\pi_{ECC}</math></i>	10.000/system life time operating hours	*****	System life time operating hours/10.000
obs.	Os fatores A1 e A2 foram desenvolvidos baseados numa vida útil do sistema de 10 000 horas de operação. Para sistemas EEPROM com uma expectativa de vida maior ou menor, os fatores A1 e A2 devem ser multiplicados pela equação acima que mudou nas três versões. Esses dados são encontrados na versão F pág 5-5, N1 pág 5-4 e N2 pág. 5-4		
<b>MUDANÇA F para N1</b>	<b>Mudanças na maneira de calcular o fator <math>\pi_T</math>, que usa como referência 5.8</b>		
<i>Tabela: All Other Model Parameters</i>	Dependência da seção 5.8 que sofreu algumas alterações. Ver seção 5.8.	*****	

Na seção 5.3, a mudança foi sutil, ocorreu na tabela: “*Die Base Failure Rate –  $\lambda_{BD}$* ” na página 5-7 da versão F para N1. Apenas acrescentou uma categoria aos tipos de partes. Na versão F havia apenas: “*Logic and Custom e Gate Array*”, na versão N1 junto com “*Gate Array*” na segunda linha, acrescentou “*memory*”. (Ver Tabela 4.2)

Tabela 4.2 -Mudanças para seção 5.3 do manual (*microcircuits, vhsic/vhsic-like and vlsi cmos*)

	F	F NOTICE 1	F NOTICE 2
<b>Seção 5.3</b>	<b>MICROCIRCUITS, VHSIC/VHSIC-LIKE AND VLSI CMOS</b>		
<b>MUDANÇA F para N1</b>	Party Type		
Tabela: <i>Die Base Failure Rate – <math>\lambda_{BD}</math></i>	Gate Array = 0,24	Gate Array and Memory = 0,24	*****

A seção 5.4 localizada na página 5-8, não sofreu mudanças aparentes. No entanto, para calcular o fator  $\pi_T$  é necessário recorrer aos dados da seção 5.8, que sofreu algumas alterações. Essas mudanças podem ou não resultar em uma alteração no fator temperatura e então alterar a taxa de falhas final, já que depende do fator em questão. Algo parecido ocorre na seção 5.5 (MICROCIRCUITS, HYBRIDOS), pág 5-9, na determinação de  $\lambda_C$  (Taxa de falhas de cada particular componente) para microcircuitos. Para calcular essa taxa utiliza-se o valor de  $T_J$  (Temperatura de junção) que usa como referência a seção 5.12 para determinar esse fator, e entre a versão F e N1 a equação de  $T_J$  (que se refere a temperatura de junção) sofre alteração. Como pode ser visualizada na Tabela 4.3.

A Tabela 4.4 mostra as mudanças nas seções 5.7, 5.8 e 5.12. A mudança na seção 5.7 se refere ao fator  $\pi_w$  que é o fator que descreve o ciclo de trabalho. Esse fator depende de outras variáveis, e uma dessas variáveis tem sua escala de valores alterada da versão F para N1. A Figura 4.2 descreve as variáveis

necessárias para o cálculo de  $\pi_W$  e a mudança ocorrida. Do lado esquerdo se refere a versão F e o direito a versão N1, uma correção tipográfica.

Tabela 4.3- mudanças na seção 5.4 (*microcircuits, gaas mmic and digital devices*) e seção 5.5 (*microcircuits, híbridos*).

	F	F NOTICE 1	F NOTICE 2
<b>Seção 5.4</b>	<b>MICROCIRCUITS, GaAs MMIC AND DIGITAL DEVICES</b>		
<b>MUDANÇA F para N1</b>	Referência para fatores $\pi_T$		
<i>Tabela: All Other Model Parameters</i>	Dependência das seções 5.8 e 5.10 para o cálculo dos fatores. Houve mudança na seção 5.8 que podem alterar o fator. Ver mudança da seção 5.8.		*****
	F	F NOTICE 1	F NOTICE 2
<b>Seção 5.5</b>	<b>MICROCIRCUITS, HÍBRIDOS</b>		
<b>MUDANÇA F para N1</b>	Referência para $\lambda_c$		
<i>Tabela: Determination of <math>\lambda_c</math></i>	Dependência das seções 5.12 que sofreu alterações. Ver seção 5.12.		*****

Write Duty Cycle Factor - $\pi_W$	Write Duty Cycle Factor - $\pi_W$
$\pi_W = \frac{10D}{(R/W)^3}$	$\pi_W = \frac{10D}{(R/W)^3}$
$\pi_W = 1 \quad \text{for } D \leq .3 \text{ or } R/W \geq 2154$	$\pi_W = 1 \quad \text{for } D \leq .03 \text{ or } R/W \geq 2154$
$D = \frac{\text{Avg. Device Data Rate}}{\text{Mfg. Max. Rated Data Rate}} \leq 1$	$D = \frac{\text{Avg. Device Data Rate}}{\text{Mfg. Max. Rated Data Rate}} \leq 1$
$R/W = \text{No. of Reads per Write}$	$R/W = \text{No. of Reads per Write}$
<b>NOTE:</b> For seed-bubble generators, divide $\pi_W$ by 4, or use 1, whichever is greater.	<b>NOTE:</b> For seed-bubble generators, divide $\pi_W$ by 4, or use 1, whichever is greater.

Figura 4.2- Descreve a mudança de escala da variável D, na seção 5.7 (versão F para N1)

Na seção 5.8, a mudança ocorre em torno do fator  $\pi_T$ , foi excluído a coluna com energia de ativação efetiva de 0,45 eV e os dispositivos dessa coluna foram alocados ou excluídos como mostra na Tabela 4.4. Microcircuitos do tipo “ALSTTL” estava na coluna de 0,4 eV e mudou na versão N1 para a coluna de 0,5 eV, STTL passou para coluna de 0,4 eV e componentes do tipo F foram excluídos. A mudança ocorrida em 5.12 se refere a equação para calcular a temperatura de junção.

Tabela 4.4 - Mudanças registradas nas seções: 5.7 (*microcircuits, magnetic bubble memories*), 5.8 (*microcircuits,  $\mu T$  table for all*) e 5.12 (*microcircuits,  $T_J$  determination, (for hybrids)*).

	F	F NOTICE 1	F NOTICE 2
<b>Seção 5.7</b>	<b>MICROCIRCUITS, MAGNETIC BUBBLE MEMORIES</b>		
<b>MUDANÇA F para N1</b>	Fator $\pi_W$ influenciado por D (mudou a escala de D)		
<i>Tabela: Write Duty Cycle Factor -<math>\pi_W</math></i>	$\pi_W = 1$ para $D \leq 0.3$ ou $R/W \geq 2154$	$\pi_W = 1$ para $D \leq 0.03$ ou $R/W \geq 2154$	*****
	F	F NOTICE 1	F NOTICE 2
<b>Seção 5.8</b>	<b>MICROCIRCUITS, <math>\pi T</math> TABLE FOR ALL</b>		
<b>MUDANÇA F para N1</b>	$E_a(eV) = 0.45$		
<i>Tabela: Temperature Factor for all microcircuits <math>\pi_T</math></i>	A coluna [ $E_a(eV) = 0.45$ ] foi excluída na passagem F p N1. Os tipos LTTTL foi alocado para coluna de 0,5 eV; STTL passou para coluna de 0,4 eV e F foi excluído.		*****
<b>MUDANÇA F para N1</b>	Componente do tipo ALSTTL passou de 0,4 para 0,5		
<i>Tabela: Temperature Factor for all microcircuits</i>	ALSTTL saiu dessa coluna e foi p coluna .5		*****
	F	F NOTICE 1	F NOTICE 2
<b>Seção 5.12</b>	<b>MICROCIRCUITS, <math>T_J</math> DETERMINATION, (FOR HIBRIDOS)</b>		
<b>MUDANÇA F para N1</b>	Correção da equação		
Estimativa de $T_J$	$T_J = T_C + .9 (\Theta_{JC})(P_D)$	$T_J = T_C + (\Theta_{JC})(P_D)$	*****
obs.	Saiu o termo 0.9 multiplicado na equação (F p N1)		

A Tabela 4.5 descreve as mudanças na seção 6.1 e seção 6.8. O valor de  $\lambda_b$  (Taxa básica de falhas) é alterado para o tipo de Diodo Retificador de Potência/Recuperação rápida na transição da versão F/N1 para a versão N2. Já a seção 6.8 sofre variação na transição da versão F para N1, afetando o fator ambiental para condições relacionadas com o voo motorizado de mísseis, mísseis de cruzeiro e mísseis em voo livre sem energia ( $M_F$ ). A seção 7.1 se altera na equação de taxa básica de falhas para “CW Klystrons”

Tabela 4.5 - Mudanças registradas nas seções: 6.1 (*diodos, low frequency*), 6.8 (*transistors, high frequency, GaAs FET*) e 7.1 (*tubes, all types except twt and magnetron*)

	F	F NOTICE 1	F NOTICE 2
<b>Seção 6.1</b>	<b>DIODOS, LOW FREQUENCY</b>		
<b>MUDANÇA F para N2</b>	*****	*****	Em "Diode Type/Application" mudou Valor de "Fast Recovery Power Rectifier"
<i>Tabela: Base Failure Rate</i> $\lambda_p$	Fast Recovery Power Rectifie = 0,069	*****	Fast Recovery Power Rectifie = 0,025
	F	F NOTICE 1	F NOTICE 2
<b>Seção 6.8</b>	<b>TRANSISTORS, HIGH FREQUENCY, GaAs FET</b>		
<b>MUDANÇA F para N1</b>	Ambiente $M_F$		
<i>Tabela: Environment Factor</i> $\pi_E$	$M_F = 7,5$	$M_F = 9$	*****
	F	F NOTICE 1	F NOTICE 2
<b>Seção 7.1</b>	<b>TUBES, ALL TYPES EXCEPT TWT AND MAGNETRON</b>		
<b>MUDANÇA F para N1</b>	Equação, um dos termos aumentou 10x.		
<i>Tabela: Alternate Base Failure Rate for CW Klystrons</i> – $\lambda_b$	$\lambda_b = 0,5 P + 0,00046F + 29$	$\lambda_b = 0,5 P + 0,0046F + 29$	*****

A seção 7.2 (TUBES, TRAVELING WAVE) localizada na página 7-3 passou por várias mudanças da versão F para a versão N2. Parte da mudança se refere ao fator ambiental, que teve seu valor alterado para todas as categorias de ambiente, ver Tabela 4.6. A mudança nessa seção se refere também a taxa

básica de falhas ( $\lambda_b$ ), com alterações na equação para calcular  $\lambda_b$ , mudou a escala para a frequência de operação em GHz, foi inserido uma linha para potência de 10W e muitos dos valores dessa tabela sofreram alterações. Ver Figura 4.3.

Tabela 4.6- Mudança na seção 7.2 (*tubes, traveling wave*)

	F	F NOTICE 1	F NOTICE 2
<b>Seção 7.2</b>	<b>TUBES, TRAVELING WAVE</b>		
<b>MUDANÇA F para N2</b>	Mudança em todos os valores da tabela de fatores ambiental ( $\pi_E$ ). Em geral os valores foram reduzidos pela metade.		
<i>Tabela: Environment Factor (<math>\pi_E</math>)</i>	$G_B = 1.0$	****	$G_B = 0.5$
	$G_F = 3.0$	****	$G_F = 1.5$
	$G_M = 14$	****	$G_M = 7.0$
	$N_S = 6.0$	****	$N_S = 3.0$
	$N_U = 21$	****	$N_U = 10$
	$A_{IC} = 10$	****	$A_{IC} = 5.0$
	$A_{IF} = 14$	****	$A_{IF} = 7.0$
	$A_{UC} = 11$	****	$A_{UC} = 6.0$
	$A_{UF} = 18$	****	$A_{UF} = 9.0$
	$A_{RW} = 40$	****	$A_{RW} = 20$
	$S_F = 0.10$	****	$S_F = 0.05$
	$M_F = 22$	****	$M_F = 11$
	$M_L = 66$	****	$M_L = 33$
$C_L = 1000$	****	$C_L = 500$	
<b>MUDANÇA F para N2</b>	Muitas mudanças na tabela taxa básica de falhas para calcular o $\lambda_b$ .		
<i>Tabela: Base Failure Rate - <math>\lambda_b</math></i>	*****	*****	Foi Inserido uma linha de 10 W, muitos dos valores da tabela, quase todos, foram alterados. A fórmula para o cálculo de $\lambda_b$ e o intervalo de frequência de operação em GHz também sofreram alterações.

Base Failure Rate - $\lambda_b$									
Power (W)	Frequency (GHz)								
	.1	1	2	4	6	8	10	14	18
100	11	12	13	16	20	24	29	42	61
500	11	12	13	16	20	24	29	42	62
1000	11	12	14	16	20	24	29	43	62
3000	12	13	14	17	21	25	30	44	65
5000	12	13	15	18	22	26	32	46	68
8000	13	14	16	19	23	28	33	49	72
10000	14	15	16	20	24	29	35	51	75
15000	15	16	18	22	26	32	39	56	83
20000	17	18	20	24	29	35	43	62	91
30000	20	22	24	29	36	43	52	76	110
40000	25	27	30	36	43	53	64	93	140

Base Failure Rate - $\lambda_b$									
Power (W)	Frequency (GHz)								
	.1	1	2	4	6	8	10	14	18
10	11	12	13	16	19	24	29	42	61
100	11	12	13	16	20	24	29	42	61
500	11	12	13	16	20	24	29	42	61
1000	11	12	13	16	20	24	29	42	62
3000	11	12	14	17	20	24	29	43	63
5000	12	13	14	17	20	25	30	44	64
8000	12	13	14	17	21	26	31	45	66
10000	12	13	15	18	22	26	32	46	68
15000	13	14	15	19	23	27	33	49	71
20000	14	15	16	20	24	29	35	51	75
30000	15	16	18	22	26	32	39	56	83
40000	17	18	20	24	29	35	43	62	91

$\lambda_b = 11(1.00002)^P (1.1)^F$
P = Rated Power in Watts (Peak, if Pulsed), .001 ≤ P ≤ 40,000
F = Operating Frequency in GHz, .3 ≤ F ≤ 18.
If the operating frequency is a band, or two different values, use the geometric mean of the end point frequencies when using table.

$\lambda_b = 11(1.00001)^P (1.1)^F$
P = Rated Power in Watts (Peak, if Pulsed), .001 ≤ P ≤ 40,000
F = Operating Frequency in GHz, .1 ≤ F ≤ 18
If the operating frequency is a band, or two different values, use the geometric mean of the end point frequencies when using table.

Figura 4.3- Descreve parte das mudanças na seção 7.2 da versão F (esquerda) para N2 (direita).

A versão N2 agrupou várias seções referentes a resistores da versão F em apenas uma seção e passou a abordar uma nova especificação (MIL R 55342). Para calcular a taxa de falhas de resistores utilizando a versão N2 examinará a seção 9.1, ao empregar a versão F terá 15 seções disponíveis e deverá consultar uma dessas seções de acordo com o tipo, características e especificações do resistor em questão. Os resistores declarados na versão F, com exceção do resistor descrito na seção 9.8, todos têm suas taxas básica de falhas calculada a partir da temperatura do ambiente e pelo estresse (s – relação entre a potência de operação e a potência aplicada), já na versão N2 esse valor foi tabelado de acordo com o tipo e especificação do resistor.

A fórmula utilizada para o cálculo da taxa de falhas dos resistores em N2 é a mesma para todos os tipos de resistores e considera: Fator de temperatura ( $\pi_T$ ), Fator de Potência ( $\pi_p$ ), Fator de Estresse de Potência ( $\pi_S$ ), Fator Qualidade ( $\pi_Q$ ) e Fator Ambiental ( $\pi_E$ ). A Tabela 4.7 mostra todas as seções que foram incorporadas em N2 e as mudanças na equação para a taxa de falhas.

Tabela 4.7 - As seções de resistores da versão F que foram aglomeradas na seção 9.1 da versão N2 e as mudanças no cálculo da taxa de falhas.

SEÇÃO	RESISTORES	TAXA DE FALHAS VERSÃO F	TAXA DE FALHAS VERSÃO N2
9.1	RESISTORS, FIXED, COMPOSITION	$\lambda_p = \lambda_b * \pi_R * \pi_Q * \pi_E$	$\lambda_p = \lambda_b * \pi_T * \pi_P * \pi_S * \pi_Q * \pi_E$
9.2	RESISTORS, FIXED, FILM		
9.3	RESISTORS, FIXED, FILM, POWER		
9.5	RESISTORS, FIXED, WIREWOUND		
9.6	RESISTORS, FIXED, WIREWOUND, POWER		
9.7	RESISTORS, FIXED, WIREWOUND, POWER, CHASSIS MOUNTED		
9.4	RESISTORS, NETWORK, FIXED, FILM		
9.8	RESISTORS, THERMISTOR	$\lambda_p = \lambda_b * \pi_Q * \pi_E$	
9.9	RESISTORS, VARIABLE, WIREWOUND	$\lambda_p = \lambda_b * \pi_{TAPS} * \pi_R * \pi_V * \pi_Q * \pi_E$	
9.11	RESISTORS, VARIABLE, WIREWOUND, SEMIPRECISION		
9.12	RESISTORS, VARIABLE, WIREWOUND, POWER		
9.13	RESISTORS, VARIABLE, NONWIREWOUND		
9.14	RESISTORS, VARIABLE, COMPOSITION		
9.15	RESISTORS, VARIABLE, NONWIREWOUND, FILM AND PRECISION		
9.10	RESISTORS, VARIABLE, WIREWOUND, PRECISION		

Com a Tabela 4.8 é possível visualizar as mudanças ocorridas na seção 9.1 (RESISTORS, FIXED, COMPOSITION), e com a Tabela 4.9 as mudanças da seção 9.2 (RESISTORS, FIXED, FILM) da F e a versão 9.1 da N2.

As seções 9.1 (RESISTORS FIXED, COMPOSITION), 9.2 (RESISTORS FIXED, FILM), 9.3 (RESISTORS FIXED, FILM, POWER), 9.5 (RESISTORS, FIXED, WIREWOUND), 9.6 (RESISTORS, FIXED, WIREWOUND, POWER) e 9.7 (RESISTORS, FIXED, WIREWOUND, POWER, CHASSIS MOUNTED) na

versão F, consideram para o cálculo da taxa de falhas o fator de qualidade ( $\pi_Q$ ) e fator ambiental ( $\pi_E$ ) ambos conservados em N2, porém as referências e valores foram modificadas. Em F considera também o fator resistência ( $\pi_R$ ) que em N2 foi desconsiderado.

Tabela 4.8 -Mudanças registrada na seção 9.1 (*resistors, fixed, composition*) entre versão F para N2.

	F	F NOTICE 1	F NOTICE 2
<b>Seção 9.1 F – seção 9.1 N2</b>	<b>RESISTORS FIXED, COMPOSITION</b>		
<b>MUDANÇA F para N2</b>	*****	*****	Mudança na equação de $\lambda_p$ e nas considerações para $\lambda_b$ . Mudou praticamente todos os valores da tabela de fator ambiental. No fator qualidade deixou de considerar a qualidade “MIL-R 11” e “Lower”.
<i>Tabela: Environment Factor <math>\pi_E</math></i>	$G_F = 3.0$	*****	$G_F = 4.0$
	$G_M = 8.0$	*****	$G_M = 16$
	$N_S = 5.0$	*****	$N_S = 12$
	$N_U = 13$	*****	$N_U = 42$
	$A_{IC} = 4.0$	*****	$A_{IC} = 18$
	$A_{IF} = 0.5$	*****	$A_{IF} = 23$
	$A_{UC} = 7.0$	*****	$A_{UC} = 31$
	$A_{UF} = 11$	*****	$A_{UF} = 43$
	$A_{RW} = 19$	*****	$A_{RW} = 63$
	$S_F$ não mudou	*****	*****
	$M_F = 11$	*****	$M_F = 37$
	$M_L = 27$	*****	$M_L = 87$
	$C_L = 490$	*****	$C_L = 1728$

Tabela 4.9 -Mudanças registrada na seção 9.2 (*resistors fixed, film*), entre versão F para N2.

	F	F NOTICE 1	F NOTICE 2
<b>Seção 9.2 F – seção 9.1 N2</b>	<b>RESISTORS FIXED, FILM</b>		
<b>MUDANÇA F para N2</b>	*****	*****	Mudança na equação de $\lambda_p$ e nas considerações para $\lambda_b$ que continha duas tabelas de referências para o cálculo. Mudou praticamente todos os valores da tabela de fator ambiental. No fator qualidade deixou de considerar a qualidade MIL-R 10509, “MIL-R 22684” e “Lower”.
<i>Tabela: Environment Factor <math>\pi_E</math></i>	$G_B$ não mudou	*****	*****
	$G_F = 2.0$	*****	$G_F = 4.0$
	$G_M = 8.0$	*****	$G_M = 16$
	$N_S = 4.0$	*****	$N_S = 12$
	$N_U = 14.0$	*****	$N_U = 42$
	$A_{IC} = 4.0$	*****	$A_{IC} = 18$
	$A_{IF} = 8.0$	*****	$A_{IF} = 23$
	$A_{UC} = 10.0$	*****	$A_{UC} = 31$
	$A_{UF} = 18.0$	*****	$A_{UF} = 43$
	$A_{RW} = 19$	*****	$A_{RW} = 63$
	$S_F = 0.20$	*****	$S_F = 0.50$
	$M_F = 10$	*****	$M_F = 37$
	$M_L = 28$	*****	$M_L = 87$
	$C_L = 510$	*****	$C_L = 1728$

Tabela 4.10 - Mudanças registrada na seção 9.3 (*resistors, fixed, film, power*), versão F para N2.

	F	F NOTICE 1	F NOTICE 2
<b>Seção 9.3 F – seção 9.1 N2</b>	<b>RESISTORS FIXED, FILM, POWER</b>		
<b>MUDANÇA F para N2</b>	*****	*****	Mudança na equação de $\lambda_p$ e nas considerações para $\lambda_b$ . Mudou praticamente todos os valores da tabela de fator ambiental. As considerações do fator qualidade mudou em F considerava apenas “MIL –SPEC” e “Lower”, em N2 não considera essas qualidades e sim outras.
<i>Tabela: Environment Factor <math>\pi_E</math></i>	$G_B$ não mudou	*****	*****
	$G_F = 2.0$	*****	$G_F = 4.0$
	$G_M = 10.0$	*****	$G_M = 16$
	$N_S = 5.0$	*****	$N_S = 12$
	$N_U = 17.0$	*****	$N_U = 42$
	$A_{IC} = 6.0$	*****	$A_{IC} = 18$
	$A_{IF} = 8.0$	*****	$A_{IF} = 23$
	$A_{UC} = 14.0$	*****	$A_{UC} = 31$
	$A_{UF} = 18.0$	*****	$A_{UF} = 43$
	$A_{RW} = 25.0$	*****	$A_{RW} = 63$
	$S_F$ = não mudou	*****	$S_F = 0.50$
	$M_F = 14.0$	*****	$M_F = 37$
	$M_L = 36$	*****	$M_L = 87$
	$C_L = 660$	*****	$C_L = 1728$
<i>Tabela: Quality Factor <math>\pi_Q</math></i>		*****	$S = 0.03$
		*****	$R = 0.1$
	MIL SPEC = 1.0	*****	$P = 0.3$
	Lower = 3.0	*****	$M = 1.0$
		*****	Non Established Reliability = 3.0
		*****	Commercial or Unknwn Screening = 10.0

O tipo de resistor declarado na seção 9.4 (RESISTORS, NETWORK, FIXED, FILM) da versão F considera fatores comuns com a versão N2 no cálculo da

taxa de falhas, o fator temperatura ( $\pi_T$ ), fator qualidade ( $\pi_Q$ ) e fator ambiental ( $\pi_E$ ). No entanto os valores de referência para o fator ambiental e qualidade sofreram várias alterações (ver Tabela 4.11). Houve modificação na equação base para o cálculo do fator temperatura, alterando também os fatores considerados para o cálculo. Na versão F é considerado o número de resistores de filme com o uso do fator número de resistores ( $\pi_T$ ) que na versão N2 não é utilizado.

Tabela 4.11 - Mudanças registrada na seção 9.4 (*resistors, network, fixed, film*), versão F para N2.

	F	F NOTICE 1	F NOTICE 2
<b>Seção 9.4 F – seção 9.1 N2</b>	<b>RESISTORS, NETWORK, FIXED, FILM</b>		
<b>MUDANÇA F para N2</b>	*****	*****	Mudança na equação de $\lambda_p$ e nas considerações para $\lambda_b$ . Mudou praticamente todos os valores da tabela de fator ambiental. As considerações do fator qualidade mudou em F considerava apenas “MIL –SPEC” e “Lower”, em N2 não considera essas qualidades e sim outras.
<i>Tabela: Environment Factor <math>\pi_E</math></i>	$G_F = 2.0$	*****	$G_F = 4.0$
	$G_M = 8.0$	*****	$G_M = 16$
	$N_S = 4.0$	*****	$N_S = 12$
	$N_U = 14.0$	*****	$N_U = 42$
	$A_{IC} = 4.0$	*****	$A_{IC} = 18$
	$A_{IF} = 8.0$	*****	$A_{IF} = 23$
	$A_{UC} = 9.0$	*****	$A_{UC} = 31$
	$A_{UF} = 18.0$	*****	$A_{UF} = 43$
	$A_{RW} = 19.0$	*****	$A_{RW} = 63$
	$S_F =$ não mudou	*****	$S_F = 0.50$
	$M_F = 14.0$	*****	$M_F = 37$
	$M_L = 28.0$	*****	$M_L = 87$
	$C_L = 510$	*****	$C_L = 1728$
<i>Tabela: Quality Factor <math>\pi_Q</math></i>		*****	$S = 0.03$
		*****	$R = 0.1$
	MIL SPEC = 1.0	*****	$P = 0.3$
	Lower = 3.0	*****	$M = 1.0$
		*****	Non Established Reliability = 3.0
		*****	Commercial or Unknwn Screening = 10.0

Tabela 4.12 - Mudanças registrada na seção 9.5 (*resistors, fixed, wirewound*) e 9.6 (*resistors, fixed, wirewound, power*), versão F para N2.

	F	F NOTICE 1	F NOTICE 2
<b>MUDANÇA F para N2</b>	*****	*****	Mudança na equação de $\lambda_p$ , nas consideração para $\lambda_b$ . Mudança nos valores da tabela $\pi_E$ . No fator qualidade foi tirado as especificações "MIL R 93" e "Lower" e acrescentado a não estabelecida.
<b>Seção 9.5 F – seção 9.1 N2</b>	<b>RESISTORS, FIXED, WIREWOUND</b>		
<i>Tabela: Environment Factor <math>\pi_E</math></i>	$G_F = 2.0$	*****	$G_F = 4.0$
	$G_M = 11.0$	*****	$G_M = 16$
	$N_S = 5.0$	*****	$N_S = 12$
	$N_U = 18.0$	*****	$N_U = 42$
	$A_{IC} = 15.0$	*****	$A_{IC} = 18$
	$A_{IF} = 18.0$	*****	$A_{IF} = 23$
	$A_{UC} = 28.0$	*****	$A_{UC} = 31$
	$A_{UF} = 35.0$	*****	$A_{UF} = 43$
	$A_{RW} = 27.0$	*****	$A_{RW} = 63$
	$S_F = 0.8$	*****	$S_F = 0.50$
	$M_F = 14.0$	*****	$M_F = 37$
	$M_L = 38.0$	*****	$M_L = 87$
	$C_L = 610$	*****	$C_L = 1728$
	F	F NOTICE 1	F NOTICE 2
<b>Seção 9.6 F – seção 9.1 N2</b>	<b>RESISTORS, FIXED, WIREWOUND, POWER</b>		
<i>Tabela: Environment Factor <math>\pi_E</math></i>	$G_F = 2.0$	*****	$G_F = 4.0$
	$G_M = 10.0$	*****	$G_M = 16$
	$N_S = 5.0$	*****	$N_S = 12$
	$N_U = 16.0$	*****	$N_U = 42$
	$A_{IC} = 4.0$	*****	$A_{IC} = 18$
	$A_{IF} = 8.0$	*****	$A_{IF} = 23$
	$A_{UC} = 9.0$	*****	$A_{UC} = 31$
	$A_{UF} = 18.0$	*****	$A_{UF} = 43$
	$A_{RW} = 23.0$	*****	$A_{RW} = 63$
	$S_F = 0.3$	*****	$S_F = 0.50$
	$M_F = 13.0$	*****	$M_F = 37$
	$M_L = 34.0$	*****	$M_L = 87$
	$C_L = 610$	*****	$C_L = 1728$

Tabela 4.13 - Mudanças registrada na seção 9.7 (*resistors, fixed, wirewound, power, chassis mounted*), versão F para N2.

	F	F NOTICE 1	F NOTICE 2
<b>Seção 9.7 F – seção 9.1 N2</b>	<b>RESISTORS, FIXED, WIREWOUND, POWER, CHASSIS MOUNTED</b>		
<b>MUDANÇA F para N2</b>	*****	*****	Mudança na equação de $\lambda_p$ e nas considerações para $\lambda_b$ . Mudou praticamente todos os valores da tabela de fator ambiental. No fator qualidade foi tirado as especificações “MIL R 18546” e qualidade “Lower” e acrescentado a não estabelecida.
<i>Tabela: Environment Factor <math>\pi_E</math></i>	$G_F = 2.0$	*****	$G_F = 4.0$
	$G_M = 10.0$	*****	$G_M = 16$
	$N_S = 5.0$	*****	$N_S = 12$
	$N_U = 16.0$	*****	$N_U = 42$
	$A_{IC} = 4.0$	*****	$A_{IC} = 18$
	$A_{IF} = 8.0$	*****	$A_{IF} = 23$
	$A_{UC} = 9.0$	*****	$A_{UC} = 31$
	$A_{UF} = 18.0$	*****	$A_{UF} = 43$
	$A_{RW} = 23.0$	*****	$A_{RW} = 63$
	$M_F = 13.0$	*****	$M_F = 37$
	$M_L = 34.0$	*****	$M_L = 87$
	$C_L = 610$	*****	$C_L = 1728$

Os resistores declarados nas seções: 9.9 (RESISTORS, VARIABLE, WIREWOUND) detalhada na Tabela 4.15; 9.11 (RESISTORS, VARIABLE, WIREWOUND, SEMIPRECISION) detalhada na Tabela 4.17; 9.12 (RESISTORS, VARIABLE, WIREWOUND, POWER), 9.13 (RESISTORS, VARIABLE, NONWIREWOUND) detalhadas na Tabela 4.18; 9.14 (RESISTORS, VARIABLE, COMPOSITION) detalhada na Tabela 4.19 e 9.15 (RESISTORS, VARIABLE, NONWIREWOUND, FILM AND PRECISION) detalhada na Tabela 4.20; possuem a mesma fórmula para o cálculo da taxa de falhas na versão F, porém com valores de referências diferentes. Dos fatores

de correção utilizados em F, dois deles são comuns com a versão N2, o fator ambiental ( $\pi_E$ ) e o fator qualidade ( $\pi_Q$ ). Os fatores não comuns com a versão N2 são: o fator potenciômetro ( $\pi_{TAPS}$ ), fator resistência ( $\pi_R$ ) e fator tensão ( $\pi_V$ ).

A seção 9.10 (RESISTORS, VARIABLE, WIREWOUND, PRECISION) detalhada na Tabela 4.16, em F considera para o cálculo da taxa de falhas o fator ambiental ( $\pi_E$ ), que passou por várias mudanças de valores, o fator qualidade ( $\pi_Q$ ), o fator potenciômetro ( $\pi_{TAPS}$ ), fator resistência ( $\pi_R$ ), fator tensão ( $\pi_V$ ) e o fator classe construção ( $\pi_C$ ).

Tabela 4.14 - Mudanças registrada em 9.8 (*resistors, thermistor*)

	F	F NOTICE 1	F NOTICE 2
<b>Seção 9.8 F – seção 9.1 N2</b>	<b>RESISTORS, THERMISTOR</b>		
<b>MUDANÇA F para N2</b>	*****	*****	Mudança na equação de $\lambda_p$ e valores para $\lambda_b$ . Mudou praticamente todos os valores da tabela de fator ambiental. No fator qualidade em F é considerado apenas "MIL SPEC" e "Lower", ambas retiradas em N2.
<i>Tabela: Environment Factor <math>\pi_E</math></i>	$G_F = 5.0$	*****	$G_F = 4.0$
	$G_M = 21.0$	*****	$G_M = 16$
	$N_S = 11.0$	*****	$N_S = 12$
	$N_U = 24.0$	*****	$N_U = 42$
	$A_{IC} = 11.0$	*****	$A_{IC} = 18$
	$A_{IF} = 30.0$	*****	$A_{IF} = 23$
	$A_{UC} = 16.0$	*****	$A_{UC} = 31$
	$A_{UF} = 42.0$	*****	$A_{UF} = 43$
	$A_{RW} = 37.0$	*****	$A_{RW} = 63$
	$M_F = 20.0$	*****	$M_F = 37$
	$M_L = 53.0$	*****	$M_L = 87$
	$C_L = 950$	*****	$C_L = 1728$

Tabela 4.15 - Mudanças registrada em 9.9 (*resistors, variable, wirewound*), versão F para N2.

	F	F NOTICE 1	F NOTICE 2
<b>Seção 9.9 F – seção 9.1 N2</b>	<b>RESISTORS, VARIABLE, WIREWOUND</b>		
<b>MUDANÇA F para N2</b>	*****	*****	Mudança na equação de $\lambda_p$ , referências de valores para $\lambda_b$ e nos valores da tabela fator ambiental. O fator qualidade de F para N2 é desconsiderado a qualidade “MIL R 27208” e a qualidade “Lower”, passa a considerar qualidade não estabelecida
<i>Tabela: Environment Factor <math>\pi_E</math></i>	$G_F = 2.0$	*****	$G_F = 4.0$
	$G_M = 12.0$	*****	$G_M = 16$
	$N_S = 6.0$	*****	$N_S = 12$
	$N_U = 20.0$	*****	$N_U = 42$
	$A_{IC} = 5.0$	*****	$A_{IC} = 18$
	$A_{IF} = 8.0$	*****	$A_{IF} = 23$
	$A_{UC} = 9.0$	*****	$A_{UC} = 31$
	$A_{UF} = 15.0$	*****	$A_{UF} = 43$
	$A_{RW} = 33.0$	*****	$A_{RW} = 63$
	$M_F = 18.0$	*****	$M_F = 37$
	$M_L = 48.0$	*****	$M_L = 87$
	$C_L = 870$	*****	$C_L = 1728$

Tabela 4.16 - Mudanças registrada em 9.10 (*resistors, variable, wirewound, precision*)

	F	F NOTICE 1	F NOTICE 2
Seção 9.10 F – seção 9.1 N2	<b>RESISTORS, VARIABLE, WIREWOUND, PRECISION</b>		
<b>MUDANÇA F para N2</b>	*****	*****	Mudança na equação de $\lambda_p$ e referências para valores de $\lambda_b$ . Mudou praticamente todos os valores da tabela de fator ambiental. No fator qualidade em F é considerado apenas “MIL SPEC” e “Lower”, ambas retiradas em N2.
<i>Tabela: Environment Factor <math>\pi_E</math></i>	$G_F = 2.0$	*****	$G_F = 4.0$
	$G_M = 18.0$	*****	$G_M = 16$
	$N_S = 8.0$	*****	$N_S = 12$
	$N_U = 30.0$	*****	$N_U = 42$
	$A_{IC} = 8.0$	*****	$A_{IC} = 18$
	$A_{IF} = 12.0$	*****	$A_{IF} = 23$
	$A_{UC} = 13.0$	*****	$A_{UC} = 31$
	$A_{UF} = 18.0$	*****	$A_{UF} = 43$
	$A_{RW} = 53.0$	*****	$A_{RW} = 63$
	$M_F = 29.0$	*****	$M_F = 37$
	$M_L = 76.0$	*****	$M_L = 87$
	$C_L = 1400.00$	*****	$C_L = 1728$

Tabela 4.17 - Mudanças registrada em 9.11 (*resistors, variable, wirewound, semiprecision*), versão F para N2.

	F	F NOTICE 1	F NOTICE 2
Seção 9.11 F – seção 9.1 N2	<b>RESISTORS, VARIABLE, WIREWOUND, SEMIPRECISION</b>		
<b>MUDANÇA F para N2</b>	*****	*****	Mudança na equação de $\lambda_p$ e referências para valores de $\lambda_b$ . Mudou praticamente todos os valores da tabela de fator ambiental. No fator qualidade em F é considerado apenas “MIL SPEC” e “Lower”, ambas retiradas em N2.
<i>Tabela: Environment Factor <math>\pi_E</math></i>	$G_F = 2.0$	*****	$G_F = 4.0$
	$G_M = 16.0$	*****	$G_M = 16$
	$N_S = 7.0$	*****	$N_S = 12$
	$N_U = 28.0$	*****	$N_U = 42$
	$A_{IC} = 8.0$	*****	$A_{IC} = 18$
	$A_{IF} = 12.0$	*****	$A_{IF} = 23$
	$A_{UC} = N/A$	*****	$A_{UC} = 31$
	$A_{UF} = N/A$	*****	$A_{UF} = 43$
	$A_{RW} = 38.0$	*****	$A_{RW} = 63$
	$M_F = N/A$	*****	$M_F = 37$
	$M_L = N/A$	*****	$M_L = 87$
	$C_L = N/A$	*****	$C_L = 1728$

Tabela 4.18 - Mudanças registrada em 9.12 (*resistors, variable, wirewound, power*) e 9.13 (*resistors, variable, nonwirewound*), versão F para N2.

	<b>F</b>	<b>F NOTICE 1</b>	<b>F NOTICE 2</b>
<b>Seção 9.12 F – seção 9.1 N2</b>	<b>RESISTORS, VARIABLE, WIREWOUND, POWER</b>		
<b>MUDANÇA F para N2</b>	*****	*****	Mudança na equação de $\lambda_p$ e referências para valores de $\lambda_b$ . Mudou praticamente todos os valores da tabela de fator ambiental. No fator qualidade em F é considerado apenas “MIL SPEC” e “Lower”, ambas retiradas em N2.
<i>Tabela:</i> Environment Factor $\pi_E$	$G_F = 3.0$	*****	$G_F = 4.0$
	Demais mudanças de valores, ver as alterações ambientais da seção 9.11.		
	<b>F</b>	<b>F NOTICE 1</b>	<b>F NOTICE 2</b>
<b>Seção 9.13 F – seção 9.1 N2</b>	<b>RESISTORS, VARIABLE, NONWIREWOUND</b>		
<b>MUDANÇA F para N2</b>	*****	*****	Mudança na equação de $\lambda_p$ e referências para valores de $\lambda_b$ . Mudou praticamente todos os valores da tabela de fator ambiental. No fator qualidade em F deixou de ser considerado a qualidade “MIL R 22097” e “Lower” em N2.
<i>Tabela:</i> Environment Factor $\pi_E$	$G_B$ não mudou	*****	
	$G_F = 3.0$	*****	$G_F = 4.0$
	$G_M = 14.0$	*****	$G_M = 16$
	$N_S = 6.0$	*****	$N_S = 12$
	$N_U = 24.0$	*****	$N_U = 42$
	$A_{IC} = 5.0$	*****	$A_{IC} = 18$
	$A_{IF} = 7.0$	*****	$A_{IF} = 23$
	$A_{UC} = 12.0$	*****	$A_{UC} = 31$
	$A_{UF} = 18.0$	*****	$A_{UF} = 43$
	$A_{RW} = 39.0$	*****	$A_{RW} = 63$
	$S_F$ = não mudou	*****	$S_F = 0.50$
	$M_F = 22.0$	*****	$M_F = 37$
	$M_L = 57.0$	*****	$M_L = 87$
$C_L = 1000.0$	*****	$C_L = 1728$	

Tabela 4.19 - Mudanças registrada em 9.14 (*resistors, variable, composition power*)

	F	F NOTICE 1	F NOTICE 2
Seção 9.14 F – seção 9.1 N2	<b>RESISTORS, VARIABLE, COMPOSITION</b>		
<b>MUDANÇA F para N2</b>	*****	*****	Mudança na equação de $\lambda_p$ e referências para valores de $\lambda_b$ . Mudou praticamente todos os valores da tabela de fator ambiental. No fator qualidade em F é considerado apenas “MIL SPEC” e “Lower”, ambas retiradas em N2.
<i>Tabela: Environment Factor <math>\pi_E</math></i>	$G_F = 2.0$	*****	$G_F = 4.0$
	$G_M = 19.0$	*****	$G_M = 16$
	$N_S = 8.0$	*****	$N_S = 12$
	$N_U = 29.0$	*****	$N_U = 42$
	$A_{IC} = 40.0$	*****	$A_{IC} = 18$
	$A_{IF} = 65.0$	*****	$A_{IF} = 23$
	$A_{UC} = 48.0$	*****	$A_{UC} = 31$
	$A_{UF} = 78.0$	*****	$A_{UF} = 43$
	$A_{RW} = 46.0$	*****	$A_{RW} = 63$
	$M_F = 25.0$	*****	$M_F = 37$
	$M_L = 66.0$	*****	$M_L = 87$
	$C_L = 1200.0$	*****	$C_L = 1728$

Tabela 4.20 - Mudanças registrada em 9.15 (*resistors, variable, nonwirewound, film and precision*), versão F para N2.

	F	F NOTICE 1	F NOTICE 2
Seção 9.15 F – seção 9.1 N2	<b>RESISTORS, VARIABLE, NONWIREWOUND, FILM AND PRECISION</b>		
<b>MUDANÇA F para N2</b>	*****	*****	Mudança na equação de $\lambda_p$ e referências para valores de $\lambda_b$ . Mudou praticamente todos os valores da tabela de fator ambiental. No fator qualidade em F é considerado apenas “MIL SPEC” e “Lower”, ambas retiradas em N2.
<i>Tabela: Environment Factor <math>\pi_E</math></i>	$G_F = 3.0$	*****	$G_F = 4.0$
	$G_M = 14.0$	*****	$G_M = 16$
	$N_S = 7.0$	*****	$N_S = 12$
	$N_U = 24.0$	*****	$N_U = 42$
	$A_{IC} = 6.0$	*****	$A_{IC} = 18$
	$A_{IF} = 12.0$	*****	$A_{IF} = 23$
	$A_{UC} = 20.0$	*****	$A_{UC} = 31$
	$A_{UF} = 30.0$	*****	$A_{UF} = 43$
	$A_{RW} = 39.0$	*****	$A_{RW} = 63$
	$M_F = 22.0$	*****	$M_F = 37$
	$M_L = 57.0$	*****	$M_L = 87$
	$C_L = 1000.0$	*****	$C_L = 1728$

Com a atualização N2 tudo que se referia a capacitores em F (da seção 10.1 a seção 10.19) ficou aglutinado em 10.1 da versão N2, que passou a considerar para o cálculo da taxa de falhas dos componentes em N2, os seguintes fatores: Fator de temperatura ( $\pi_T$ ), Fator de capacitância ( $\pi_C$ ), Fator de Estresse para Tensão ( $\pi_V$ ), Fator de Resistencia em Série ( $\pi_{SR}$ ), Fator Ambiental ( $\pi_E$ ) e o fator de qualidade ( $\pi_Q$ ).

A Tabela 4.21 exhibe as alterações ocorridas da versão F para N2 no cálculo da taxa de falhas para capacitores em geral.

A taxa básica de falhas ( $\lambda_b$ ) para as seções 10.1 a 10.19 da versão F é calculada em função da temperatura ambiente e da relação entre a tensão de

operação e a tensão nominal. Algumas dessas seções em F possuem mais de uma equação para  $\lambda_b$ , com classificações máximas de temperaturas diferentes, algumas das seções chegam a ter quatro classificações diferentes. A seção 10.1 (CAPACITORS, FIXED, PAPER, BY-PASS) possui duas classificações de temperatura 85° C e 125° C, já a seção 10.2 (CAPACITORS, FIXED, PAPER, FEED-THOUGH) possui três classificações máximas 85° C, 125° C e 150 ° C.

No que se refere a capacitores muitas mudanças nos valores das categorias de ambiente. No fator qualidade novos estilos foram estabelecidas e outras desconsideradas na transição de F para N2.

Com a atualização N2 tudo que se referia a capacitores em F (da seção 10.1 a seção 10.19) ficou aglutinado em 10.1 da versão N2, que passou a considerar para o cálculo da taxa de falhas dos componentes em N2, os seguintes fatores: Fator de temperatura ( $\pi_T$ ), Fator de capacitância ( $\pi_C$ ), Fator de Estresse para Tensão ( $\pi_V$ ), Fator de Resistencia em Série ( $\pi_{SR}$ ), Fator Ambiental ( $\pi_E$ ) e o fator de qualidade ( $\pi_Q$ ).

A taxa básica de falhas ( $\lambda_b$ ) para as seções 10.1 a 10.19 da versão F é calculada em função da temperatura ambiente e da relação entre a tensão de operação e a tensão nominal. Algumas dessas seções em F possuem mais de uma equação para  $\lambda_b$ , com classificações máximas de temperaturas diferentes, algumas das seções chegam a ter quatro classificações diferentes. A seção 10.1 (CAPACITORS, FIXED, PAPER, BY-PASS) conforme tabela 4.22 possui duas classificações de temperatura 85° C e 125° C, já a seção 10.2 (CAPACITORS, FIXED, PAPER, FEED-THOUGH) possui três classificações máximas 85° C, 125° C e 150 ° C, ver detalhes das mudanças na tabela 4.23.

No que se refere a capacitores muitas mudanças nos valores das categorias de ambiente. No fator qualidade novos estilos foram estabelecidas e outras desconsideradas na transição de F para N2.

As mudanças ocorridas com capacitores podem ser visualizadas em detalhes em várias tabelas, a seção 10.1 é detalhada na tabela 4.22, a seção 10.2 na

tabela 4.23, a seção 10.3 e 10.4 na tabela 4.24, a seção 10.5 na tabela 4.25, a seção 10.6 na tabela 4.26, a seção 10.7 na tabela 4.27, a seção 10.8 na tabela 4.28, a seção 10.9 na tabela 4.29, a seção 10.10 na tabela 4.30, a seção 10.11 na tabela 4.31, a seção 10.12 na tabela 4.32, a seção 10.13 na tabela 4.33, a seção 10.14 na tabela 4.34, a seção 10.15 na tabela 4.35, a seção 10.16 na tabela 4.36, a seção 10.17 e 10.18 na tabela 4.37 e a seção 10.19 na tabela 4.38.

Os capacitores de tântalo sólidos classificados na versão F na seção 10.12, utilizam um fator de resistência em série ( $\pi_{SR}$ ), que é tabelado a partir da resistência do circuito, definida como a diferença da resistência efetiva do capacitor e a fonte de alimentação dividida pela tensão aplicada ao capacitor. A mudança de valores de F para N2 é que em N2 os valores da tabela são dez vezes maiores que em F. Importante salientar que a versão N2 (seção 10.1) utiliza esse fator para todos os tipos de capacitores, mas o mesmo aparece como neutro, recebendo um valor diferente de um apenas para os capacitores de tântalo sólido e componentes com chip.

Tabela 4.21 - As seções de capacitores da versão F que foram aglomeradas na seção 10.1 da versão N2 e as mudanças no cálculo da taxa de falhas.

SEÇÃO	CAPACITORES	TAXA DE FALHAS	TAXA DE FALHAS
10.1	CAPACITORS, FIXED, PAPER, BY-PASS	$\lambda_p = \lambda_b * \pi_{CV} * \pi_Q * \pi_E$	$\lambda_p = \lambda_b * \pi_T * \pi_C * \pi_V * \pi_{SR} * \pi_Q * \pi_E$
10.2	CAPACITORS, FIXED, PAPER, FEED-THROUGH		
10.3	CAPACITORS, FIXED, PAPER AND PLASTIC FILM		
10.4	CAPACITORS, FIXED, METALLIZED PAPER, PAPER-PLASTIC AND PLASTIC		
10.5	CAPACITORS, FIXED, PLASTIC AND METALLIZED PLASTIC		
10.6	CAPACITORS, FIXED, SUPER-METALLIZED PLASTIC		
10.7	CAPACITORS, FIXED, MICA		
10.8	CAPACITORS, FIXED, MICA, BUTTON		
10.9	CAPACITORS, FIXED, GLASS		
10.10	CAPACITORS, FIXED, CERAMIC, GENERAL PURPOSE		
10.11	CAPACITORS, FIXED, CERAMIC, TEMPERATURE COMPENSATING AND CHIP		
10.14	CAPACITORS, FIXED, ELETROLYTIC, ALUMINUM	$\lambda_p = \lambda_b * \pi_{CV} * \pi_{SR} * \pi_Q * \pi_E$	
10.15	CAPACITORS, FIXED, ELETROLYTIC (DRY), ALUMINUM		
10.12	CAPACITORS, FIXED, ELETROLYTIC, TANTALUM, SOLID	$\lambda_p = \lambda_b * \pi_{CV} * \pi_C * \pi_Q * \pi_E$	
10.13	CAPACITORS, FIXED, ELETROLYTIC, TANTALUM, NON-SOLID	$\lambda_p = \lambda_b * \pi_{CV} * \pi_C * \pi_Q * \pi_E$	
10.16	CAPACITORS, VARIABLE, CERAMIC	$\lambda_p = \lambda_b * \pi_Q * \pi_E$	$\lambda_p = \lambda_b * \pi_T * \pi_C * \pi_V * \pi_{SR} * \pi_Q * \pi_E$
10.17	CAPACITORS, VARIABLE, PISTON TYPE		
10.18	CAPACITORS, VARIABLE, AIR TRIMMER		
10.19	CAPACITORS, VARIABLE AND FIXED, GAS OR VACUUM	$\lambda_p = \lambda_b * \pi_{CF} * \pi_Q * \pi_E$	

Tabela 4.22 - Mudança registrada na seção 10.1 (*capacitors, fixed, paper, by-pass*)

	<b>F</b>	<b>F NOTICE 1</b>	<b>F NOTICE 2</b>
Equação $\lambda_p$	$\lambda_p = \lambda_b * \pi_{CV} * \pi_Q * \pi_E$	F	$\lambda_p = \lambda_b * \pi_T * \pi_C * \pi_V * \pi_{SR} * \pi_Q * \pi_E$
<b>Seção 10.1F – Seção 10.1 N2</b>	<b>CAPACITORS, FIXED, PAPER, BY-PASS</b>		
<b>MUDANÇA F para N2</b>	*****	*****	Mudou a equação de $\lambda_p$ , mudou equação para calcular $\lambda_b$ , mudança no fator ambiental para vários ambientes. No fator qualidade em F é considerado apenas as qualidades “MIL SPEC” e “Lower”, ambas retiradas em N2.
<i>Tabela: Environment Factor <math>\pi_E</math></i>	$G_F = 2$	*****	$G_F = 10.0$
	$G_M = 9$	*****	$G_M = 20.0$
	$N_S = 5$	*****	$N_S = 7.0$
	$A_{IC} = 6$	*****	$A_{IC} = 12.0$
	$A_{IF} = 8$	*****	$A_{IF} = 15.0$
	$A_{UC} = 17$	*****	$A_{UC} = 25.0$
	$A_{UF} = 32$	*****	$A_{UF} = 30.0$
	$A_{RW} = 22$	*****	$A_{RW} = 40.0$
	$M_F = 12$	*****	$M_F = 20.0$
$M_L = 32$	*****	$M_L = 50.0$	
<i>Tabela: Quality Factor <math>\pi_Q</math></i>	*****	*****	Passou a considerar outros níveis de qualidade: D, C, S, B, R, P, M, L, confiabilidade não estabelecida, qualidade comercial ou nível de seleção desconhecida.

Tabela 4.23 - Mudança registrada na seção 10.2 (*capacitors, fixed, paper, feed-through*) da versão F para a versão N2.

	F	F NOTICE 1	F NOTICE 2
<b>Seção 10.2F – Seção 10.1 N2</b>	<b>CAPACITORS, FIXED, PAPER, FEED-THROUGH</b>		
<b>MUDANÇA F para N2</b>			Mudou a equação de $\lambda_p$ , mudou equação para calcular $\lambda_b$ , mudança no fator ambiental para vários ambientes. No fator qualidade em F é considerado apenas as qualidades M, Não estabelecida e “ <i>Lower</i> ”, foi retirada a qualidade “ <i>Lower</i> ” em N2 e acrescentada outras.
<i>Tabela: Environment Factor <math>\pi_E</math></i>	$N_S=7$	*****	$N_S=7$
	$A_{UF}=32$	*****	$A_{UF}=30$
	*****	*****	Os outros valores do fator ambiental não mudaram em relação a seção 10.1, ou seja, para observar as demais categorias de ambiente que sofrem mudanças no consultar a seção 10.1.

Tabela 4.24 - Mudança registrada nas seções 10.3 (*capacitors, fixed, paper and plastic film*) e 10.4 (*capacitors, fixed, metallized paper, paper-plastic and plastic*) da versão F para a versão N2.

	<b>F</b>	<b>F NOTICE 1</b>	<b>F NOTICE 2</b>
Equação $\lambda_p$	$\lambda_p = \lambda_b * \pi_{CV} * \pi_Q * \pi_E$	F	$\lambda_p = \lambda_b * \pi_T * \pi_C * \pi_V * \pi_{SR} * \pi_Q * \pi_E$
<b>Seção 10.3F – Seção 10.1 N2</b>	<b>CAPACITORS, FIXED, PAPER AND PLASTIC FILM</b>		
<b>MUDANÇA F para N2</b>	*****	*****	Mudou a equação de $\lambda_p$ , mudou equação para calcular $\lambda_b$ , mudança no fator ambiental para vários ambientes. Algumas mudanças no fator qualidade.
<i>Tabela: Environment Factor <math>\pi_E</math></i>	$G_F = 2.0$	*****	$G_F = 10.0$
	$G_M = 8.0$	*****	$G_M = 20.0$
	$N_S = 5.0$	*****	$N_S = 7.0$
	$N_U = 14.0$	*****	$N_U = 15.0$
	$A_{IC} = 4.0$	*****	$A_{IC} = 12.0$
	$A_{IF} = 6.0$	*****	$A_{IF} = 15.0$
	$A_{UC} = 11.0$	*****	$A_{UC} = 25.0$
	$A_{UF} = 20.0$	*****	$A_{UF} = 30.0$
	$A_{RW} = 20.0$	*****	$A_{RW} = 40.0$
	$M_F = 11.0$	*****	$M_F = 20.0$
	$M_L = 29.0$	*****	$M_L = 50.0$
$C_L = 530.0$	*****	$C_L = 570.0$	
<i>Tabela: Quality Factor <math>\pi_Q</math></i>	Deixou de considerar as qualidades “MIL –C- 19978” e “Lower”, acrescentou outros níveis de qualidade: D, C, B, confiabilidade não estabelecida e qualidade comercial ou nível de seleção desconhecida.		
	<b>F</b>	<b>F NOTICE 1</b>	<b>F NOTICE 2</b>
<b>Seção 10.4F – Seção 10.1 N2</b>	<b>CAPACITORS, FIXED, METALLIZED PAPER, PAPER-PLASTIC AND PLASTIC</b>		
<b>MUDANÇA F para N2</b>	*****	*****	Mudou a equação de $\lambda_p$ , mudou equação para calcular $\lambda_b$ , mudança no fator ambiental para vários ambientes. Algumas mudanças no fator qualidade.
<i>Tabela: Environment Factor <math>\pi_E</math></i>	*****	*****	A alteração de valores nas categorias de ambiente, valores iguais aos declarados para a seção 10.3 desta tabela.
<i>Tabela: Quality Factor <math>\pi_Q</math></i>	*****	*****	Deixou de considerar as qualidades “MIL –C- 18312” e “Lower”, acrescentou outros níveis de qualidade: D, C, B, confiabilidade não estabelecida e qualidade comercial ou nível de seleção desconhecida.

Tabela 4.25 - Mudança registrada na seção 10.5 (*capacitors, fixed, plastic and metallized plastic*)

	<b>F</b>	<b>F NOTICE 1</b>	<b>F NOTICE 2</b>
Equação $\lambda_p$	$\lambda_p = \lambda_b * \pi_{CV} * \pi_Q * \pi_E$	*****	$\lambda_p = \lambda_b * \pi_T * \pi_C * \pi_V * \pi_{SI} * \pi_Q * \pi_E$
<b>Seção 10.5 F – Seção 10.1 N2</b>	<b>CAPACITORS, FIXED, PLASTIC AND METALLIZED PLASTIC</b>		
<b>MUDANÇA F para N2</b>	*****	*****	Mudança na equação de $\lambda_p$ , e $\lambda_b$ , mudança no fator ambiental para vários ambientes. No fator qualidade deixou de considerar a qualidade “ <i>Lower</i> ” e acrescentou outros níveis de qualidade: D, C, B, confiabilidade não estabelecida e qualidade comercial ou nível de seleção desconhecida.
<i>Tabela: Environment Factor <math>\pi_E</math></i>	$G_F = 2.0$	*****	$G_F = 10.0$
	$G_M = 10.0$	*****	$G_M = 20.0$
	$N_S = 5.0$	*****	$N_S = 7.0$
	$N_U = 16.0$	*****	$N_S = 15.0$
	$A_{IC} = 6.0$	*****	$A_{IC} = 12.0$
	$A_{IF} = 11.0$	*****	$A_{IF} = 15.0$
	$A_{UC} = 18.0$	*****	$A_{UC} = 25.0$
	$A_{RW} = 23.0$	*****	$A_{RW} = 40.0$
	$M_F = 13.0$	*****	$M_F = 20.0$
	$M_L = 34.0$	*****	$M_L = 50.0$
$C_L = 610.0$	*****	$C_L = 570.0$	

Tabela 4.26 - Mudança registrada na seção 10.6 (*capacitors, fixed, super-metallized plastic*) da versão F para a versão N2.

	F	F NOTICE 1	F NOTICE 2
<b>Seção 10.6 F – Seção 10.1 N2</b>	<b>CAPACITORS, FIXED, SUPER-METALLIZED PLASTIC</b>		
<b>MUDANÇA F para N2</b>	*****	*****	Mudança na equação de $\lambda_p$ , e $\lambda_b$ , mudança no fator ambiental para vários ambientes e no fator qualidade. Deixou de considerar a qualidade “ <i>Lower</i> ” e acrescentou outros níveis de qualidade: D, C, B, confiabilidade não estabelecida e qualidade comercial ou nível de seleção desconhecida.
<i>Tabela: Environment Factor <math>\pi_E</math></i>	$G_F = 4.0$	*****	$G_F = 10.0$
	$G_M = 8.0$	*****	$G_M = 20.0$
	$N_U = 14.0$	*****	$N_U = 15.0$
	$N_S = 5.0$	*****	$N_S = 7.0$
	$A_{IC} = 4.0$	*****	$A_{IC} = 12.0$
	$A_{IF} = 6.0$	*****	$A_{IF} = 15.0$
	$A_{UC} = 13.0$	*****	$A_{UC} = 25.0$
	$A_{RW} = 23.0$	*****	$A_{RW} = 40.0$
	$M_F = 13.0$	*****	$M_F = 20.0$
	$M_L = 34.0$	*****	$M_L = 50.0$
	$C_L = 610.0$	*****	$C_L = 570.0$

Tabela 4.27 - Mudança registrada na seção 10.7 (*capacitors, fixed, mica*)

	<b>F</b>	<b>F NOTICE 1</b>	<b>F NOTICE 2</b>
Equação $\lambda_p$	$\lambda_p = \lambda_b * \pi_{CV} * \pi_Q * \pi_E$	*****	$\lambda_p = \lambda_b * \pi_T * \pi_C * \pi_V * \pi_{SF} * \pi_Q * \pi_E$
<b>Seção 10.7 F – Seção 10.1 N2</b>	<b>CAPACITORS, FIXED, MICA</b>		
<b>MUDANÇA F para N2</b>	*****	*****	Mudou a equação de $\lambda_p$ , mudou equação para calcular $\lambda_b$ , mudança no fator ambiental para vários ambientes. No fator qualidade deixou de considerar a qualidade "Lower", T e MIL C 5, acrescentou outros níveis de qualidade: D, C, B, confiabilidade não estabelecida e qualidade comercial ou nível de seleção desconhecida.
<i>Tabela: Environment Factor <math>\pi_E</math></i>	$G_F = 2.0$	*****	$G_F = 10.0$
	$G_M = 10.0$	*****	$G_M = 20.0$
	$N_S = 6.0$	*****	$N_S = 7.0$
	$N_U = 16.0$	*****	$N_S = 15.0$
	$A_{IC} = 5.0$	*****	$A_{IC} = 12.0$
	$A_{IF} = 7.0$	*****	$A_{IF} = 15.0$
	$A_{UC} = 22.0$	*****	$A_{UC} = 25.0$
	$A_{UF} = 28.0$	*****	$A_{UF} = 30.0$
	$A_{RW} = 23.0$	*****	$A_{RW} = 40.0$
	$M_F = 13.0$	*****	$M_F = 20.0$
	$M_L = 34.0$	*****	$M_L = 50.0$
	$C_L = 610.0$	*****	$C_L = 570.0$

Tabela 4.28 - Mudança registrada na seção 10.8 (*capacitors, fixed, super-metallized plastic*) da versão F para a versão N2.

	F	F NOTICE 1	F NOTICE 2
<b>Seção 10.8 F – Seção 10.1 N2</b>	<b>CAPACITORS, FIXED, SUPER-METALLIZED PLASTIC</b>		
<b>MUDANÇA F para N2</b>	*****	*****	Mudou a equação de $\lambda_p$ , mudou equação para calcular $\lambda_b$ , mudança no fator ambiental para vários ambientes. Algumas mudanças no fator qualidade. Deixou de considerar a qualidade “ <i>Lower</i> ” e acrescentou outros níveis de qualidade: D, C, B, confiabilidade não estabelecida e qualidade comercial ou nível de seleção desconhecida.
<i>Tabela: Environment Factor <math>\pi_E</math></i>	$N_S = 5.0$	*****	$N_S = 7.0$
			As demais alterações de valores nas categorias de ambiente para essa seção possuem as mesmas mudanças declaradas para a seção 10.7 desta tabela, com exceção para a categoria $N_S$ .

Tabela 4.29 - Mudança registrada na seção 10.9 (*capacitors, fixed, glass*) e da versão f para a versão n2.

	<b>F</b>	<b>F NOTICE 1</b>	<b>F NOTICE 2</b>
Equação $\lambda_p$	$\lambda_p = \lambda_b * \pi_{CV} * \pi_Q * \pi_E$	*****	$\lambda_p = \lambda_b * \pi_T * \pi_C * \pi_V * \pi_{SF} * \pi_Q * \pi_E$
<b>Seção 10.9 F – Seção 10.1 N2</b>	<b>CAPACITORS, FIXED, GLASS</b>		
<b>MUDANÇA F para N2</b>	*****	*****	Mudou a equação de $\lambda_p$ , mudou equação para calcular $\lambda_b$ , mudança no fator ambiental para vários ambientes. No fator qualidade deixou de considerar a qualidade “ <i>Lower</i> ”, MIL C 11272, acrescentou outros níveis de qualidade: D, C, B, confiabilidade não estabelecida e qualidade comercial ou nível de seleção desconhecida.
<i>Tabela:</i> Environment Factor $\pi_E$	*****	*****	As alterações de valores nas categorias de ambiente para essa seção possuem as mesmas mudanças declaradas para a seção 10.7 desta tabela, com exceção para a categoria N <sub>5</sub> .

Tabela 4.30 - Mudança registrada na seção 10.10 (*capacitors, fixed, ceramic, general purpose*) da versão F para a versão N2.

	F	F NOTICE 1	F NOTICE 2
<b>Seção 10.10 F – Seção 10.1 N2</b>	<b>CAPACITORS, FIXED, CERAMIC, GENERAL PURPOSE</b>		
<b>MUDANÇA F para N2</b>	*****	*****	Mudou a equação de $\lambda_p$ , mudou equação para calcular $\lambda_b$ , mudança no fator ambiental para vários ambientes. Algumas mudanças no fator qualidade. Deixou de considerar as qualidades “Lower”, “MIL C 11015” e acrescentou outros níveis de qualidade: D, C, B, confiabilidade não estabelecida e qualidade comercial ou nível de seleção desconhecida.
<i>Tabela: Environment Factor <math>\pi_E</math></i>	$G_B$ não mudou	*****	$G_b = 1.0$
	$G_F = 2.0$	*****	$G_F = 10.0$
	$G_M = 9.0$	*****	$G_M = 20.0$
	$N_S = 5.0$	*****	$N_S = 7.0$
	$N_U = 15.0$	*****	$N_S = 15.0$
	$A_{IC} = 4.0$	*****	$A_{IC} = 12.0$
	$A_{IF} = 4.0$	*****	$A_{IF} = 15.0$
	$A_{UC} = 8.0$	*****	$A_{UC} = 25.0$
	$A_{UF} = 12.0$	*****	$A_{UF} = 30.0$
	$A_{RW} = 20.0$	*****	$A_{RW} = 40.0$
	$S_F = 0.4$	*****	$S_F = 0.5$
	$M_F = 13.0$	*****	$M_F = 20.0$
	$M_L = 34.0$	*****	$M_L = 50.0$
$C_L = 610.0$	*****	$C_L = 570.0$	

Tabela 4.31 - Mudança registrada na seção 10.11 (*capacitors, fixed, ceramic, temperature compensating and chip*) da versão F para a versão N2.

	F	F NOTICE 1	F NOTICE 2
<b>Seção 10.11 F – Seção 10.1 N2</b>	<b>CAPACITORS, FIXED, CERAMIC, TEMPERATURE COMPENSATING AND CHIP</b>		
Equação $\lambda_p$	$\lambda_p = \lambda_b * \pi_{CV} * \pi_Q * \pi_E$	*****	$\lambda_p = \lambda_b * \pi_T * \pi_C * \pi_V * \pi_{Sr} * \pi_Q * \pi_E$
<b>MUDANÇA F para N2</b>	*****	*****	Mudança na equação de $\lambda_p$ e $\lambda_b$ , mudança no fator ambiental para vários ambientes. No fator qualidade deixou de considerar a qualidade “Lower” e acrescentou outros níveis de qualidade: D, C, B e qualidade comercial ou nível de seleção desconhecida.
<i>Tabela: Environment Factor <math>\pi_E</math></i>	$G_F = 2.0$	*****	$G_F = 10.0$
	$G_M = 10.0$	*****	$G_M = 20.0$
	$N_S = 5.0$	*****	$N_S = 7.0$
	$N_U = 17.0$	*****	$N_S = 15.0$
	$A_{IC} = 4.0$	*****	$A_{IC} = 12.0$
	$A_{IF} = 8.0$	*****	$A_{IF} = 15.0$
	$A_{UC} = 16.0$	*****	$A_{UC} = 25.0$
	$A_{UF} = 35.0$	*****	$A_{UF} = 30.0$
	$A_{RW} = 24.0$	*****	$A_{RW} = 40.0$
	$M_F = 13.0$	*****	$M_F = 20.0$
	$M_L = 34.0$	*****	$M_L = 50.0$
	$C_L = 610.0$	*****	$C_L = 570.0$

Tabela 4.32 - Mudança registrada na seção 10.12 (*capacitors, fixed, electrolytic, tantalum, solid*) da versão F para a versão N2.

	F	F NOTICE 1	F NOTICE 2
<b>Seção 10.12 F – Seção 10.1 N2</b>	<b>CAPACITORS, FIXED, ELETROLYTIC, TANTALUM, SOLID</b>		
Equação $\lambda_p$	$\lambda_p = \lambda_b * \pi_{CV} * \pi_{SR} * \pi_Q * \pi_E$	F	$\lambda_p = \lambda_b * \pi_T * \pi_C * \pi_V * \pi_{SR} * \pi_Q * \pi_E$
<b>MUDANÇA F para N2</b>	*****	*****	Mudança na equação de $\lambda_p$ e $\lambda_b$ , mudança no fator ambiental para vários ambientes. Algumas mudanças no fator qualidade. Deixou de considerar a qualidade “Lower” e acrescentou os níveis de qualidade: confiabilidade não estabelecida e qualidade comercial ou nível de seleção desconhecida. Mudança no fator de resistência em série, os valores na F são 10 x maiores que na N2.
<i>Tabela: Environment Factor <math>\pi_E</math></i>	$G_F = 2.0$	*****	$G_F = 10.0$
	$G_M = 8.0$	*****	$G_M = 20.0$
	$N_S = 5.0$	*****	$N_S = 7.0$
	$N_U = 14.0$	*****	$N_S = 15.0$
	$A_{IC} = 4.0$	*****	$A_{IC} = 12.0$
	$A_{IF} = 5.0$	*****	$A_{IF} = 15.0$
	$A_{UC} = 12.0$	*****	$A_{UC} = 25.0$
	$A_{UF} = 20.0$	*****	$A_{UF} = 30.0$
	$A_{RW} = 24.0$	*****	$A_{RW} = 40.0$
	$S_F = 0.4$	*****	$S_F = 0.5$
	$M_F = 11.0$	*****	$M_F = 20.0$
	$M_L = 29.0$	*****	$M_L = 50.0$
$C_L = 530.0$	*****	$C_L = 570.0$	

Tabela 4.33 - Mudança registrada na seção 10.13 (*capacitors, fixed, electrolytic, tantalum, non-solid*) da versão F para a versão N2.

	F	F NOTICE 1	F NOTICE 2
<b>Seção 10.13 F – Seção 10.1 N2</b>	<b>CAPACITORS, FIXED, ELETROLYTIC, TANTALUM, NON-SOLID</b>		
Equação $\lambda_p$	$\lambda_p = \lambda_b * \pi_{CV} * \pi_C * \pi_Q * \pi_E$	*****	$\lambda_p = \lambda_b * \pi_T * \pi_C * \pi_V * \pi_{SR} * \pi_Q * \pi_E$
<b>MUDANÇA F para N2</b>	*****	*****	Mudança na equação de $\lambda_p$ e $\lambda_b$ , mudança no fator ambiental para vários ambientes. No fator qualidade deixou de considerar as qualidades “Lower” e “MIL C 3965”, acrescentou outros níveis de qualidade: D, C, B, confiabilidade não estabelecida e qualidade comercial ou nível de seleção desconhecida.
<i>Tabela: Environment Factor <math>\pi_E</math></i>	$G_F = 2.0$	*****	$G_F = 10.0$
	$G_M = 10.0$	*****	$G_M = 20.0$
	$N_S = 6.0$	*****	$N_S = 7.0$
	$N_U = 16.0$	*****	$N_S = 15.0$
	$A_{IC} = 4.0$	*****	$A_{IC} = 12.0$
	$A_{IF} = 8.0$	*****	$A_{IF} = 15.0$
	$A_{UC} = 14.0$	*****	$A_{UC} = 25.0$
	$A_{UF} = 30.0$	*****	$A_{UF} = 30.0$
	$A_{RW} = 23.0$	*****	$A_{RW} = 40.0$
	$M_F = 13.0$	*****	$M_F = 20.0$
	$M_L = 34.0$	*****	$M_L = 50.0$
	$C_L = 610.0$	*****	$C_L = 570.0$

Tabela 4.34 - Mudança registrada na seção 10.14 (*capacitors, fixed, electrolytic, aluminum*) da versão F para a versão N2.

	F	F NOTICE 1	F NOTICE 2
<b>Seção 10.14 F – Seção 10.1 N2</b>	<b>CAPACITORS, FIXED, ELETROLYTIC, ALUMINUM</b>		
Equação $\lambda_p$	$\lambda_p = \lambda_b * \pi_{CV} * \pi_Q * \pi_E$	*****	$\lambda_p = \lambda_b * \pi_T * \pi_C * \pi_V * \pi_{Sr} * \pi_q * \pi_E$
<b>MUDANÇA F para N2</b>	*****	*****	Mudança na equação de $\lambda_p$ e $\lambda_b$ , mudança no fator ambiental para vários ambientes. Algumas mudanças no fator qualidade. Deixou de considerar a qualidade “Lower” e acrescentou os níveis de qualidade: D, C, B e qualidade.
<i>Tabela: Environment Factor <math>\pi_E</math></i>	$G_F = 2.0$	*****	$G_F = 10.0$
	$G_M = 12.0$	*****	$G_M = 20.0$
	$N_S = 6.0$	*****	$N_S = 7.0$
	$N_U = 17.0$	*****	$N_S = 15.0$
	$A_{IC} = 10.0$	*****	$A_{IC} = 12.0$
	$A_{IF} = 12.0$	*****	$A_{IF} = 15.0$
	$A_{UC} = 28.0$	*****	$A_{UC} = 25.0$
	$A_{UF} = 35.0$	*****	$A_{UF} = 30.0$
	$A_{RW} = 27.0$	*****	$A_{RW} = 40.0$
	$M_F = 14.0$	*****	$M_F = 20.0$
	$M_L = 38.0$	*****	$M_L = 50.0$
$C_L = 690.0$	*****	$C_L = 570.0$	

Tabela 4.35 - Mudança registrada na seção 10.15 (*capacitors, fixed, eletrolytic (dry), aluminum*) da versão F para a versão N2.

	F	F NOTICE 1	F NOTICE 2
<b>MUDANÇA F para N2 nas duas seções</b>	*****	*****	Mudança na equação de $\lambda_p$ e $\lambda_b$ , mudança no fator ambiental para vários ambientes. No fator qualidade em F considerava apenas duas categorias de qualidade "MIL- SPEC" e "Lower", ambas foram desconsideradas em N2 levando em consideração outros níveis de qualidade: D, C, S, B, R, P, M, L, confiabilidade não estabelecida e qualidade comercial ou nível de seleção desconhecida.
<b>Seção 10.15 F – Seção 10.1 N2</b>	<b>CAPACITORS, FIXED, ELETROLYTIC (DRY), ALUMINUM</b>		
Equação $\lambda_p$	$\lambda_p = \lambda_b * \pi_{CV} * \pi_Q * \pi_E$	*****	$\lambda_p = \lambda_b * \pi_T * \pi_C * \pi_V * \pi_{SR} * \pi_Q * \pi_E$
<i>Tabela: Environment Factor <math>\pi_E</math></i>	$G_F = 2.0$	*****	$G_F = 10.0$
	$G_M = 12.0$	*****	$G_M = 20.0$
	$N_S = 6.0$	*****	$N_S = 7.0$
	$N_U = 17.0$	*****	$N_S = 15.0$
	$A_{IC} = 10.0$	*****	$A_{IC} = 12.0$
	$A_{IF} = 12.0$	*****	$A_{IF} = 15.0$
	$A_{UC} = 28.0$	*****	$A_{UC} = 25.0$
	$A_{UF} = 35.0$	*****	$A_{UF} = 30.0$
	$A_{RW} = 27.0$	*****	$A_{RW} = 40.0$
	$M_F = 14.0$	*****	$M_F = 20.0$
	$M_L = 38.0$	*****	$M_L = 50.0$
	$C_L = 690.0$	*****	$C_L = 570.0$

Tabela 4.36 - Mudança registrada nas seções 10.16 (*capacitors, variable, ceramic*) da versão F para a versão N2.

	F	F NOTICE 1	F NOTICE 2
<b>Seção 10.16 F – Seção 10.1 N2</b>	<b>CAPACITORS, VARIABLE, CERAMIC</b>		
Equação $\lambda_p$	$\lambda_p = \lambda_b * \pi_Q * \pi_E$	*****	$\lambda_p = \lambda_b * \pi_T * \pi_C * \pi_V * \pi_{SR} * \pi_Q * \pi_E$
<i>Tabela: Environment Factor <math>\pi_E</math></i>	$G_F = 3.0$	*****	$G_F = 10.0$
	$G_M = 13.0$	*****	$G_M = 20.0$
	$N_S = 8.0$	*****	$N_S = 7.0$
	$N_U = 24.0$	*****	$N_S = 15.0$
	$A_{IC} = 6.0$	*****	$A_{IC} = 12.0$
	$A_{IF} = 10.0$	*****	$A_{IF} = 15.0$
	$A_{UC} = 37.0$	*****	$A_{UC} = 25.0$
	$A_{UF} = 70.0$	*****	$A_{UF} = 30.0$
	$A_{RW} = 36.0$	*****	$A_{RW} = 40.0$
	$S_F = 0.4$	*****	$S_F = 0.5$
	$M_L = 52.0 / C_L = 950.0$	*****	$M_L = 50.0 / C_L = 570.0$

Tabela 4.37 - Mudança registrada nas seções 10.17 (*capacitors, variable, piston type*) e 10.18 (*capacitors, variable, air trimmer*) da versão F para a versão N2.

	F	F NOTICE 1	F NOTICE 2
Equação $\lambda_p$	$\lambda_p = \lambda_b * \pi_Q * \pi_E$	*****	$\lambda_p = \lambda_b * \pi_T * \pi_C * \pi_V * \pi_S * \pi_Q * \pi_E$
<b>MUDANÇAS F para N2 Para as duas seções</b>	*****	*****	Mudança na equação de $\lambda_p$ e $\lambda_b$ , mudança no fator ambiental para vários ambientes. No fator qualidade em F considerava apenas duas categorias de qualidade "MIL- SPEC" e "Lower", ambas foram desconsideradas em N2 levando em consideração outros níveis de qualidade: D, C, S, B, R, P, M, L, confiabilidade não estabelecida e qualidade comercial ou nível de seleção desconhecida.
<b>Seção 10.17 F – Seção 10.1 N2</b>	<b>CAPACITORS, VARIABLE, PISTON TYPE</b>		
<i>Tabela: Environment Factor <math>\pi_E</math></i>	$G_F = 3.0$	*****	$G_F = 10.0$
	$G_M = 12.0$	*****	$G_M = 20.0$
	$N_S = 7.0$	*****	$N_S = 7.0$
	$N_U = 18.0$	*****	$N_S = 15.0$
	$A_{IC} = 3.0$	*****	$A_{IC} = 12.0$
	$A_{IF} = 4.0$	*****	$A_{IF} = 15.0$
	$A_{UC} = 20.0$	*****	$A_{UC} = 25.0$
	$A_{RW} = 32.0$	*****	$A_{RW} = 40.0$
	$M_F = 18.0$	*****	$M_F = 20.0$
	$M_L = 46.0$	*****	$M_L = 50.0$
$C_L = 830.0$	*****	$C_L = 570.0$	
	F	F NOTICE 1	F NOTICE 2
<b>Seção 10.18 F – Seção 10.1 N2</b>	<b>CAPACITORS, VARIABLE, AIR TRIMMER</b>		
<i>Tabela: Environment Factor <math>\pi_E</math></i>	$G_F = 3.0$	*****	$G_F = 10.0$
	$G_M = 13.0$	*****	$G_M = 20.0$
	$N_S = 8.0$	*****	$N_S = 7.0$
	$N_U = 24.0$	*****	$N_S = 15.0$
	$A_{IC} = 6.0$	*****	$A_{IC} = 12.0$
	$A_{IF} = 10.0$	*****	$A_{IF} = 15.0$
	$A_{UC} = 37.0$	*****	$A_{UC} = 25.0$
	$A_{UF} = 70.0$	*****	$A_{UF} = 30.0$
	$A_{RW} = 36.0$	*****	$A_{RW} = 40.0$
	$M_L = 52.0$	*****	$M_L = 50.0$
$C_L = 950.0$	*****	$C_L = 570.0$	

Tabela 4.38 - Mudança registrada na seção 10.19 (*capacitors, fixed, eletrolytic, tantalum, non-solid*) da versão F para a versão N2

	F	F NOTICE 1	F NOTICE 2
<b>Seção 10.19 F – Seção 10.1 N2</b>	<b>CAPACITORS, FIXED, ELETROLYTIC, TANTALUM, NON-SOLID</b>		
Equação $\lambda_p$	$\lambda_p = \lambda_b * \pi_{CF} * \pi_Q * \pi_E$	*****	$\lambda_p = \lambda_b * \pi_T * \pi_C * \pi_V * \pi_S * \pi_Q * \pi_E$
<b>MUDANÇA F para N2</b>	*****	*****	Mudança na equação de $\lambda_p$ e $\lambda_b$ , mudança no fator ambiental para vários ambientes. No fator qualidade deixou de considerar as qualidades “Lower” e “MIL C 3965”, acrescentou outros níveis de qualidade: D, C, B, confiabilidade não estabelecida e qualidade comercial ou nível de seleção desconhecida.
<i>Tabela: Environment Factor <math>\pi_E</math></i>	$G_F = 3.0$	*****	$G_F = 10.0$
	$G_M = 14.0$	*****	$G_M = 20.0$
	$N_S = 8.0$	*****	$N_S = 7.0$
	$N_U = 27.0$	*****	$N_S = 15.0$
	$A_{IC} = 10.0$	*****	$A_{IC} = 12.0$
	$A_{IF} = 18.0$	*****	$A_{IF} = 15.0$
	$A_{UC} = 70.0$	*****	$A_{UC} = 25.0$
	$A_{UF} = 108.0$	*****	$A_{UF} = 30.0$
	$M_F = N/A$	*****	$M_F = 20.0$
	$M_L = N/A$	*****	$M_L = 50.0$
	$C_L = M/A$	*****	$C_L = 570.0$

Os Dispositivos indutivos e transformadores são componentes que foram descritos na seção 11.1 das versões F e N2 da MIL HDBK 217, esses componentes passaram por mudanças na transição de F para a atualização N2. Nessa seção a fórmula base para o cálculo da taxa de falhas dos componentes foi alterada, foi incorporado o fator temperatura ( $\pi_T$ ) na N2. Ocorreu também algumas mudanças no fator de qualidade. A versão F considera alguns tipos de famílias como, por exemplo, transformadores de pulso e transformadores de áudio dentro das especificações para qualidade “MIL-SPEC” e “Lower”, no entanto na N2 passou a destacar apenas a

qualidade “MIL-SPEC” e “Lower” sem considerar os tipos de famílias, ver Tabela 4.39.

Abordando ainda as mudanças ocorridas na seção 11.1, destaca-se a taxa básica de falhas ( $\lambda_b$ ), essa taxa de acordo com a versão F é calculada a partir dos valores de  $T_{SH}$  (Hot Spot Temperature - temperatura ponto quente) na N2 essa informação não é utilizada para  $\lambda_b$  e sim para o fator temperatura, ver Tabela 4.39.

A Tabela 4.40 descreve as mudanças ocorridas na seção 11.2 e 11.3. A seção 11.2 possui mudanças semelhantes à seção 11.1. Com a atualização N2 ocorreu uma alteração na fórmula base para o cálculo da taxa de falhas dos componentes, houve a troca do fator de construção ( $\pi_C$ ) pelo fator temperatura ( $\pi_T$ ). O fator qualidade também passou por algumas modificações, ver tabela 4.40.

As seções 11.3 (INDUCTIVE DEVICES, DETERMINATION OF HOT SPOT TEMPERATURE) localizada na página 11-5 da versão F e 11-4 da versão N2 e 12.1 (ROTATION DEVICES, MOTORS) localizada na página 12-2 e 12-3 da versão F e página 12-1 a 12-3 da versão N2 também sofreram mudanças com as atualizações. A seção 11.3 recebeu apenas uma nota dizendo que é necessária uma análise térmica mais específica para ambientes espaciais, conforme declara a Tabela 4.40. Já a seção 12.1, declarada na tabela 4.41, sofreu alterações na fórmula base para o cálculo da taxa de falhas dos componentes, passando a considerar fatores diferentes, deixou de considerar temperaturas negativas excluindo uma série de considerações da tabela "*Bearing & Winding Characteristic Life -  $\alpha_B$  and  $\alpha_W$* " existente no manual.

Tabela 4.39 - Mudanças na seção 11.1 (*inductive devices, transformers*) de F para N2.

	F	F NOTICE 1	F NOTICE 2
<b>Seção 11.1</b>	<b>INDUCTIVE DEVICES, TRANSFORMERS</b>		
<b>MUDANÇA F para N2</b>	*****	*****	Mudança na equação para calcular o $\lambda_p$ , Fator de qualidade, taxa básica de falhas.
Equação $\lambda_p$	$\lambda_p = \lambda_b * \pi_Q * \pi_E$	*****	$\lambda_p = \lambda_b * \pi_T * \pi_Q * \pi_E$
$\lambda_b$	*****	*****	Houve mudança nos parâmetros considerados para o cálculo de $\lambda_b$ com a atualização.
obs.	O valor $T_{HS}$ passou a ser de 20° a 190° na N2 (na F era de 30°- 150°) e era considerado para $\lambda_b$ e na mudança passou a ser considerado apenas para o fator de temperatura.		
Fator qualidade	Usava MIL SPEC e Lower para alguns tipos de famílias.	*****	Lower = 3, MIL-SPEC=1 Não considera mais tipos de famílias.
	*****	*****	Em N2 especifica o tipo da família para “Lower” e “MIL-SPEC com valores específicos para cada qualidade. Em F a qualidade era em função do tipo de Família ( <i>Pulse transforme, Audio Transformers, Power Transformers and Filters e RF Transformers</i> ).

Tabela 4.40 - Mudanças nas seções 11.2 (*inductive devices, coils*) e 11.3 (*inductive devices, determination of hot spot temperature*) de F para N2.

	F	F NOTICE 1	F NOTICE 2
<b>Seção 11.2</b>	<b>INDUCTIVE DEVICES, COILS</b>		
<b>MUDANÇA F para N2</b>	*****	*****	Mudança na equação para calcular o $\lambda_p$ , eliminou o fator $\pi_c$ e acrescentou o fator $\pi_T$ . Mudança para calcular o $\lambda_b$ , mudança na tabela do fator ambiental para algumas categorias de ambientes, algumas mudanças no fator qualidade
Equação $\lambda_p$	$\lambda_p = \lambda_b * \pi_c * \pi_Q * \pi_E$	*****	$\lambda_p = \lambda_b * \pi_T * \pi_Q * \pi_E$
Fator qualidade = especificação de qualidade	Lower = 20	*****	Lower = 3
	MIL -C-15305 = 4	*****	MIL-SPEC=1
Obs.	De MIL -C-15305 na F passou a usar o MIL-SPEC na N2		
<i>Tabela:</i> Environment Factor $\pi_E$	$G_F = 4$	*****	$G_F = 6$
	$A_{IC} = 5$	*****	$A_{IC} = 6$
	$A_{IF} = 7$	*****	$A_{IF} = 8$
	$A_{UC} = 6$	*****	$A_{UC} = 7$
	$A_{UF} = 8$	*****	$A_{UF} = 9$
	$F$	F NOTICE 1	F NOTICE 2
<b>Seção 11.3</b>	<b>INDUCTIVE DEVICES, DETERMINATION OF HOT SPOT TEMPERATURE</b>		
<b>MUDANÇA F para N2</b>	*****	*****	Para ambientes espaciais uma análise térmica específica deverá ser realizada.

Tabela 4.41 - Mudanças na seção e 12.1 (*rotation devices, motors*) da versão F para N2.

	F	F NOTICE 1	F NOTICE 2
<b>Seção 12.1</b>	<b>ROTATION DEVICES, MOTORS</b>		
<b>MUDANÇA F para N2</b>	Mudança na equação para calcular o $\lambda_p$ , e na tabela "Bearing & Winding Characteristic Life - $\alpha_B$ and $\alpha_W$ ".		
Equação $\lambda_p$	$\lambda_p = [t^2/\alpha_B^3 + 1/\alpha_W]10^6$	*****	$\lambda_p = [\lambda_1/(A*\alpha_B) + \lambda_2/(B*\alpha_W)] * 10^6$
Obs.	Na equação passou a ter um termo A e B, inserindo então na N2 uma tabela para determinar esses valores de acordo com o tipo de motor.		
	Motor Type	A	B
	Eletrical (General)	1,9	1,1
	Sensor	0,48	0,29
	Servo	2,4	1,7
	Stepper	11	5,4
<i>Tabela: "Bearing &amp; Winding Characteristic Life - <math>\alpha_B</math> and <math>\alpha_W</math>".</i>	*****	*****	$T_A$ = temperatura do ambiente, na N2 foi excluído todos os valores negativos, iniciando do zero e passando a variar de 10° (0,10,20,30...140°) e não de 5° como na F (-40° até 140°), os valores não mudaram.
$\lambda_1$ e $\lambda_2$	*****	*****	Na N2, incluiu tabelas para determinar os valores de $\lambda_1$ e $\lambda_2$

A Tabela 4.42 descreve as modificações acrescida na atualização N2 para as seções 12.2 (ROTATION DEVICES, SYNCHROS AND RESOLVERS) e a versão 13.1 (RELAYS, MECHANICAL).

A seção 12.2 passou por alterações discretas, na versão F não cobria um número de escovas inferior a 2 e a N2 passa a considerar. Essas informações são utilizadas para compor um fator de correção chamado fator número de escovas (Number of Brushes Factor -  $\pi_N$ ). Ver Tabela 4.42.

É exposto na Tabela 4.42 as mudanças mais expressivas para a seção 13.1, a começar pelo acréscimo de três especificações na versão N2 (MIL-R-13718,

MIL-R-83520 e MIL-R-83536). Algumas mudanças no fator ambiental e para o fator de construção e aplicação se referem em não considerar na versão atualizada dois seguimentos como na F de MIL – SPEC e Baixa qualidade. Fator qualidade também passou por uma pequena alteração de valor para qualidade não estabelecida, crescendo também com a atualização qualidade comercial e MIL-SPEC. No entanto, a mudança mais drástica ocorre com a Taxa básica de falhas, esta teve todos os valores da tabela alterados e as equações utilizadas para calcular essa taxa também passou por modificações. Veja Figura 4.4.

Base Failure Rate - $\lambda_b$			Base Failure Rate - $\lambda_b$		
$T_A$ (°C)	Rated Temperature		$T_A$ (°C)	Rated Temperature	
	85°C <sup>1</sup>	125°C <sup>2</sup>		85°C <sup>1</sup>	125°C <sup>2</sup>
25	.0060	.0059	25	.0059	.0059
30	.0061	.0060	30	.0067	.0066
35	.0063	.0061	35	.0075	.0073
40	.0065	.0062	40	.0084	.0081
45	.0068	.0064	45	.0094	.0089
50	.0072	.0066	50	.010	.0098
55	.0077	.0068	55	.012	.011
60	.0084	.0071	60	.013	.012
65	.0094	.0074	65	.014	.013
70	.011	.0079	70	.016	.014
75	.013	.0083	75	.017	.015
80	.016	.0089	80	.019	.017
85	.020	.0097	85	.021	.018
90		.011	90		.019
95		.012	95		.021
100		.013	100		.022
105		.015	105		.024
110		.018	110		.026
115		.021	115		.027
120		.025	120		.029
125		.031	125		.031

1. $\lambda_b = .00555 \exp\left(\frac{T_A + 273}{352}\right)^{15.7}$	1. $\lambda_b = .0059 \exp\left(\frac{-.19}{8.617 \times 10^{-5}} \left[\frac{1}{T + 273} - \frac{1}{298}\right]\right)$
2. $\lambda_b = .0054 \exp\left(\frac{T_A + 273}{377}\right)^{10.4}$	2. $\lambda_b = .0059 \exp\left(\frac{-.17}{8.617 \times 10^{-5}} \left[\frac{1}{T + 273} - \frac{1}{298}\right]\right)$
$T_A$ = Ambient Temperature (°C)	$T_A$ = Ambient Temperature (°C)

Figura 4.4 - Mudanças da versão F para versão N2 para seção 13.1 (relays, mechanical).

Tabela 4.42 - Mudanças nas seções 12.2 (*rotation devices, synchros and resolvers*) e 13.1 (*relays, mechanical*).

	F	F NOTICE 1	F NOTICE 2
<b>Seção 12.2</b>	<b>ROTATION DEVICES, SYNCHROS AND RESOLVERS</b>		
<b>MUDANÇA F para N2</b>			Mudança em "number of brusses" fator $\pi_N$
Tabela: Number of Brusshes Factor $\pi_N$	2 = 1,4	*****	$\leq 2 = 1,4$
obs.	Na F e N1, não considerava um número de escova (number of brushes) menor que 2 e na N2 passou a considerar.		
	F	F NOTICE 1	F NOTICE 2
<b>Seção 13.1</b>	<b>RELAYS, MECHANICAL</b>		
<b>MUDANÇA F para N2</b>	*****	*****	Mudança na tabela "Base Failure Rate - $\lambda_b$ " mudou a maneira de calcular $\lambda_b$ . O fator ambiental, fator de qualidade e o fator de aplicação e construção sofreram algumas alterações.
Tabela: Base Failure Rate - $\lambda_b$ – valores	Mudou os valores para 85° e 125°	*****	Mudou os valores para 85° e 125°
Tabela: Base Failure Rate - $\lambda_b$ - equação de $\lambda_b$ para 85° C	$\lambda_b = 0,0555 \exp [(T_A + 273)/352]^{15,7}$	*****	$\lambda_b = 0,0059 \exp \{-19/(8,617 * 10^{-5}) * [1/(T+273)-1/298]\}$
Tabela: Base Failure Rate - $\lambda_b$ - equação de $\lambda_b$ para 125° C	$\lambda_b = 0,054 \exp [(T_A + 273)/377]^{10,4}$	*****	$\lambda_b = 0,0059 \exp \{-17/(8,617 * 10^{-5}) * [1/(T+273)-1/298]\}$
Tabela: Environment Factor $\pi_E$	*****	*****	Retirou especificação "MIL-SPEC" e "Lower Quality", na N2 não especifica nenhuma das duas, ambas passaram a ter o valor da MIL-SPEC.
Tabela: Application and Construction Factor $\pi_F$	*****	*****	Não se diferencia mais na N2 "MIL-SPEC" e "Lower Quality", como acontecia na F, os valores passaram a ser os do MIL-SPEC.
Tabela: Quality Factor $\pi_Q$	Non-Est Rel = 3	*****	Non-Est Rel = 1,5
	*****	*****	Acrescentou MIL-SPEC = 1,5 e Comercial = 2,9 na N2
Mudança na especificação	*****	*****	NA atualização N2 acrescentou outras três normas de especificação, são elas MIL-R-13718, MIL-R-83520 e MIL-R-83536.

Foi registrado na Tabela 4.43 alterações com a atualização N2 para as seções 13.2 (RELAYS, SOLID STATE AND TIME DELAY) e 14.1 (SWITCHES). As alterações da versão F para N2 na seção 13.2 se resume na tabela para a taxa básica de falhas e tabela para o fator de qualidade. A tabela para taxa básica de falhas teve seus valores alterados e o fator de qualidade na versão N2 deixou de contemplar equipamentos de baixa qualidade e passou a considerar equipamentos de qualidade comercial, como detalha na Tabela 4.43.

As atualizações para interruptores (seção 14.1- página 14-1) passou por mudanças expressivas, pois a equação para o cálculo da taxa de falhas foi alterada, foi acrescentado o fator de qualidade ( $\pi_Q$ ) e deixou de considerar o fator de ciclagem ( $\pi_{CYC}$ ). Com a versão N2 foi inserido novas especificações na tabela de taxa básica de falhas. O fator de quantidade e forma de contatos ( $\pi_C$ ) com a atualização passou a ser calculado em função do número de contatos. Ver Tabela 4.43.

Uma grande mudança ocorreu na seção 14.2, essa seção na versão F era chamada de “interruptores básicos e sensíveis” (Switches, Basic Sensitive) foi substituída na versão N2 por “Interruptores, disjuntores” (Switches, Circuit Breakers). A fórmula base para o cálculo da taxa de falhas foi alterada, retirando o fator de ciclismo ( $\pi_{CYC}$ ) e o fator carga de estresse ( $\pi_L$ ) e acrescentando três fatores: fator de qualidade ( $\pi_Q$ ), fator de utilidade ( $\pi_U$ ) e o fator de configuração ( $\pi_C$ ). A especificação dos componentes foi trocada, assim como toda a tabela para a taxa básica de falhas. Dentro da tabela para o fator ambiental ( $\pi_E$ ) houve modificações em alguns valores. Ver Tabela 4.44.

Tabela 4.43 - Mudanças nas seções 13.2 (*relays, solid state and time delay*) e 14.1 (*switches*).

	F	F NOTICE 1	F NOTICE 2
<b>Seção 13.2</b>	<b>RELAYS, SOLID STATE AND TIME DELAY</b>		
<b>MUDANÇA F para N2</b>	*****	*****	Mudança nos valores da tabela "Base Failure Rate $\lambda_b$ ", algumas mudanças no fator de qualidade.
<i>Tabela:</i> "Base Failure Rate $\lambda_b$ " (Relay Type X $\lambda_b$ )	Solid State = 0,4	*****	Solid State = 0,029
	Solid State Time Delay = 0,5	*****	Solid S. Time Delay = 0,029
	Hybrid = 0,5	*****	Hybrid = 0,029
<i>Tabela:</i> Quality Factor $\pi_Q$	*****	*****	Na F tinha o Lower = 4, foi retirado na N2 e entrou Commercial = 1,9
	F	F NOTICE 1	F NOTICE 2
<b>Seção 14.1</b>	<b>SWITCHES</b>		
<b>MUDANÇA F para N2</b>	*****	*****	Mudança na equação de $\lambda_p$ , foi retirado o fator $\pi_{CYC}$ e acrescentado o fator $\pi_Q$ . Mudança de valores no fator $\pi_C$ . Mudança na tabela "Base Failure Rate $\lambda_b$ ". Acrescentou novas especificações.
Equação $\lambda_p$	$\lambda_p = \lambda_b * \pi_{CYC} * \pi_L * \pi_C * \pi_E$	*****	$\lambda_p = \lambda_b * \pi_L * \pi_C * \pi_Q * \pi_E$
<i>Tabela:</i> Contact Configuration Factor $\pi_C$			Antes na F, não considerava número de Contatos (number of Contacts NC), na N2 passa a considerar, alterando todos os valores desse fator.
<i>Tabela:</i> "Base Failure Rate"	*****	*****	Antes na F, havia apenas duas descrições "Snap-action" e "Non-snap Action", na N2 possui várias descrições. Na F os valores se diferenciavam entre "MIL-SPEC" e "Lower Quality", na N2, diferencia os vários modelos "Spec. MIL-S" para então estabelecer os valores de $\lambda_b$ .

Tabela 4.44 - Mudança na seção 14.2 (*switches, basic sensitive (F) = switches, circuit breakers (N2)*).

	F	F NOTICE 1	F NOTICE 2
<b>Seção 14.2</b>	<b>SWITCHES, BASIC SENSITIVE (F) = SWITCHES, CIRCUIT BREAKERS (N2)</b>		
<b>MUDANÇA F para N2</b>			Mudança na eq. de $\lambda_p$ , foi retirado o fator $\pi_{CYC}$ e $\pi_L$ , acrescentado o fator $\pi_Q$ , $\pi_U$ e $\pi_C$ . Mudança na tabela "Base Failure Rate $\lambda_b$ ". Mudança em alguns valores do fator $\pi_E$ . Novas especificações.
Equação $\lambda_p$	$\lambda_p = \lambda_b * \pi_{CYC} * \pi_L * \pi_E$	*****	$\lambda_p = \lambda_b * \pi_C * \pi_U * \pi_Q * \pi_E$
<i>Tabela: Environment Factor <math>\pi_E</math></i>	$G_F = 3$	*****	$G_F = 2$
	$G_M = 18$	*****	$G_M = 15$
	$N_U = 29$	*****	$N_U = 27$
	$A_{IC} = 10$	*****	$A_{IC} = 7$
	$A_{IF} = 18$	*****	$A_{IF} = 9$
	$A_{UC} = 13$	*****	$A_{UC} = 11$
	$A_{UF} = 22$	*****	$A_{UF} = 12$
	$M_L = 67$	*****	$M_L = 66$
	$C_L = 1200$	*****	$C_L = N/A$
Especificações	MIL -S - 8805	*****	MIL-C-13516
			MIL-C-55629
			MIL-C-83383
			MIL-C-39019
			W-C-375

Analisando as mudanças ocorridas nas seções referente a conectores, é perceptível que na versão F a seção 15.1 aborda conectores em geral, mas exclui placa de circuito impresso, abordando a exceção na seção 15.2, os detalhes das mudanças estão na tabela 4.45. A versão N2 aborda conectores em geral na seção 15.1, sem excluir placa de circuito impresso, as mudanças nesse componente são abordadas na tabela 4.46. A seção 15.2 de N2 é equivalente a seção 15.3 de F, sobre conectores do tipo soquete de circuitos integrados que podem ser analisados na tabela 4.47.

A fórmula utilizada para o cálculo da taxa de falhas para conectores em geral foi alterada em N2, na versão F é considerado o fator de pinos ativos ( $\pi_P$ ) que na N2 foi excluído e passou a considerar em seu lugar o fator de qualidade ( $\pi_Q$ ) e o fator temperatura ( $\pi_T$ ). Com a atualização N2 foi retirado e acrescentado novas especificações para conectores retangulares, conector de borda, coaxial, hexagonal, além de incluir especificações para tipos de conectores já cobertos pela versão F. A taxa básica de falhas com a versão N2 passou a ser em função das especificações e não em função da temperatura como na versão F. O fator ambiental em F é dividido em duas escalas de valores, uma para qualidade “MIL-SPEC” e outra para “Lower” (baixa qualidade), na versão N2 deixou de diferenciar entre essas duas categorias e passou a levar em conta os valores da qualidade “MIL-SPEC”. Ver Tabela 4.45.

Em F a seção 15.2 trata apenas de conectores com placa de circuito impresso, mas em N2 não existe uma seção específica para esse tipo, sendo abordada na seção 15.1 em conectores em geral, conforme mostra na tabela 4.46.

Para o cálculo da taxa de falhas em F é considerado fatores como fator de acoplamento e desacoplamento ( $\pi_K$ ), fator de pinos ativos ( $\pi_P$ ), fator ambiental ( $\pi_E$ ) e taxa básica de falhas. A qualidade do componente é relevante para o cálculo do fator ambiental tendo diferenças de valores para qualidade “MIL SPEC” e de “Lower quality”. A taxa básica de falhas é em função da temperatura de operação considerando um acréscimo de  $\Delta t$ , como sendo o aumento da temperatura de contato interno. A versão N2 não considera o número de pinos ativos, o fator ambiental não tem relação direta com a qualidade, sendo somente de acordo com as categorias de ambiente e qualidade é considerada em um fator específico ( $\pi_Q$ ). Informações ressaltadas na Tabela 4.46.

Os conectores do tipo soquetes não são utilizados nos satélites do inpe, mas possuem uma seção para sua abordagem, a seção 15.3 (CONNECTORS, PRINTED CIRCUIT BOARD) em F e 15.2 (CONNECTORS, SOCKETS) em N2. Em F trata apenas de conectores especificados por MIL S 83734 e sua taxa

básica de falhas é tabelada de acordo com essa especificação. Considera o número de pinos ativos e o ambiente de operação. A versão N2 para o cálculo da taxa de falhas apenas acrescentou o fator qualidade ( $\pi_Q$ ) considerando duas categorias “*MIL SPEC*” e “*Lower*”. Mas, declara uma mudança no cálculo do fator de número de pinos ativos ( $\pi_P$ ), alterou a equação. Mudanças com detalhes na Tabela 4.47.

A Tabela 4.47 também descreve as alterações da seção 16.1 (INTERCONNECTION ASSEMBLIES WITH PLATED THROUGH HOLES) que com a atualização N2 é possível observar alterações mais discretas.

Tabela 4.45 - Mudança ocorrida na seção 15.1 (*connectors, general*).

	F	F NOTICE 1	F NOTICE 2
<b>Seção 15.1 F - 15.1 N2</b>	<b>CONNECTORS, GENERAL</b>		
<b>MUDANÇA F para N2</b>	*****	*****	Na F, exclui conectores "Printed circuit board", na N2 não há exceções. Mudança na equação de $\lambda_p$ . Na F, temos a especificação de quais padrões podem ser calculados e fornece o valor de $\lambda_b$ em função da temperatura e "insert material determination", já na N2 o $\lambda_b$ é dado de acordo com a descrição e especificação
Equação $\lambda_p$	$\lambda_p = \lambda_b * \pi_K * \pi_P * \pi_E$	*****	$\lambda_p = \lambda_b * \pi_T * \pi_K * \pi_Q * \pi_E$
<i>Tabela:</i> "Base Failure Rate"	*****	*****	A taxa básica de falhas é tabelada de acordo com o tipo de conector e especificação. Em N2 acrescentou especificações de conectores e tipos.
<i>Tabela:</i> "Default Insert Temperature Rise ( $\Delta T^\circ$ ) Determination"	*****	*****	Na N2 acrescentou número de contato VER "contact gauge" de 30, acrescentou também algumas fórmulas para obter $\Delta T$ (inserir aumento de temperatura), usado para o cálculo de $\pi_T$ .
<i>Tabela:</i> Environment Factor $\pi_E$	Na F diferenciava "MIL-SPEC" e "LOWER Quality"	*****	Na N2 não existe distinção e os fatores passaram a ter os valores de "MIL-SPEC"
Acrescentou/Retirou	*****	*****	Na N2 acrescentou Tabelas para determinar os fatores: $\pi_T$ , $\pi_Q$ . Retirou o $\pi_P$ , não considerando mais o número de pinos de contato.
Especificação de conectores	*****	*****	Na versão N2 foi acrescentado várias especificações, além de incluir Placa de circuito impresso, passou a contemplar outras descrições de conectores.

Tabela 4.46 - Mudança ocorrida em “connectors, printed circuit board” seção 15.2 F para 15.1 N2..

	F	F NOTICE 1	F NOTICE 2	
<b>Seção 15.2 F com 15.1 N2</b>	<b>CONNECTORS, PRINTED CIRCUIT BOARD</b>			
<b>MUDANÇA F para N2</b>	*****	*****	Mudança na equação de $\lambda_p$ . Em F o valor de $\lambda_b$ é em função da temperatura de operação de contato interno, já na N2 o $\lambda_b$ é dado de acordo com a descrição e especificação. Mudanças no fator ambiental.	
Equação $\lambda_p$	$\lambda_p = \lambda_b * \pi_K * \pi_P * \pi_E$	*****	$\lambda_p = \lambda_b * \pi_T * \pi_K * \pi_Q * \pi_E$	
<i>Tabela: "Base Failure Rate"</i>	*****	*****	Muitas mudanças nessa tabela, na N2 é de acordo com especificações de conectores, em F é em função da temperatura, alterando muito o valor $\lambda_b$ .	
<i>Tabela: "Default Insert Temperature Rise (<math>\Delta T^\circ</math>) Determination"</i>	*****	*****	A tabela "Default Insert Temperature Rise ( $\Delta T^\circ$ ) Determination" foi totalmente modificada. Ver figura 4.5.	
<i>Tabela: Environment Factor <math>\pi_E</math></i>	Na F diferenciava “MIL-SPEC” e “LOWER Quality”		*****	Na N2 não existe distinção e os valores passaram a ser:
	MIL-SPEC	LOWER Quality	*****	*****
	$G_B = 1.0$	2.0	*****	$G_B = 1.0$
	$G_F = 3.0$	7.0	*****	$G_F = 1.0$
	$G_M = 8.0$	17.0	*****	$G_M = 8.0$
	$N_S = 5.0$	10.0	*****	$N_S = 5.0$
	$N_U = 13.0$	26.0	*****	$N_U = 13.0$
	$A_{IC} = 6.0$	14.0	*****	$A_{IC} = 3.0$
	$A_{IF} = 11.0$	22.0	*****	$A_{IF} = 5.0$
	$A_{UC} = 6.0$	14.0	*****	$A_{UC} = 8.0$
	$A_{UF} = 11.0$	22.0	*****	$A_{UF} = 12.0$
	$A_{RW} = 19.0$	37.0	*****	$A_{RW} = 19.0$
	$S_F = 0.5$	0.8	*****	$S_F = 0.5$
	$M_F = 10.0$	20.0	*****	$M_F = 10.0$
$M_L = 27.0$	54.0	*****	$M_L = 27.0$	
$C_L = 490.0$	970.0	*****	$C_L = 490.0$	
Acrescentou/Retirou	*****	*****	Na N2 acrescentou Tabelas para determinar os fatores: $\pi_T$ , $\pi_Q$ . Retirou o $\pi_P$ , não considerando mais o número de pinos de contato.	

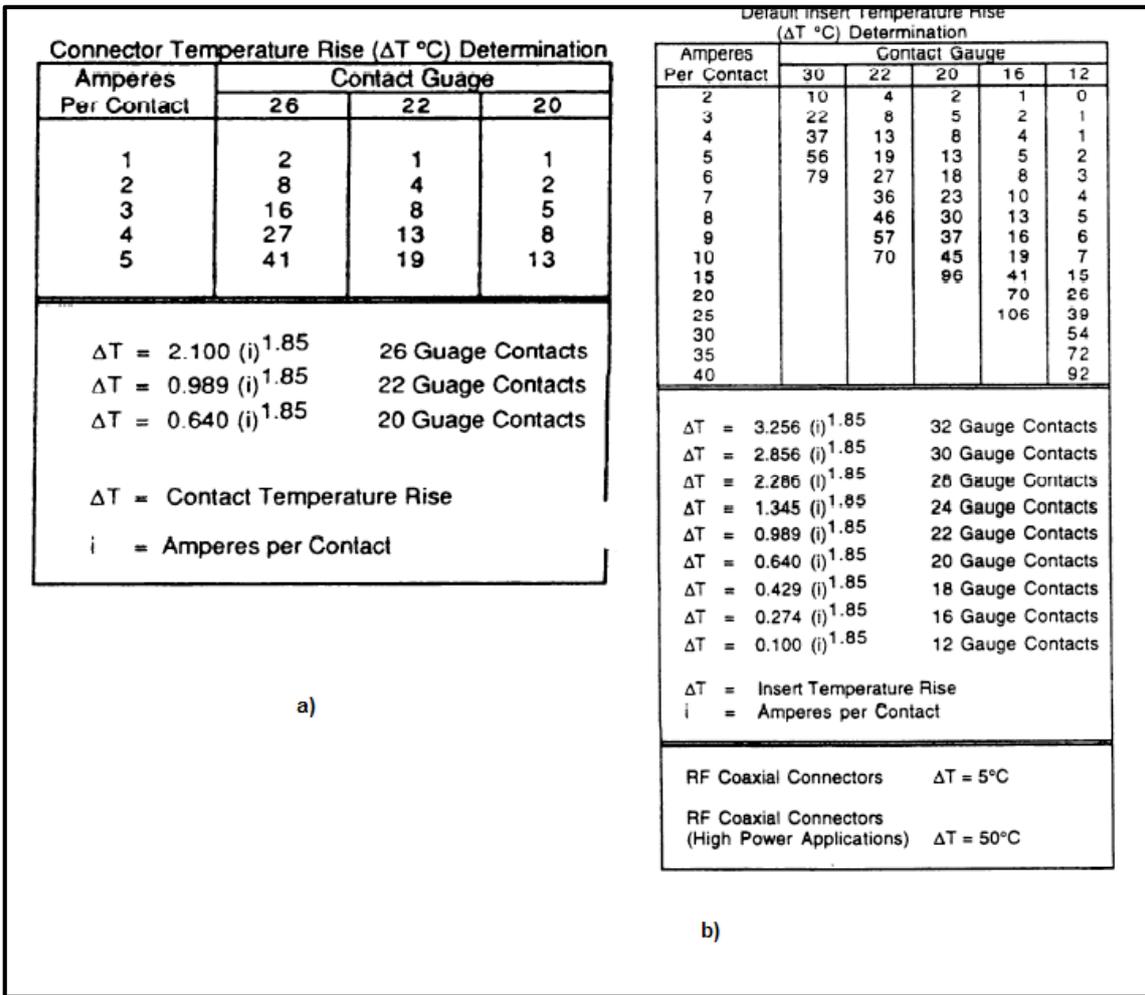


Figura 4.5 - Mudanças da versão F para versão N2 na tabela "Default Insert Temperature Rise ( $\Delta T$ ) Determination" citadas na Tabela 4.46

Tabela 4.47 - Mudanças nas seções referentes a “connectors, sockets” e na seção 16.1 (interconnection assemblies with plated through holes) na versão F e N2.

	F	F NOTICE 1	F NOTICE 2			
<b>Seção 15.3 F com 15.2 N2</b>	<b>CONNECTORS, INTEGRATED CIRCUIT SOCKETS</b>					
<b>MUDANÇA F para N2</b>	*****	*****	Mudança na equação de $\lambda_p$ , $\lambda_b$ e no fator $\pi_p$ . Fator ambiental não sobreu nenhuma alteração.			
Equação $\lambda_p$	$\lambda_p = \lambda_b * \pi_p * \pi_E$	*****	$\lambda_p = \lambda_b * \pi_p * \pi_Q * \pi_E$			
<i>Tabela: Base Failure Rate (<math>\lambda_b</math>)</i>	MIL S 83734 = 0,00042	*****	Descrição	MIL S	0,000064	
		*****	Dual-in-Line Package	83734		
		*****	Single-in-Line Package			
		*****	Chip Carrier	38533		
		*****	Pin Grid Array	N/A	12883	0,37
		*****	Relay	0,0051		
		*****	Transistor	0,011		
		*****	Eléctron Tube, CRT			
	F	F NOTICE 1	F NOTICE 2			
<b>Seção 16.1</b>	<b>INTERCONNECTION ASSEMBLIES WITH PLATED THROUGH HOLES</b>					
<b>MUDANÇA F para N2</b>	*****	*****	Mudança nos valores da tabela "Base Failures Rate - $\lambda_b$ ", na N2 passou a considerar um número maior de circuitos, para elaborar o fator de complexidade, chegando a 18 e não a 16 como na F.			
<i>Tabela: "Base Failure Rate - <math>\lambda_p</math>"</i>	Printed Wiring Assembly/Printed Circuit Board with PTHs = 0,000041	*****	Printed Wiring Assembly/Printed Circuit Board with PTHs = 0,000017			
	Discrete Wiring with Electroless Deposited PTH ( $\leq 2$ Levels of Circuitry) = 0,00026	*****	Discrete Wiring with Electroless Deposited PTH ( $\leq 2$ Levels of Circuitry) = 0,00011			
<i>Tabela: "Complexity Factor <math>\pi_c</math>"</i>	*****	*****	Na N2 passou a considerar um número maior de circuitos, para elaborar o fator de complexidade, chegando a 18 e não a 16 como na F.			

Na versão N2 foi incorporada uma nova seção, 16.2 (INTERCONNECTION ASSEMBLIES, SURFACE MOUNT TECHNOLOGY).

A Tabela 4.48 aborda as mudanças para conexões abordado na seção 17.1. Uma das alterações com a atualização N2 foi a fórmula utilizada para o cálculo da taxa de falhas, na versão F considerava o fator qualidade ( $\pi_Q$ ) e o fator ambiental ( $\pi_E$ ), na versão N2 foi retirado o fator qualidade ( $\pi_Q$ ). Houve também algumas alterações de valores na taxa básica de falhas.

Tabela 4.48 - Incorporação seção 16.2 (*interconnection assemblies, surface mount technology*) e mudança na seção 17.1 (*connections*).

	F	F NOTICE 1	F NOTICE 2
<b>Seção 16.2</b>	<b>INTERCONNECTION ASSEMBLIES, SURFACE MOUNT TECHNOLOGY</b>		
<b>MUDANÇA F p N2</b>	*****	*****	Essa seção não existe na versão F ou N1. Essa seção foi incorporada na versão N2.
	F	F NOTICE 1	F NOTICE 2
<b>Seção 17.1</b>	<b>CONNECTIONS</b>		
<b>MUDANÇA F p N2</b>	*****	*****	Mudança nos valores da tabela "Base Failures Rate - $\lambda_b$ ", na equação para o cálculo da taxa de falhas $\lambda_p$ .
Equação $\lambda_p$	$\lambda_p = \lambda_b * \pi_Q * \pi_E$	*****	$\lambda_p = \lambda_b * \pi_E$
<i>Tabela: "Base Failure Rate - <math>\lambda_p</math>"</i>	Hand Solder, w/o Wrapping = 0,0026	*****	Hand Solder, w/o Wrapping = 0,0013
	Hand Solder, w/Wrapping = 0,00014	*****	Hand Solder, w/Wrapping = 0,000070
	Weld = 0,00005	*****	Weld = 0,000015
	Solderless Wrap = 0,0000035	*****	Solderless Wrap = 0,0000068
	*****	*****	Spring Contact = 0,17
	*****	*****	Terminal Block = 0,062

#### 4.2. Análise das Mudanças Mencionadas

Esse tópico foi elaborado com o objetivo de resumir as mudanças mencionadas anteriormente no manual MIL HDBK 217 e, para algumas seções, mencionar o impacto causado pelas mudanças relatadas.

Para a realização da análise das alterações do manual foi feito uma classificação das mudanças. As mudanças foram classificadas em:

- a) Alteração da abrangência de componentes
- b) Mudança de localização no documento
- c) Inclusão de um novo componente
- d) Alteração no fator ambiental
  - a. Alterações de valores tabelados
  - b. Inclusão de novo ambiente
- e) Alterações de valores da taxa de falhas
  - a. Alteração de fórmula de modelagem
  - b. Alterações de valores tabelados para a taxa básica
  - c. Inclusão de nova especificação / alteração na taxa básica
- f) Alteração no nível de qualidade
  - a. Alterações de valores tabelados
  - b. Inclusão de novos níveis de qualidade
- g) Alteração de fórmula de modelagem
- h) Exclusão ou modificação de condições

Com o uso dessa classificação, foi elaborada a tabela 4.49 e 4.50, que classifica as alterações das 60 seções da versão F, parte dessas alterações são comentadas a fim de facilitar ao leitor a compreensão do que foi alterado e no impacto que estas alterações podem ocasionar.

Tabela 4.49 – Classificação das mudanças entre as versões F, N1 e N2, seções 5.1 a seção 10.14.

Seções da versão F	A	B	C	D		E			F		G	H
				a	b	a	b	c	a	b		
Seção 5.1	X	X										X
Seção 5.2		X									X	X
Seção 5.3												
Seção 5.4		X						X				X
Seção 5.5		X										
Seção 5.7	X											
Seção 5.8		X										X
Seção 5.12											X	
Seção 6.1							X					
Seção 6.8				X								
Seção 7.1						X						
Seção 7.2	X			X		X						
Seção 9.1				X		X			X	X		
Seção 9.2				X		X			X	X		
Seção 9.3				X		X			X	X		
Seção 9.4				X		X			X	X		
Seção 9.5				X		X			X	X		
Seção 9.6				X		X			X	X		
Seção 9.7				X		X			X	X		
Seção 9.8				X		X			X	X		
Seção 9.9				X		X			X	X		
Seção 9.10				X		X			X	X		
Seção 9.11				X		X			X	X		
Seção 9.12				X		X			X	X		
Seção 9.13				X		X			X	X		
Seção 9.14				X		X			X	X		
Seção 9.15				X		X			X	X		
Seção 10.1				X		X			X	X		
Seção 10.2				X		X			X	X		
Seção 10.3				X		X			X	X		
Seção 10.4				X		X			X	X		
Seção 10.5				X		X			X	X		
Seção 10.6				X		X			X	X		
Seção 10.7				X		X			X	X		
Seção 10.8				X		X			X	X		
Seção 10.9				X		X			X	X		
Seção 10.11				X		X			X	X		
Seção 10.12				X		X			X	X		
Seção 10.13				X		X			X	X		
Seção 10.14				X		X			X	X		

Tabela 4.50 – Classificação das mudanças entre as versões F, N1 e N2, seções 10.15 a seção 16.2.

Seções da versão F	A	B	C	D		E			F		G	H
				A	B	A	B	C	A	B		
Seção 10.15				X		X			X	X		
Seção 10.16				X		X			X	X		
Seção 10.17				X		X			X	X		
Seção 10.18				X		X			X	X		
Seção 10.19				X		X			X	X		
Seção 11.1						X			X			
Seção 11.2				X		X			X	X		
Seção 11.3												X
Seção 12.1						X	X	X				X
Seção 12.2	X											
Seção 13.1				X		X	X	X	X	X		
Seção 13.2							X			X		
Seção 14.1						X						X
Seção 14.2				X		X				X		
Seção 15.1						X		X				X
Seção 15.2				X		X		X				X
Seção 15.3						X		X				
Seção 16.1								X				X
Seção 16.2	Seção incorporada em N2											
Seção 17.1						X	X	X				

A seção 5.1 (“MICROCIRCUITS, GATE/LOGIC ARRAYS AND MICROPROCESSORS”) não sofre impacto algum para os componentes até 1000 gates, a alteração afeta os componentes de 1001 a 2000 gates, não existe classificação de valores para esse intervalo na versão F e N2, existe apenas na N1. Essa seção possui uma dependência de outra seção, a seção 5.8, por isso também sofre uma mudança de localização no documento (b) e exclusão de condições (h), essa dependência também ocorre com a seção 5.4, com a dependência da seção 5.8 a taxa de falhas dessas seções podem aumentar com a alteração se a referência para  $\pi_T$  dos componentes for do tipo ALSTTL e STTL, ver os resultados da seção 5.8.

A seção 5.2 (“*MICROCIRCUITS, MEMORIES*”) tem consequências para sistemas EEPROM com uma expectativa de vida diferente de 10 000 horas de operação, pois nesse caso os fatores  $A_1$  e  $A_2$  são multiplicados por um valor que passou a ser o inverso na versão N2, se o tempo de vida útil for menor que 10 000 horas de operação resultará na versão N2 um valor de  $\lambda_{CYC}$  menor que na versão F, caso seja um tempo de vida útil superior a essa referência irá aumentar o  $\lambda_{CYC}$ . Essa seção também possui dependência da seção 5.8.

A seção 5.3 (“*MICROCIRCUITS, VHSIC/VHSIC-LIKE AND VLSI CMOS*”) passou por alterações de valores da taxa básica de falhas ( $e$ ), com a inclusão de um novo tipo de componentes ( $c$ ) acrescentando memórias, não houve nenhum impacto nos componentes já existentes.

A seção 5.5 (“*MICROCIRCUITS, HYBRIDOS*”) faz referência a seção 5.12 para microcircuitos, para os demais componentes não existe nenhum impacto. A seção 5.12 sofreu uma alteração na equação para estimar  $T_J$ , essa alteração resultará em valores de  $T_J$  maiores na versão N1.

A seção 5.7 (“*MICROCIRCUITS, MAGNETIC BUBBLE MEMORIES*”) sofre uma alteração de abrangência de componentes para o cálculo do fator  $\pi_w$ , como mostra a Figura 4.2, essa alteração deixa de contemplar os componentes para  $0,03 < D < 0,3$ . (Lembrando que  $D = \text{Avg. Device Data Rate} / \text{Mfg. Max. Rated Data Rate}$ )

A seção 5.8 (“*MICROCIRCUITS,  $\pi_T$  TABLE FOR ALL*”) é referenciada em várias outras seções que se incorporam microcircuitos e sofre uma alteração do tipo b (mudança de localização no documento) e h (exclusão de condições). As alterações ocorrem na tabela: “*Temperature Factor for all microcircuits  $\pi_T$* ”, foi excluído a coluna de 0,45 eV e os dispositivos dessa coluna foram alocados e ou excluídos. O impacto dessas alterações reflete no fator  $\pi_T$ , componentes do tipo ALSTTL e STTL com a alteração passam a ter valores superiores para o fator  $\pi_T$ , o que resulta em um aumento na taxa de falha do componente.

A seção 6.1 (“*DIODOS, LOW FREQUENCY*”) possui alteração de valores da taxa básica de falhas ( $e$ ), os valores tabelados para “*Power Rectifier, Fast Recovery*” passou de 0,069 em F para 0,025, afetando diretamente a taxa de falhas final do componente. A redução de 36,23% de  $\lambda_b$ , afeta a taxa de falhas final numa mesma redução.

A seção 6.8 (“*TRANSISTORS, HIGH FREQUENCY, GaAs FET*”) sofreu alteração de valor no ambiente  $M_F$ , houve um acréscimo no valor tabelado de 20%, aumentando diretamente a taxa de falhas final em 20%.

A seção 7.1 (“*TUBES, ALL TYPES EXCEPT TWT AND MAGNETRON*”) sofreu alteração da modelagem para o cálculo da taxa de falhas, com a alteração os componentes calculados por N1 terão taxas de falhas superiores aos calculados em F.

Muitas alterações ocorreram na seção 7.2 (“*TUBES, TRAVELING WAVE*”), redução dos valores tabelados para o fator ambiental, a redução chega a 50% para vários ambientes, isso resulta em uma redução direta na taxa de falhas, houve também mudança na modelagem matemática da taxa básica e alteração na abrangência de condições, como mostra a Figura 4.3. Com as três alterações, é necessária uma análise mais detalhada para verificar o impacto na taxa de falhas.

As seções 9.1 até a seção 9.10 que se referem a resistores passaram por mudanças na modelagem da taxa de falhas, houve uma unificação de todas essas seções em F para apenas uma seção em N2. Os valores tabelados para a severidades de ambientes também foram alterados, de forma geral os valores em N2 foram aumentados, os ambientes que quase não tiveram alteração são os  $G_B$  e  $S_F$ . Níveis de qualidade foram acrescidos nessas seções.

As seções 10.1 a 10.19 da versão F, que se referem a capacitores, foram unificadas na seção 10.1 da versão N2. Essas seções passaram por mudanças na modelagem da taxa de falhas, os valores tabelados para a severidades de ambientes também foram alterados, de forma geral os valores em N2 foram

aumentados e novos níveis de qualidades foram incorporados, os níveis D, C, S, B, R, P M e L passaram a ser considerados para todos os tipos de capacitores além de confiabilidade não estabelecida, baixa qualidade e qualidade comercial.

A seção 11.1 (“*INDUCTIVE DEVICES, TRANSFORMERS*”) passou por mudança na modelagem da taxa de falhas, passou a ter um fator para considerar uma correção referente a temperatura de operação e houve mudanças de valores no nível de qualidade.

As mudanças declaradas na seção 11.2 (“*INDUCTIVE DEVICES, COILS*”) se referem a modelagem da taxa de falhas, incorporação de novos níveis de qualidades e mudanças de valores tabelados para “*lower*” e alterações nos valores tabelados do fator ambiental para os ambientes  $G_F$ ,  $A_{IC}$ ,  $A_{IF}$ ,  $A_{UC}$  e  $A_{UF}$ . Todos esses ambientes foram aumentados de uma unidade, com exceção do ambiente  $G_F$  que sofreu um aumento de duas unidades.

Com a atualização N2, para ambientes espaciais uma análise térmica específica deverá ser realizada na seção 11.3 (“*INDUCTIVE DEVICES, DETERMINATION OF HOT SPOT TEMPERATURE*”), como não realizamos essa análise não foi possível verificar o impacto da mudança.

A seção 12.1 (“*ROTATION DEVICES, MOTORS*”) passou por alterações na modelagem matemática da taxa de falhas e foi inserido uma tabela de referência de fatores de acordo com o tipo de motor, fez a exclusão de temperaturas ambientais negativas.

Uma mudança discreta ocorreu na seção 12.2 (“*ROTATION DEVICES, SYNCHROS AND RESOLVERS*”), ocorreu uma alteração da abrangência de componentes para o fator  $\pi_N$  e afeta os “*number of brusses*” inferiores a 2, que na versão F não eram tratados.

A seção 13.1 (“*RELAYS, MECHANICAL*”) passou por mudanças na modelagem da taxa básica de falhas para temperatura de 85°C e 125°C, o fator ambiental deixou de ser tabelado de acordo com a qualidade e o fator

qualidade passou por mudanças na qualidade “*Non-Est Ref*” e acrescentou a qualidade “*MIL SPEC*” e comercial, as demais não se alteram.

Mudanças nos valores tabelados para a taxa básica de falhas, todos os valores foram decrescidos na seção 13.2 (“*RELAYS, SOLID STATE AND TIME DELAY*”) resultando numa diminuição direta na taxa básica de falhas e o fator qualidade passou por uma troca, não se considera a qualidade “*Lower*” e passou a considerar a qualidade “*commercial*”. A taxa de falhas desses componentes com as mudanças realizadas na versão N2 tendem a ser inferiores que as taxas calculadas pela versão F.

A seção 14.1 (“*SWITCHES*”) teve a modelagem da taxa de falhas alterada com a versão N2, mudou todos os valores tabelados para o fator  $\pi_C$ , acrescentando uma modelagem para encontrar o valor do fator em função do número de contatos.

A seção 14.2 (“*SWITCHES, BASIC SENSITIVE (F) = SWITCHES, CIRCUIT BREAKERS (N2)*”) sofreu com a alteração da modelagem da taxa de falha, foi incorporado novas especificações substituindo a especificação antiga e teve os valores para vários ambientes alterados para valores menores, os ambientes afetados foram:  $G_F$ ,  $G_M$ ,  $N_U$ ,  $A_{IC}$ ,  $A_{IF}$ ,  $A_{UC}$ ,  $A_{UF}$ ,  $M_L$  e  $C_L$ .

As seções 15.1 e 15.2 da versão F foram aglomeradas na seção 15.1 da N2. Essas seções tiveram a modelagem da taxa de falhas alterada, foi acrescentado outras especificações de conectores, não alterando as existentes, a taxa básica de falhas deixou de considerar os grupos de materiais e em N2 deixou de considerar o número de pinos ativos. Isso resultou em taxas de falhas constantes para qualquer que fosse o número de pinos ativos no conector. A seção 15.2 (“*CONNECTORS, PRINTED CIRCUIT BOARD*”) teve também os valores tabelados para o fator ambiental alterado, de forma geral os valores foram aumentados, com exceção dos ambientes  $S_F$  e  $G_B$  que permaneceram inalterados.

A seção 15.3 (“CONNECTORS, INTEGRATED CIRCUIT SOCKETS”) teve as mesmas mudanças da seção 15.1 e 15.2.

A seção 16.1 (“NECTION ASSEMBLIES WITH PLATED THROUGH HOLES”) teve os valores da taxa básica de falhas alterados, foram diminuídos afetando diretamente a taxa de falhas para um valor utilizando N2 inferior ao valor calculado em F e alterações no fator de complexidade, fazendo uma alteração da abrangência dos componentes, considerando um número maior de circuitos, chegando a um número de circuitos até 18.

A seção 16.2 (“INTERCONNECTION ASSEMBLIES, SURFACE MOUNT TECHNOLOGY”) foi elaborada na versão N2 e não consta na versão F.

A seção 17.1 (“CONNECTIONS”) passou por mudanças como a alteração da modelagem da taxa de falhas e alteração dos valores tabelados para a taxa básica de falhas, incorporando dois novos tipos, os tipos alterados foram: “Hand Solder”, “w/o Wrapping”, “Hand Solder”, “w/Wrapping”, “Weld” e “Solderless Wrap”.

## **5. APLICAÇÕES DO MANUAL MIL-HDBK-217 ATRAVÉS DE ESTUDOS DE CASOS**

No capítulo anterior foi possível visualizar todas as alterações com as atualizações do manual MIL-HDBK-217 abrangendo a família da série F. No entanto, sabemos que mudanças causam impactos, quais seriam as consequências dessas mudanças? Este capítulo consiste em realizar, analisar e comparar o cálculo da taxa de falhas de alguns equipamentos pelas versões da família MIL-HDBK-217F. Procura aferir algumas das consequências ocasionadas pelas diferenças obtidas entre as versões para o cálculo da taxa de falhas/confiabilidade, objetivando visualizar alguns desses impactos através de alguns componentes.

### **5.1. Escolha dos Estudos de Casos**

Existe uma multiplicidade de componentes eletrônicos disponíveis para análise empregando as versões do manual MIL HDBK 217. Este trabalho selecionou alguns desses componentes para estudo, baseando em alguns critérios considerados de suma importância:

- Analisar os componentes eletrônicos mais utilizados;
- Analisar os componentes eletrônicos mais importantes para satélites;
- Analisar componentes com alterações notáveis ou significativas entre as versões;
- Considerar sempre que a escolha exerce uma dependência da disponibilidade de dados.

Com base nas categorias estabelecidas, foi selecionado alguns componentes eletrônicos para realizar esse estudo de caso, são eles Capacitores, Conectores e Resistores. Esses componentes são muito utilizados, não apenas em satélites, mas em geral e, são os componentes que mais sofreram mudanças durante as atualizações.

Componentes como diodos e transistores, componentes semicondutores em geral, são considerados de suma importância e possuem grande utilização em sistemas, mas não sofreram com mudanças significativas entre as versões do manual. Por esse motivo, não contemplam essa análise de diferenças entre versões. No entanto, no próximo capítulo é feito uma pequena análise para transistores e diodos de modo geral.

Entre os capacitores escolhidos, estão os mais utilizados no setor espacial, os de tântalo e o cerâmico. Devido à dificuldade de obter dados para os vários tipos de capacitores cerâmicos, foi analisado apenas um e foi feito uma análise para um capacitor de vidro, não tão utilizado, mas obtivemos para este todas as informações necessárias para os cálculos.

Conectores e Resistores são os componentes que mais sofreram alterações com a transição de versões, principalmente com as normas de especificações, tornando assim os mais difíceis para obter dados. Com o intuito de tornar a comparação para conectores mais didática, foi utilizado o *datasheet* para obter intervalo de temperatura, especificação, particularidades, no entanto o número de pinos ativos declarados no *datasheet* não foi empregado. Foi utilizado um range de pinos de acordo com números declarados no manual (versão F).

Ao analisar conectores e resistores, a escolha se limitou mais entre a disponibilidade de dados e privilegiou alguns que são, também, muito utilizados. Para conectores foram analisados os tipos: “*Rack and Panel*”, “*Circular/Cylindrical*” e “*Power*”. Já para os resistores ficamos apenas com o resistor de filme e o resistor network de filme.

A Tabela 5.1 apresenta todos os componentes eletrônicos abordados nesse estudo de caso e as seções que podem ser encontrados nas versões do manual MIL-HDBK-217. Todas as mudanças ocorridas para esses componentes abordam apenas a versão F e N2.

Tabela 5.1 - Matriz de casos mostra quais componentes foram escolhidos para a realização do estudo de caso.

<b>Componentes Analisados</b>		<b>Seção F</b>	<b>Seção N2</b>
<b>Capacitores</b>	Fixed, Ceramic, Dielectric	10.10	10.1
	Fixed, Electrolytic, Tantalum, Non-Solid	10.13	10.1
	Fixed, Electrolytic, Tantalum, Solid	10.12	10.1
	Fixed, Glass	10.9	10.1
<b>Resistores</b>	Resistors, Fixed, Film (High Stability)	9.2	9.1
	Resistors, Network, Fixed, Film	9.4	9.1
<b>Conectores</b>	Rack and Panel	15.1	15.1
	Circular/Cylindrical	15.1	15.1
	Power	15.1	15.1

Para realizar a comparação da taxa de falhas de um componente pelas versões da MIL HDBK 217 foi utilizado como critério essencial, que o mesmo esteja especificado por normas comuns entre as versões (exemplo MIL C 21097, MIL C 39014, etc). Uma exigência que muitas vezes impede a comparação, pois com as atualizações do manual, algumas especificações foram acrescentadas e outras substituídas, dificultando a análise direta. Foi

utilizado datasheets de fabricantes que atendessem as normas de especificações citadas nas versões da MIL HDBK para obter informações específicas.

Para os cálculos de taxa de falhas foram considerados categorias de ambientes que ilustrassem condições ambientais diferentes. Abrangendo de ambientes de maior controle (condições benignas de solo) aos ambientes em condições extremas ou extremamente severas, possibilitando assim uma variabilidade na análise de um mesmo componente. Foi selecionado quatro categorias diferentes de ambientes que estão listadas abaixo.

- Ambiente  $S_F$  – Voo orbital. Inclui condições favoráveis ou benignas de solo. Inclui satélites e ambientes espaciais, não inclui veículos em voos energizados e nem em reentrada na atmosfera.
- Ambiente  $A_{IC}$  – Condições típicas de compartimentos de carga de aeronaves, que podem ser ocupadas por tripulações. Possuem condições ambientais extremas de pressão, temperatura, choque e vibração mínima.
- Ambiente  $G_F$  – Condições de solo, equipamento físico. Ambientes moderadamente controlados, tais como, instalação em racks permanentes com ar de refrigeração adequada e possível instalação de equipamentos de controle de tráfego aéreo de radar e de comunicação.
- Ambiente  $C_L$  - Condições extremamente severas relacionadas com lançamento/disparo de canhões de 155 mm e projéteis guiados de 5". Condições são aplicadas ao projétil desde o lançamento ou disparo até o impacto no alvo.

Além do manual MIL HDBK 217 (F, N1 e N2) é utilizado para os cálculos da taxa de falhas a norma/manual ECSS-Q-ST-30-11C, que aborda a garantia do produto espacial. Este manual especifica os requisitos de “derating” aplicáveis

à eletrônica, elétrica e componentes eletromecânicos. Essa é uma prática do INPE de longa data aplicadas a componentes usados em naves espaciais.

A ECSS-Q-ST-30-11C (2008) descreve “*Derating*” (redução do limite de solicitação) como o processo de concepção de um produto de tal forma que seus componentes funcionem a um nível significativamente reduzido de estresse para aumentar a confiabilidade e garantir a vida útil e margem de projeto.

## 5.2. Estudos de Casos com Capacitores

### 5.2.1 Hipóteses Adotadas para os Cálculos e Comparações

Para o cálculo numérico da taxa de falhas de capacitores (Figura 5.1) foi utilizado como referência MIL HDBK 217 F e F (Notice 2), já que a F (Notice 1) mantém as mesmas considerações da versão F.



Figura 5.1 - Diversos Capacitores.

Fonte: AVX, (2012)

Segundo ECSS (2008) para capacitores o “Aquecimento interno devido à resistência de série equivalente pode acelerar o envelhecimento e devem ser considerados a aplicação de uma margem de temperatura. Onde a resistência de série equivalente não é conhecida na frequência de uma corrente alternada, uma extrapolação do valor da resistência e ressonância (a partir de dados do fabricante ou de teste) deve ser feita quando possível. ”

A margem de temperatura adotada para os cálculos de taxa de falhas de capacitores foi de 40°C abaixo da temperatura máxima. Foi adotado as orientações de ECSS-Q-ST-30-11C (2011) para “derating” na tensão com uso de 60%.

### **5.2.2 Estudo de Caso: Capacitor do tipo “Fixed, Ceramic, Dielectric”**

Para o estudo de capacitores fixos de cerâmica dielétricos (Figura 5.2) foram utilizados para os cálculos dados de um capacitor nas seguintes condições:

Especificação: MIL-C-39014

Variação da temperatura de operação: -25°C a 125°C

Informações específicas podem ser encontradas em *Datasheet*, AVX, (2012).

Nível de Qualidade adotada: MIL C em F e não estabelecida em N2.

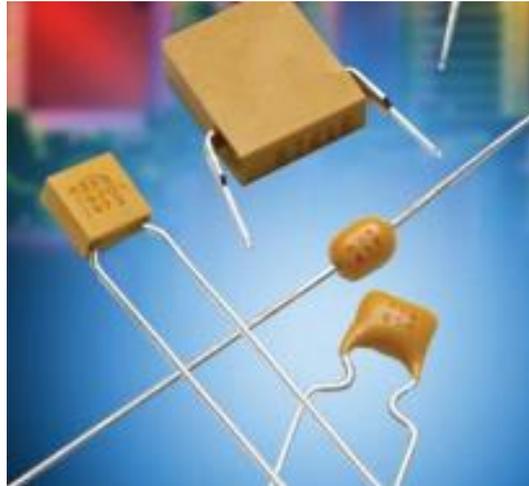


Figura 5.2 – Capacitores cerâmicos  
Fonte: AVX, (2012)

**Primeiro Caso:** Ambiente adotado  $S_F$ .

**Segundo Caso:** Ambiente adotado  $A_{IC}$ .

**Terceiro Caso:** Ambiente adotado  $G_F$ .

**Quarto Caso:** Ambiente adotado  $C_L$ .

### 5.2.2.1 Valores Capacitância e Condições de Tensões Adotadas

#### Condição A)

Tensão: 50 VDC

Capacitância consideradas: 12000, 15000, 18000, 22000, 27000, 33000, 39000, 47000, 56000, 68000, 82000 e 100000 pF.

#### Condição B)

Tensão: 100 VDC

Capacitância consideradas: 1200, 1500, 1800, 2200, 2700, 3300, 3900, 4700, 5600, 6800, 8200 e 10000 pF.

### **Condição C)**

Tensão: 200 VDC

Capacitância consideradas: 10, 33, 82, 100, 120, 150, 180, 220, 270, 330, 390, 470, 680, 820 E 1000 Pf

#### **5.2.2.2 Resultados da Comparação para Capacitor Cerâmico**

Na versão F a tensão de operação e a temperatura são utilizadas para compor a taxa básica de falhas ( $\lambda_p$ ), já na versão N2 a tensão de operação é considerada para o fator de estresse de tensão ( $\pi_v$ ), e a temperatura é inserida numa equação para compor o fator temperatura.

Quanto maior for a capacitância considerada, maior é o fator capacitância, incidindo assim em taxas de falhas maiores, isso ocorre nas três versões do manual e para as quatro categorias de ambiente analisadas. O acréscimo na taxa de falhas, decorrente do aumento da capacitância, é mais perceptível na versão F do que na versão N2. Conforme ilustra as Figuras 5.3, 5.4 e 5.5 que foram geradas a partir dos resultados dos cálculos obtidos para esse tipo de capacitor que podem ser visualizados e analisados através do tópico A1 Apêndice A e B1 do Apêndice B.

Ao utilizar a versão N2, considerando um capacitor de 100 VDC em ambiente  $S_F$ , a diferença entre a taxa de falhas para uma capacitância de 10.000 pF a uma capacitância de 1.000 pF é na ordem de  $9 \times 10^{-5}$ , nas mesmas condições

para a versão F é de  $2 \times 10^{-3}$ . Valores que podem fazer muita diferença na taxa de falhas final ou confiabilidade total de um equipamento eletrônico.

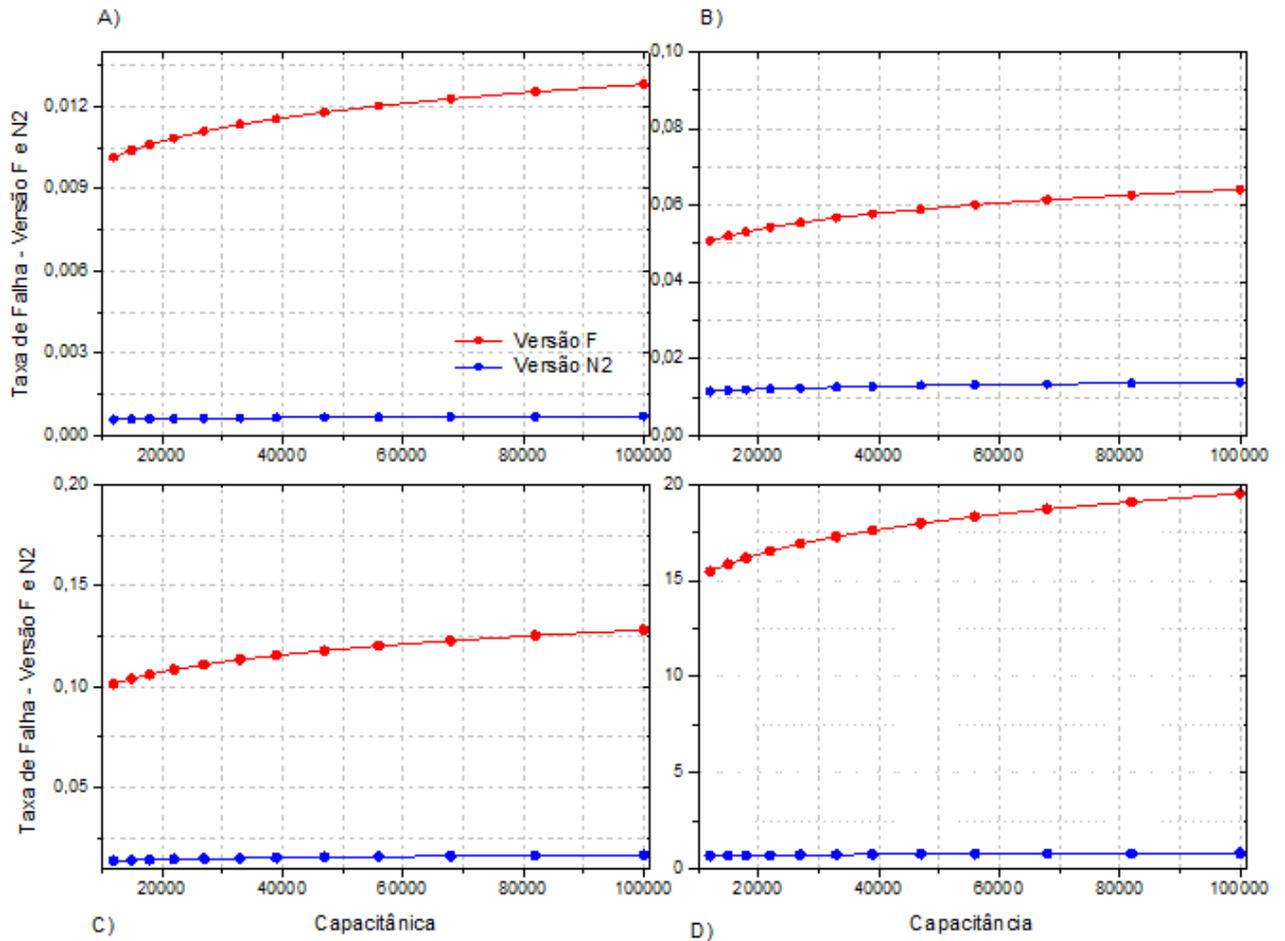


Figura 5.3 - Comparação das taxas de falhas de Capacitores Cerâmicos de 50 VDC, versão F com N2. A) Ambiente  $S_F$ , B) Ambiente  $G_F$ , C) Ambiente  $A_{IC}$  e D) Ambiente  $C_L$  Unidades Capacitâncias em pF x Taxa de falha em falhas/ $10^6$  horas

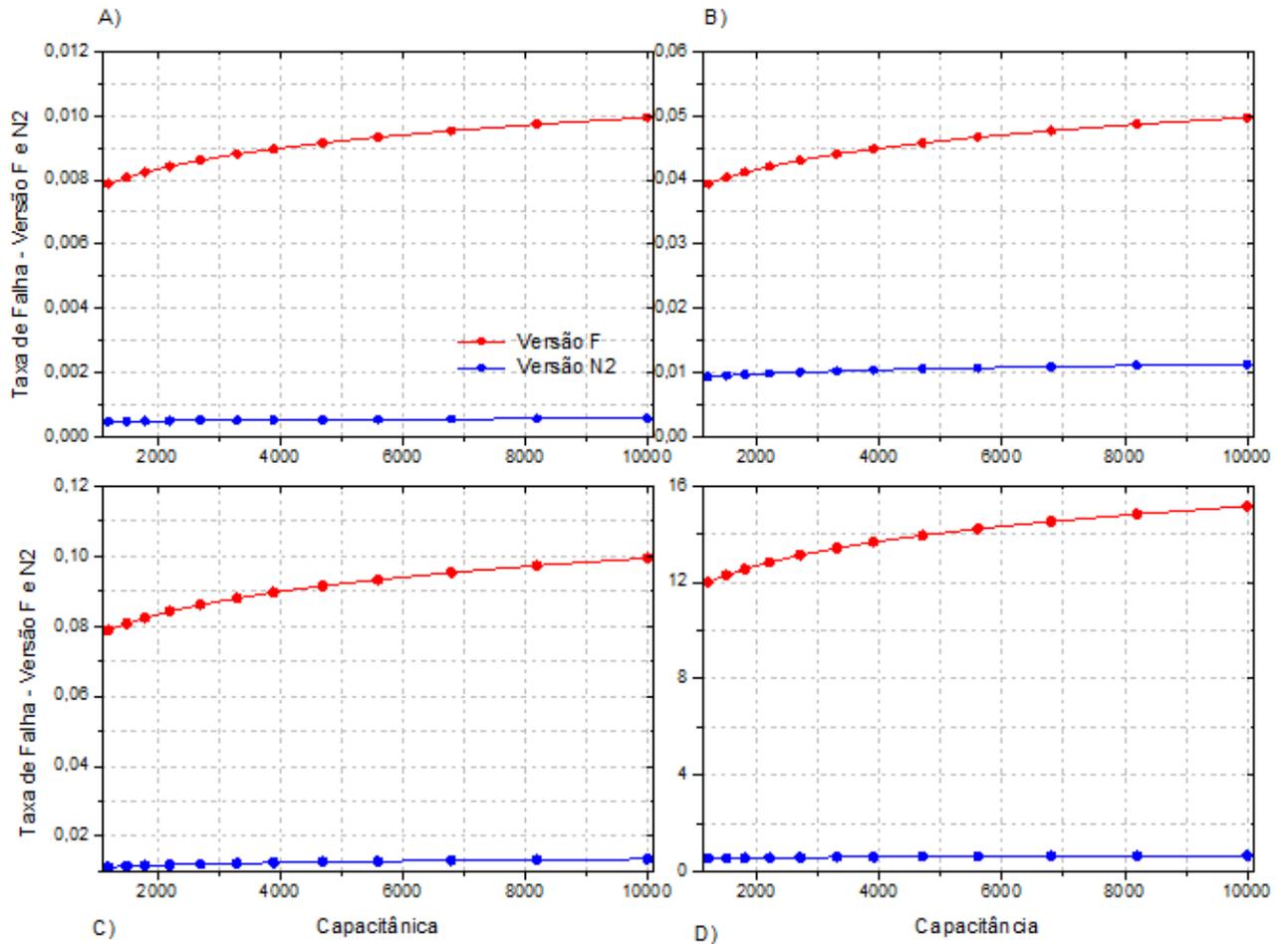


Figura 5.4 - Comparação das taxas de falhas de Capacitores Cerâmicos de 100 VDC, versão F com N2. A) Ambiente S<sub>F</sub>, B) Ambiente G<sub>F</sub>, C) Ambiente A<sub>IC</sub> e D) Ambiente C<sub>L</sub>. Unidades Capacitâncias em pF x Taxa de falha em falhas/10<sup>6</sup> horas

Em relação aos ambientes de operação, na atualização N2 a tabela de fatores ambientais sofreu um acréscimo nos valores, alguns aumentaram mais que o dobro do valor descrito na versão F, como por exemplo, o ambiente A<sub>IC</sub> passou de 4 para 12, existindo uma exceção para o ambiente C<sub>L</sub>, este foi o único a decrescer de 610 para 570 unidades.

Naturalmente, esperava-se que ao aumentar a severidade dos ambientes (S<sub>F</sub>, G<sub>F</sub>, A<sub>IC</sub> e C<sub>L</sub>), a taxa de falhas acompanharia. Ao avaliar esses acréscimos,

percebemos que a discrepância entre F e N2 no ambiente  $C_L$  é muito superior que nos demais ambientes. Ver figura 5.4. Isso deve ao fato de que ao utilizar a versão F para o cálculo da taxa de falhas em ambiente  $C_L$ , a taxa de falhas para qualquer capacitância calculada é superior a 6 falhas/ $10^6$ , mas em N2 essas taxas são inferiores a 1 falha/ $10^6$  horas. (Ver Tabela 5.2)

Com a atualização N2, para capacitores cerâmicos nas circunstâncias analisadas, as taxas de falhas em N2 foram inferiores aos valores encontrados em F em todas as condições, no entanto quando se refere ao ambiente  $C_L$  essa diferença chega a uma média geral de 13 falhas/ $10^6$  horas. O que fica claro, é que a severidade do ambiente influencia muito na taxa de falhas. (Ver a Tabela 5.3).

Um dos motivos pelo qual a diferença de valores entre as versões declaradas na tabela 5.2 é tão discrepante, é pela taxa básica de falhas, que em N2 é tabelada de acordo com o capacitor em um valor muito inferior ao resultante da versão F e ao fato do fator  $\pi_c$  de N2 que substitui o fator  $\pi_{cv}$ , ambos em função da capacitância, sofreu uma alteração na modelagem e passou a produzir valores bem inferiores aos produzidos pela modelagem de F.

Tabela 5.2 - Taxa de falhas para capacitor cerâmico em ambiente CL, para tensão de 100 VDC

Capacitância (pF)	F	N2	Diferença entre F e N2
Taxa de falhas/10 <sup>6</sup> horas			
1200	12,01166	0,530536334	11,48113
1500	12,31015	0,541298761	11,76885
1800	12,55952	0,550254173	12,00927
2200	12,83984	0,560282246	12,27956
2700	13,13237	0,570704844	12,56167
3300	13,42548	0,581105618	12,84437
3900	13,67446	0,589908473	13,08456
4700	13,95802	0,599898294	13,35813
5600	14,22964	0,609432684	13,62021
6800	14,53681	0,620175523	13,91664
8200	14,83928	0,630713412	14,20856
10000	15,16677	0,642079523	14,52469
<b>Média</b>	<b>13,557</b>	<b>0,58553</b>	<b>12,97147</b>

Tabela 5.3 - Mostra o valor médio da discrepância das taxas de falhas entre as versões F e N2, para capacitores cerâmicos.

Ambientes	Condição A 50VDC	Condição B 100VDC	Condição C 300VDC
S <sub>F</sub>	0,01082 falhas/10 <sup>6</sup> horas	0,008376 falhas/10 <sup>6</sup> horas	0,006095 falhas/10 <sup>6</sup> horas
G <sub>F</sub>	0,044624 falhas/10 <sup>6</sup> horas	0,034177 falhas/10 <sup>6</sup> horas	0,024523 falhas/10 <sup>6</sup> horas
A <sub>IC</sub>	0,099358 falhas/10 <sup>6</sup> horas	0,076571 falhas/10 <sup>6</sup> horas	0,055395 falhas/10 <sup>6</sup> horas
C <sub>L</sub>	16,74444 falhas/10 <sup>6</sup> horas	12,97147 falhas/10 <sup>6</sup> horas	9,447721 falhas/10 <sup>6</sup> horas

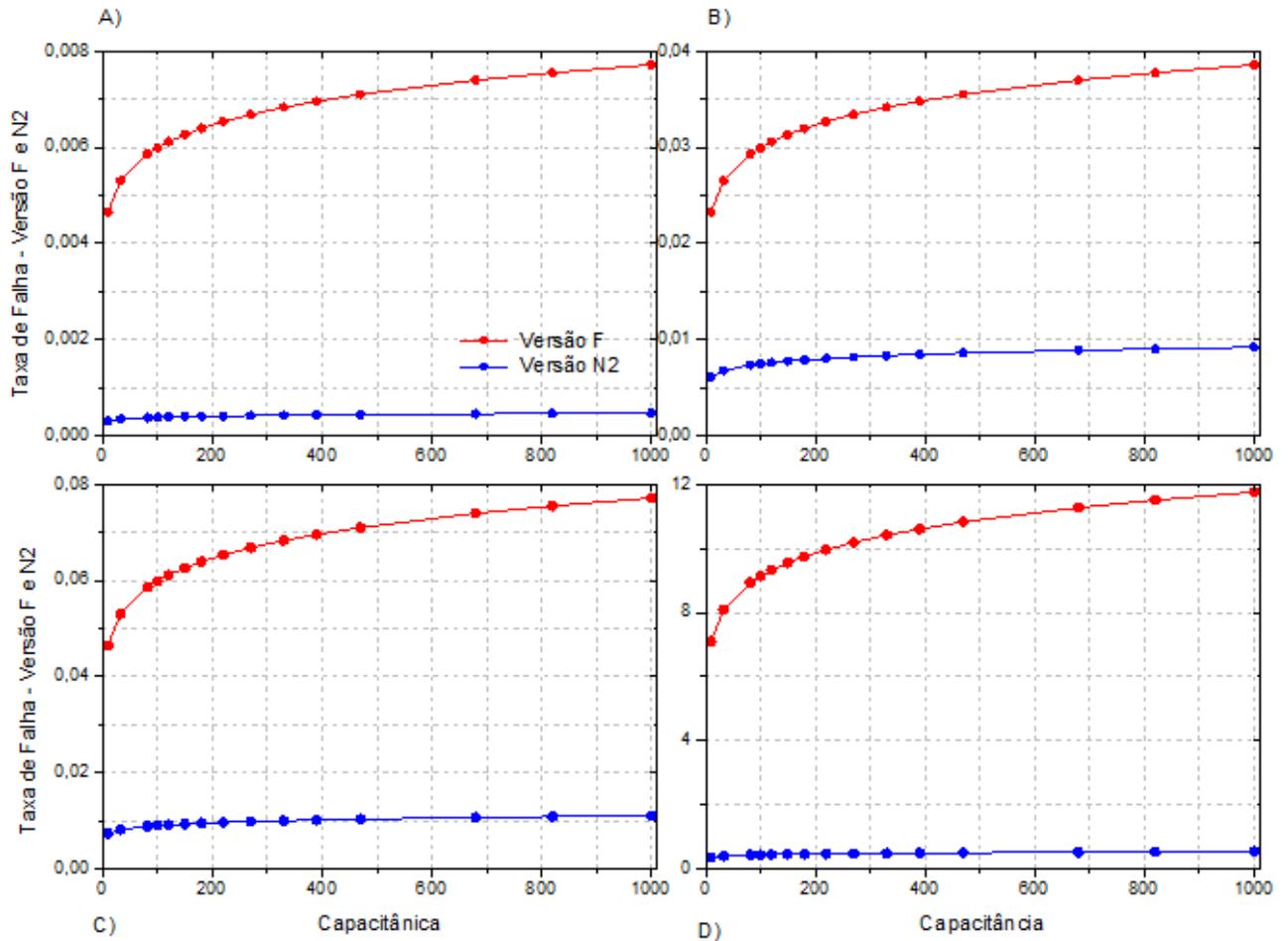


Figura 5.5 - Comparação das taxas de falhas de Capacitores Cerâmicos de 200 VDC, versão F com N2. A) Ambiente  $S_F$ , B) Ambiente  $G_F$ , C) Ambiente  $A_{IC}$  e D) Ambiente  $C_L$  Unidades Capacitâncias em pF x Taxa de falha em falhas/ $10^6$  horas

### 5.2.3 Estudo de Caso: Capacitor do Tipo “Fixed, Electrolytic, Tantalum, non-solid”

Para o estudo de capacitores fixos eletrolíticos de tântalo não sólido (Figura 5.6) foi utilizado para os cálculos dados de um capacitor nas seguintes condições:

Especificação: MIL-C-39006

Estilo: CLR

Características: Hermeticamente selado; metal encaixotado; Axial chumbo e Tubular, foil hermético.

Tipo: Foil Hermetic

Variação da temperatura de operação:  $-55^{\circ}\text{C}$  a  $125^{\circ}\text{C}$

Nível de Qualidade adotada: S

Informações específicas podem ser encontradas em *Datasheet*, Vishay (2003).



Figura 5.6 - Capacitor de tântalo, não sólido.  
Fonte: Vishay (2003).

**Primeiro Caso:** Ambiente adotado  $S_F$ .

**Segundo Caso:** Ambiente adotado  $A_{IC}$ .

**Terceiro Caso:** Ambiente adotado  $G_F$ .

**Quarto Caso:** Ambiente adotado  $C_L$ .

### 5.2.3.1 Valores de Capacitância e Condições Tensões Adotadas

**Condição A)** Tensão: 50 VDC

Capacitância consideradas: 5, 10, 25, 47, 60, 82 e 160  $\mu\text{F}$ .

**Condição B)** Tensão: 60 VDC

Capacitância consideradas: 4, 8.2, 20, 39, 50, 68 e 140  $\mu\text{F}$ .

**Condição C)** Tensão: 100 VDC

Capacitância consideradas: 2.5, 4.7, 11, 22, 30, 43 e 86  $\mu\text{F}$ .

### 5.2.3.2 Resultados da Comparação Capacitor de Tântalo não Sólido

A faixa de temperatura de operação foi utilizada de acordo com os valores encontrados no *datasheet*, utilizando derating atingiu a temperatura máxima de 85°C. Na versão F, a tensão de operação e a temperatura são utilizadas para compor a taxa básica de falhas ( $\lambda_b$ ) e na versão N2 a tensão de operação é considerada para o fator de estresse de tensão ( $\pi_v$ ) e a temperatura é inserida numa equação para compor o fator temperatura.

Para o cálculo da taxa básica de falhas utilizando a versão F, encontra-se três equações de acordo com a temperatura máxima de operação. O curioso em F, é que ao utilizar a equação para a classe de maior temperatura é obtido valores menores para  $\lambda_b$ .

A versão N2 estabelece no fator qualidade estilos com melhor qualidade (D e C), estilos que não aparecem em F, mas os valores dos estilos comuns são os mesmos nas versões.

A versão F possui um fator de correção específico para capacitores de tântalo não sólidos, é o fator construção (Construction Factor -  $\pi_c$ ), fator não utilizado na versão N2. Esse fator se refere ao tipo de construção do capacitor, considerando cinco categorias (Slug, All Tantalum = 0,3; Foil Hermetic = 1; Slug Hermetic = 2; Foil Non-Hermetic = 2,5 e Slug, Non-Hermetic = 3). O valor do fator construção para as condições analisadas aqui é neutro (Foil, Hermetic), ou seja, seu valor é igual a um, então não irá interferir nos valores das taxas de falhas. No entanto, os valores do fator construção podem variar de 0,3 a 3 unidades, causando algum impacto na taxa de falhas.

Foi feita uma análise complementar, não apresentada aqui, abordando uma variação no valor do fator construção, e constatou-se que mesmo ao considerar o tipo de construção “Slug, All Tantalum” que possui o menor valor para o fator (0,3), a taxa de falhas calculada pela versão F ainda é superior ao da versão N2. Por exemplo, no ambiente  $S_F$ , a média dessa diferença é de 0,00375 falhas/10<sup>6</sup> horas. Um valor menor que nas condições “Foil, Hermetic”, essa média das diferenças entre F e N2 nas outras categorias de ambiente são superiores, pois se trata de ambientes com severidade maior.

A taxa de falhas do componente é proporcional a capacitância, assim como os outros capacitores analisados, ou seja, a taxa de falhas tende a aumentar conforme a capacitância é elevada.

As Figuras 5.7, 5.8 e 5.9 foram geradas a partir dos resultados dos cálculos obtidos para esse tipo de capacitor que podem ser visualizados e analisados através do tópico A2 Apêndice A e B2 do Apêndice B.

Ao analisarmos as figuras (Figura 5.7, Figura 5.8 e Figura 5.9) é perceptível que as taxas de falhas pela versão F é superior a versão N2 em todos os ambientes estudados, com discrepância maior em relação a severidade do ambiente. E o padrão da curva para cada ambiente se repete em relação as tensões aplicadas.

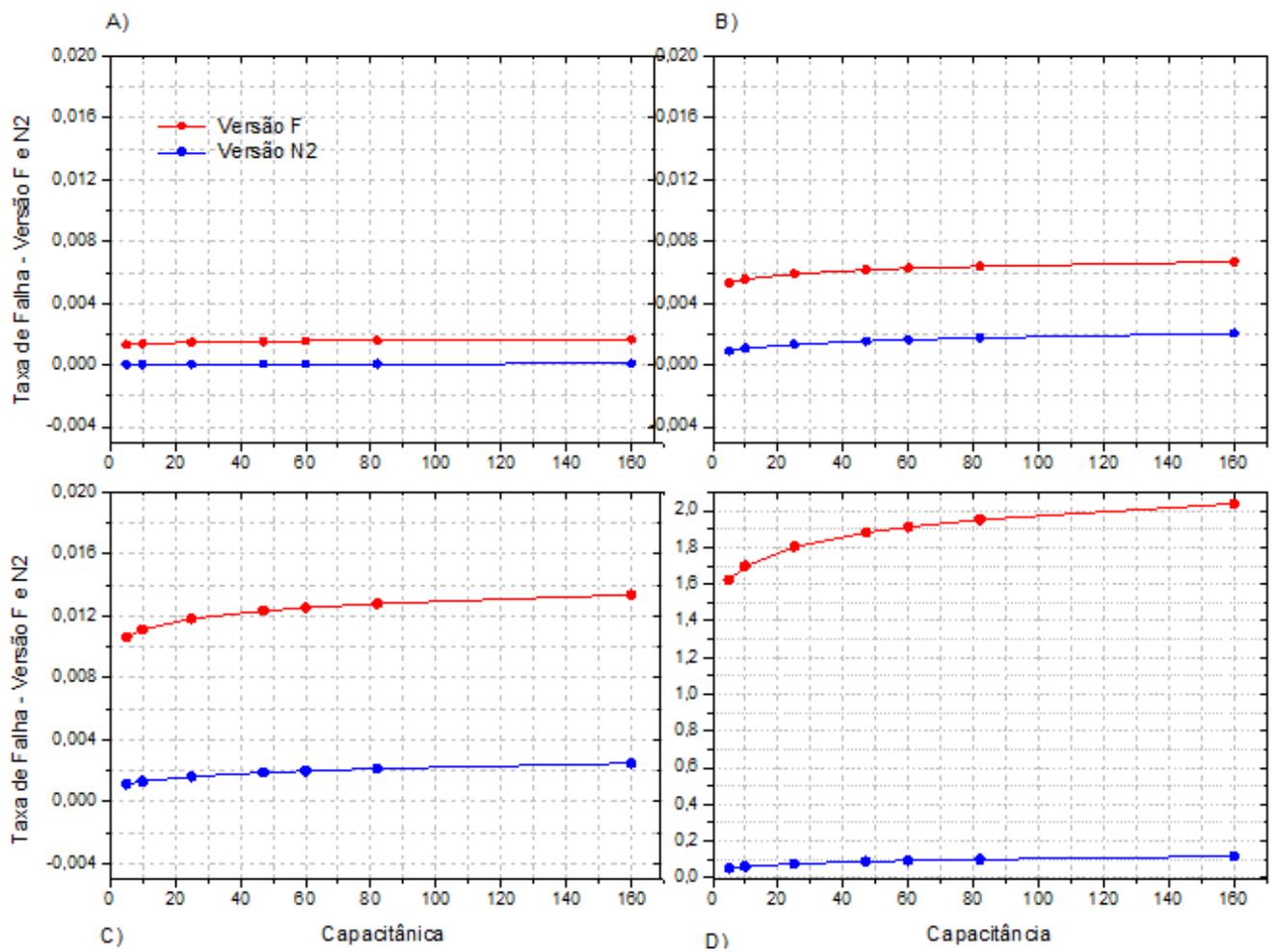


Figura 5.7 - Comparação das taxas de falhas de Capacitores de Tântalo não sólido de 50 VDC, versão F com N2. A) Ambiente  $S_F$ , B) Ambiente  $G_F$ , C) Ambiente  $A_C$  e D) Ambiente  $C_L$  Unidades Capacitâncias em  $\mu\text{F}$  x Taxa de falha em falhas/ $10^6$  horas

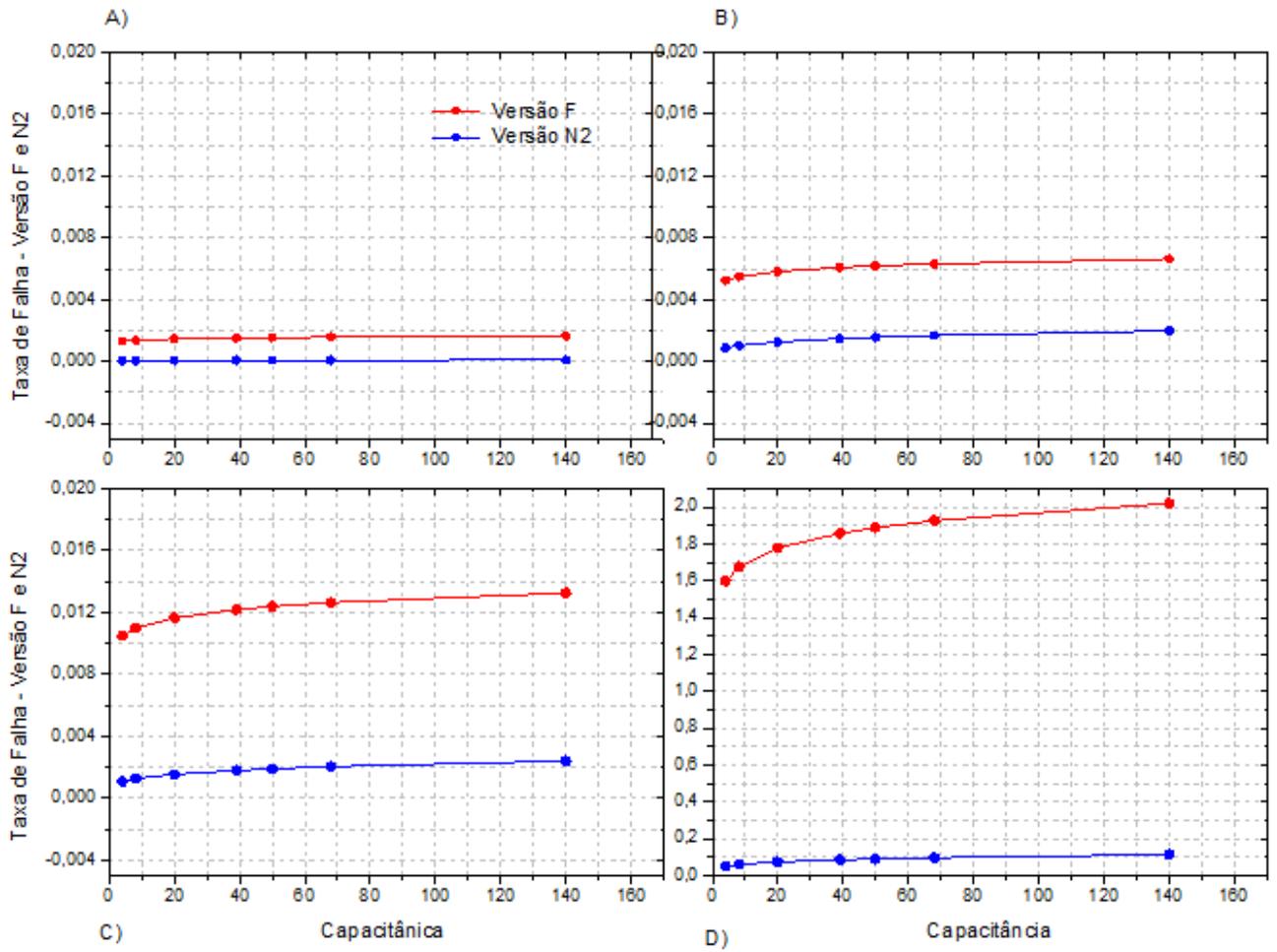


Figura 5.8 - Comparação das taxas de falhas de Capacitores de Tântalo não sólido de 60 VDC, versão F com N2. . A) Ambiente SF, B) Ambiente GF, C) Ambiente AIC e D) Ambiente CL Unidades Capacitâncias em  $\mu\text{F}$  x Taxa de falha em falhas/ $10^6$  horas

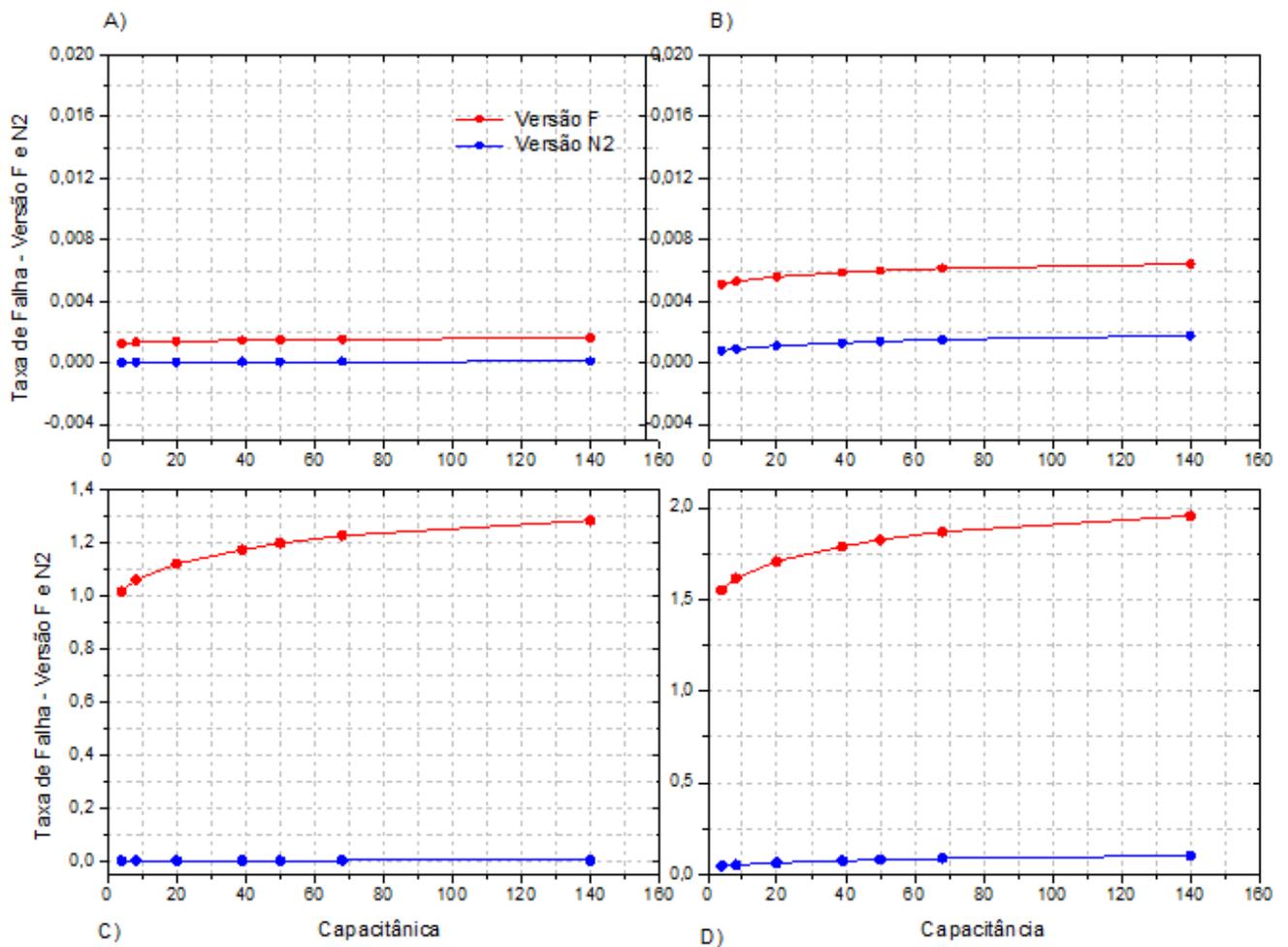


Figura 5.9 - Comparação das taxas de falhas de Capacitores de Tântalo não sólido de 100 VDC, versão F com N2. . A) Ambiente  $S_F$ , B) Ambiente  $G_F$ , C) Ambiente  $A_{IC}$  e D) Ambiente  $C_L$  Unidades Capacitâncias em  $\mu\text{F}$  x Taxa de falha em falhas/ $10^6$  horas

#### 5.2.4 Estudo de caso: Capacitor do tipo “fixed, electrolytic, tantalum, solid”

Para o estudo de capacitores fixos eletrolíticos de tântalo sólido (Figura 5.10) foi utilizado para os cálculos dados de um capacitor nas seguintes condições:

Especificação: MIL-C-39003

Características: Hermeticamente selado; metal encaixotado; Axial chumbo e Tubular.

Varição da Temperatura de operação:  $-55^{\circ}\text{C}$  a  $125^{\circ}\text{C}$

Varição capacitância: 0,0047 a 330  $\mu\text{F}$

Nível de Qualidade adotada: D

Informações específicas podem ser encontradas em *Datasheet*, CDE, (2013).

**Primeiro Caso:** Ambiente adotado  $S_F$ .

**Segundo Caso:** Ambiente adotado  $A_{IC}$ .

**Terceiro Caso:** Ambiente adotado  $G_F$ .

**Quarto Caso:** Ambiente adotado  $C_L$ .

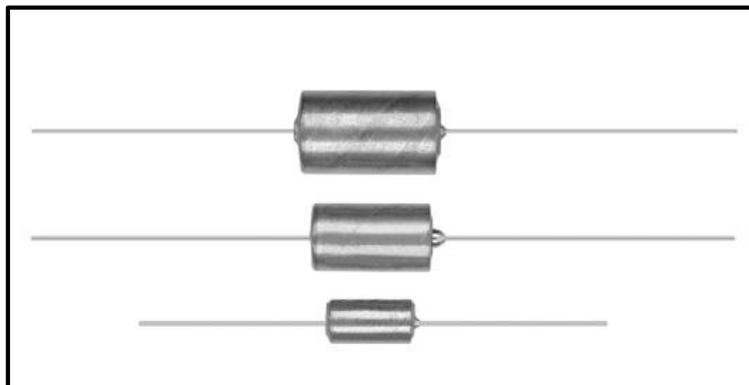


Figura 5.10 - Capacitor de tântalo sólido.  
Fonte: CDE (2013)

#### 5.2.4.1 Valores de Capacitância e Condições de Tensões Adotadas

**Condição A)** Tensão: 50 VDC

**Capacitância consideradas:** 0.01, 0.022, 0,068, 0.15, 0.22, 0.68, 1, 1.5, 1.8, 2.7, 3.9, 4.7, 6.8, 8.2 e 10  $\mu\text{F}$ .

**Condição B) Tensão:** 75 VDC

Capacitância consideradas: 0.10, 0.15, 0.22, 0.33, 0.47, 0.56, 1.0, 1.5, 2.2, 3.3, 4.7, 6.8, 10, 12 e 15  $\mu\text{F}$ .

**Condição C) Tensão:** 100 VDC

Capacitâncias consideradas: 0.0056, 0.0082, 0.012, 0.015, 0.022, 0.27, 0.39, 0.56, 1, 1.2, 1.5, 2.2, 3.3, 4.7 e 6.8  $\mu\text{F}$ .

#### 5.2.4.2 Resultados da Comparação para Capacitor de Tântalo Sólido

A taxa básica de falhas em N2 é tabelada de acordo com a especificação e estilo do capacitor, em F esse valor é calculado através de uma equação que considera a temperatura de operação e a relação entre a tensão de operação pela tensão classificada.

$$\lambda_b = 0,00375 \left[ \left( \frac{S}{0,4} \right)^3 + 1 \right] \exp \left( 2,6 \left( \frac{T + 273}{398} \right)^9 \right) \quad (5.1)$$

Onde:

T = Temperatura do ambiente ( $^{\circ}\text{C}$ )

S = Relação entre a tensão de operação e a tensão nominal

Assim como nos demais capacitores analisados, os de tântalo sólido também possuem a taxa de falhas proporcional ao valor de capacitância, que é considerada para compor o fator capacitância ( $\pi_{\text{CV}}$  em F e  $\pi_{\text{C}}$  em N2).



Apesar de CR ser definido no manual, expressou-se uma dificuldade em interpretar o que seria a “a resistência efetiva entre o capacitor e a fonte de energia”. Houve dúvidas se essa resistência é em relação a parte física (hardware) do componente, que seria a resistência expressa entre o capacitor e a placa do circuito. Uma relação que não se aplica a esse estudo de caso, pois aqui a análise é em relação ao componente sem uma integração ao circuito. Ou se isso está relacionado a quantidade de “resistência” do capacitor, conhecida como reatância capacitativa, e a mesma varia conforme varia a frequência do sinal AC. Reatância é uma oposição natural de indutores ou capacitores a variação de corrente elétrica e tensão elétrica respectivamente de circuitos em corrente alternada. É dada em Ohms que constitui juntamente com a resistência elétrica a grandeza impedância.

Diante da dificuldade de interpretação dos parâmetros para compor o fator  $\pi_{SR}$  e pela falta de dados para as duas possibilidades encontradas foi adotado que CR está entre 0,6 a 0,8 ohms/volts. Como o intuito do estudo é visualizar as consequências das mudanças entre as versões, nesse caso independentemente do valor de CR o impacto na taxa de falhas seria o mesmo, já que a mudança de valores de  $\pi_{SR}$  é constante para as escalas de valores de CR. (Ver Figura 5.11)

As Figuras 5.12, 5.13 e 5.14 foram geradas a partir dos resultados dos cálculos obtidos para esse tipo de capacitor que podem ser visualizados e analisados através do tópico A3 Apêndice A e B3 do Apêndice B.

A taxa de falhas calculada para capacitor de tântalo sólido usando a referência MIL HDBK 217 F apresenta valores maiores que em MIL HDBK 217 F N2 para os ambientes  $S_F$  e  $C_L$ , e menores que N2 para os ambientes  $A_{IC}$  e  $G_F$ . Isso ocorre devido as alterações no fator ambiental, que para os ambientes  $A_{IC}$  e  $G_F$  a disparidade entre os valores declarados em F para N2 é muito grande, para os outros dois ambientes o acréscimo não foi tão significativo ao ponto de resultar em grandes discrepâncias. (Ver Figura 5.12, Figura 5.13 e Figura 5.14)

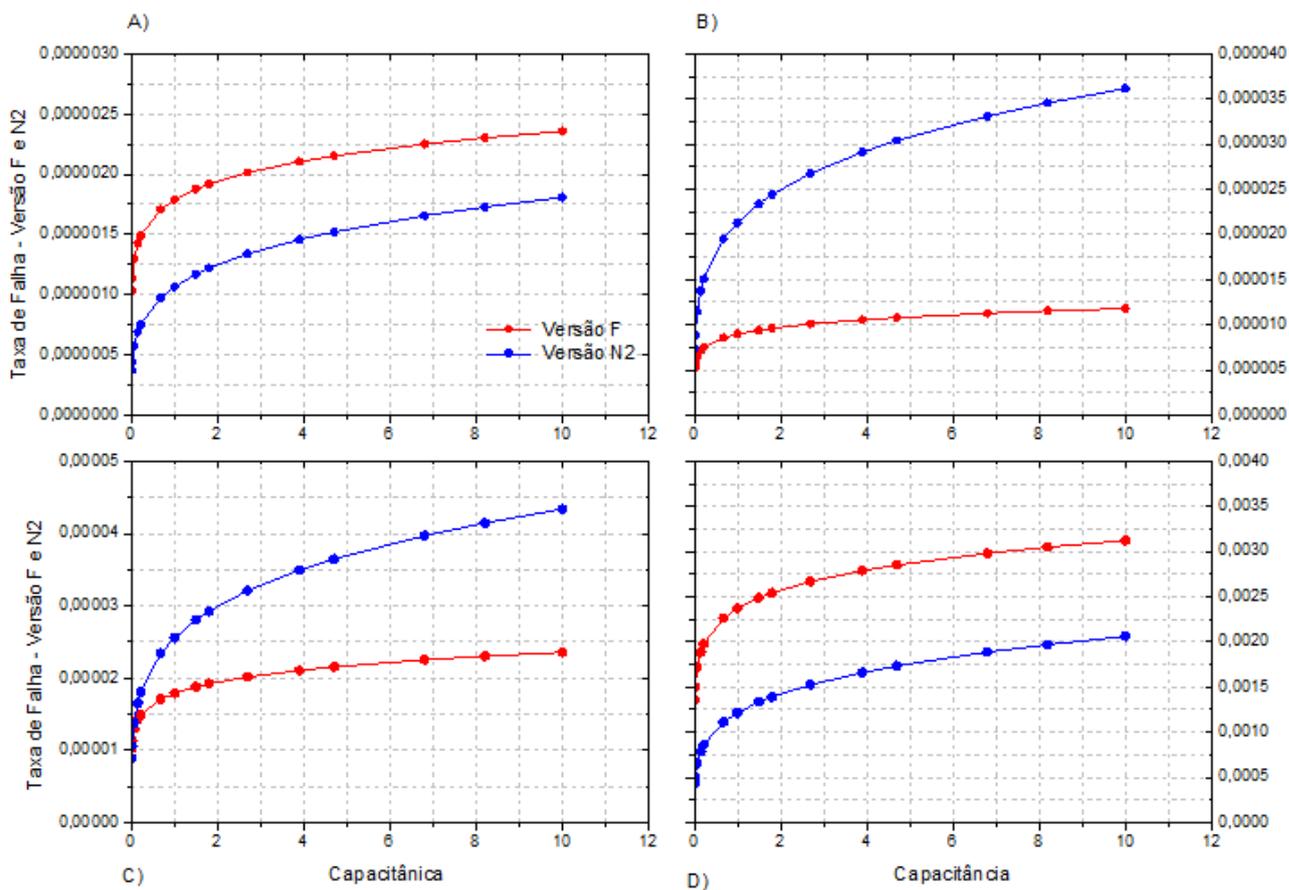


Figura 5.12 - Comparação das taxas de falhas de um Capacitor de Tântalo sólido de 50 VDC, versão F com N2. A) Ambiente S<sub>F</sub>, B) Ambiente G<sub>F</sub>, C) Ambiente A<sub>C</sub> e D) Ambiente C<sub>L</sub> Unidades Capacitâncias em μF x Taxa de falha em falhas/10<sup>6</sup> horas

Ao analisar as taxas de falhas para diferentes tensões (50 VDC, 75 VDC e 100VDC) e para os diferentes ambientes, é perceptível que o padrão da curva taxa de falhas em um ambiente específico se mantém ao mudar a tensão aplicada. Ou seja, a tensão aplicada no capacitor não esboça maiores impactos na taxa de falhas, pelo menos quando é feito o uso de derating. O mesmo padrão ocorreu com capacitores de tântalo não sólido e para o capacitor cerâmico analisado. (Ver Figura 5.12, Figura 5.13 e Figura 5.14)

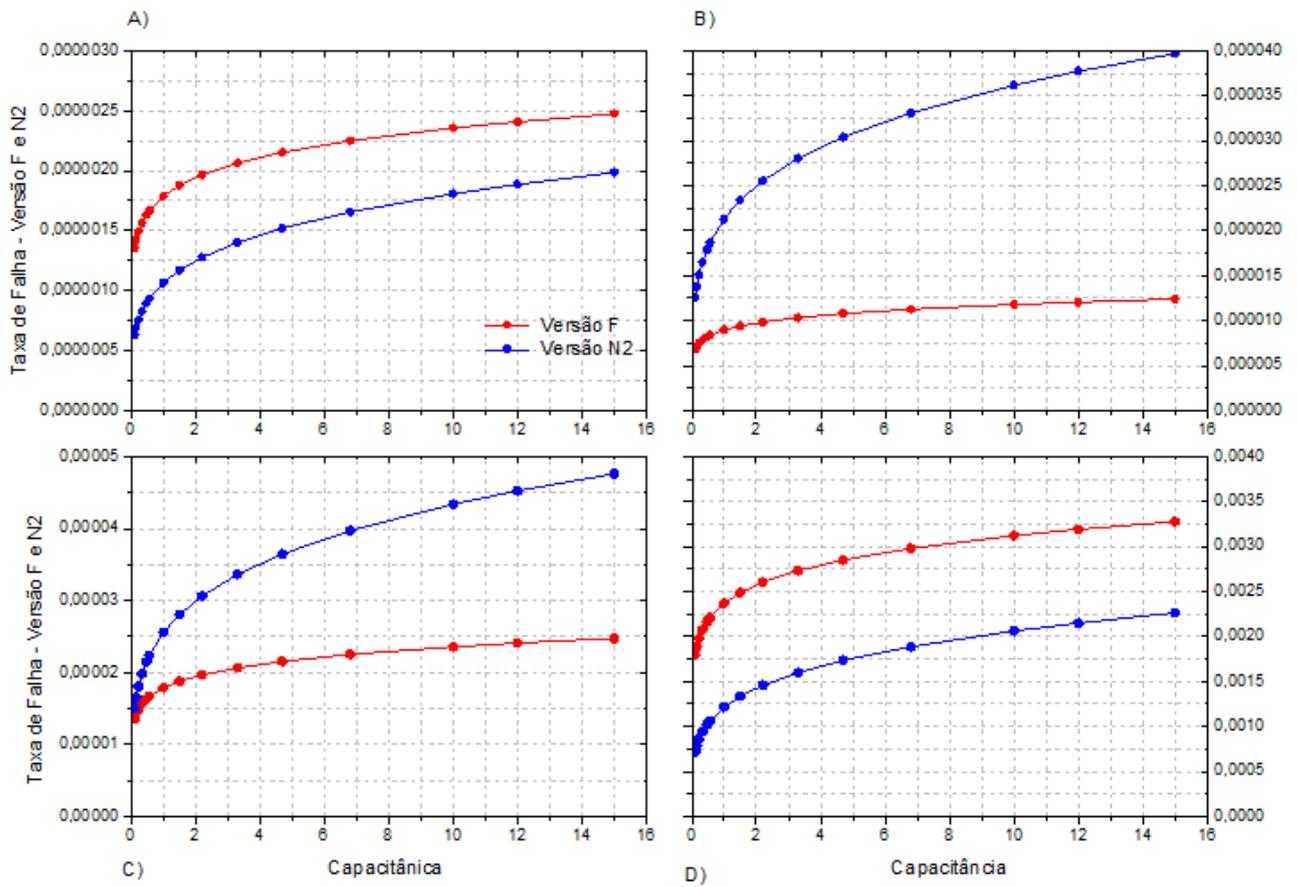


Figura 5.13 - Comparação das taxas de falhas de um Capacitor de Tântalo sólido de 75 VDC, versão F com N2. A) Ambiente SF, B) Ambiente GF, C) Ambiente AIC e D) Ambiente CL Unidades Capacitâncias em  $\mu\text{F}$  x Taxa de falha em falhas/ $10^6$  horas

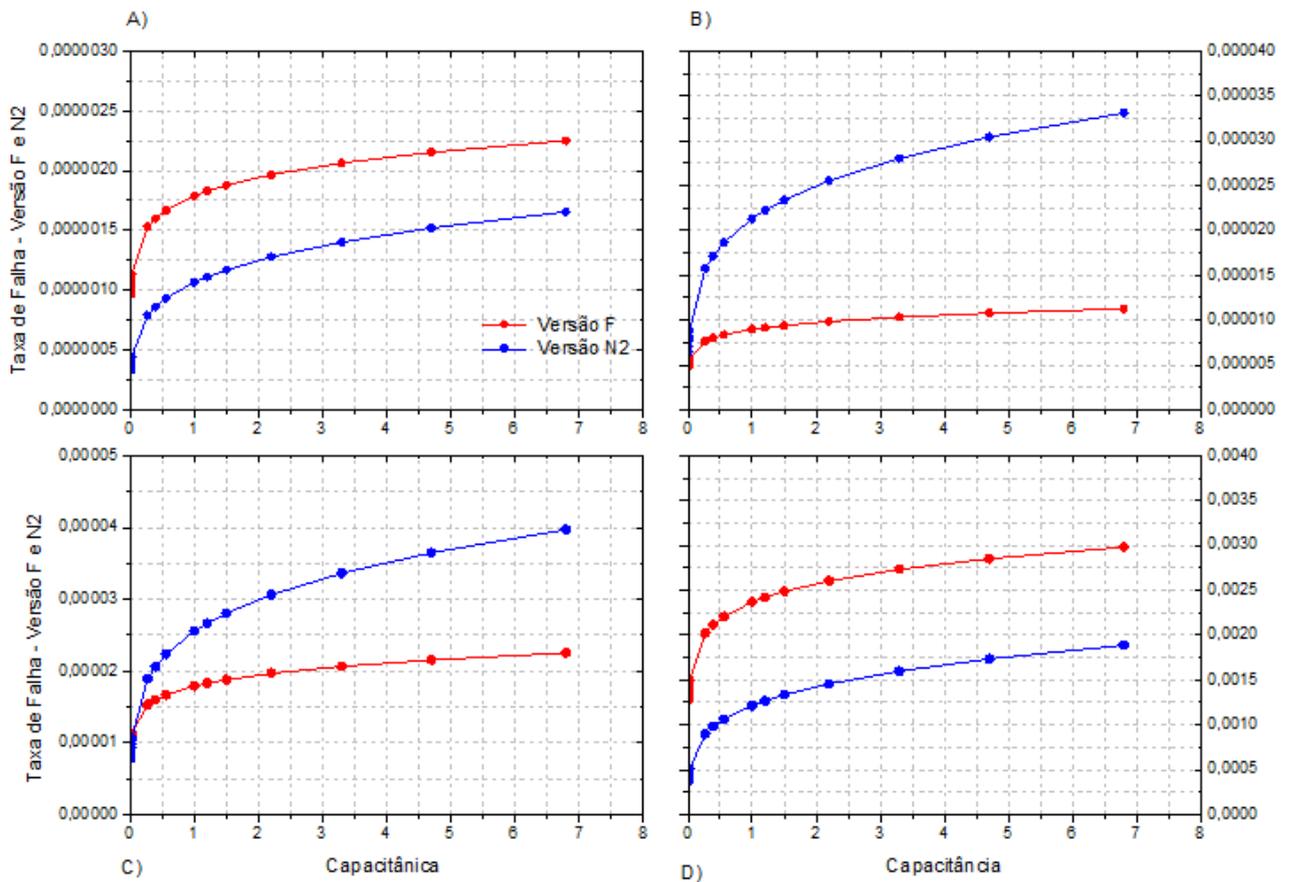


Figura 5.14 - Comparação das taxas de falhas de um Capacitor de Tântalo sólido de 100 VDC, versão F com N2. A) Ambiente  $S_F$ , B) Ambiente  $G_F$ , C) Ambiente  $A_{IC}$  e D) Ambiente  $C_L$  Unidades Capacitâncias em  $\mu\text{F}$  x Taxa de falha em falhas/ $10^6$  horas

### 5.2.5 Estudo de Caso: Capacitor do Tipo “Fixed, Glass”

Para o estudo de capacitores fixos de vidro foi utilizado para os cálculos dados de um capacitor nas seguintes condições:

Especificação: MIL-C-11272

Varição da temperatura de operação:  $-25^\circ\text{C}$  a  $125^\circ\text{C}$

Tensão: 300 VDC

Capacitância: 3, 10, 20, 30, 43, 51, 62, 82, 91, 100, 150, 200, 240, 300, 360, 470, 560, 620, 820, 1000, 1200, 1300, 1600 e 2000 pF.

Nível de Qualidade adotada: S - Foi feito uma análise adicional para o maior nível de qualidade especificado nas versões, S em F e D em N2.

Informações específicas podem ser encontradas em *Datasheet*, AVX, (2011).

**Primeiro Caso:** Ambiente S<sub>F</sub>.

**Segundo Caso:** Ambiente A<sub>IC</sub>.

**Terceiro Caso:** Ambiente G<sub>F</sub>.

**Quarto Caso:** Ambiente C<sub>L</sub>.

### 5.2.5.1 Resultados da Comparação para Capacitores de Vidro

Na versão F a tensão de operação e a temperatura são utilizadas para compor a taxa básica de falhas ( $\lambda_p$ ) e na versão N2 a tensão de operação é considerada para o fator de estresse de tensão ( $\pi_v$ ) e a temperatura é inserida numa equação para compor o fator temperatura.

No caso de capacitores de vidro, é perceptível que ao aumentar a capacitância considerada, aumenta também o fator capacitância, conforme aconteceu com os outros capacitores, incidindo assim em maiores taxas de falhas, isso ocorre nas três versões do manual e para as quatro categorias de ambiente analisadas.

Para os ambientes S<sub>F</sub>, G<sub>F</sub> e A<sub>IC</sub> com a atualização N2 o capacitor de vidro nas condições analisadas, passou a ter taxas de falhas superiores a versão F. O que chama a atenção, pois para os componentes em geral a versão N2 apresentou taxas inferiores a F. A diferença entre F e N2 no ambiente S<sub>F</sub> tem

média de  $-1,23876E-05$  falhas/ $10^6$  horas, em  $G_F$  a média é de  $-0,001714288$  falhas/ $10^6$  horas e em ambiente  $A_{IC}$  a média da diferença é de  $-0,001580521$  falhas/ $10^6$  horas.

Para o ambiente  $C_L$ , existe um ponto de intersecção entre as versões para uma capacitância aproximada de 800 pF. Antes do equilíbrio a taxa de falhas da versão N2 é predominantemente maior e depois a predominância é da versão F. Mas, de forma geral F é predominantemente maior que N2, com média geral de  $-0,0068$  falhas/ $10^6$  horas. Ver Figura 5.15.

Estendendo a análise para o maior nível de qualidade especificado nas versões, a versão N2 terá taxa de falhas menores, pois esta possui nível de maior qualidade que não consta na versão F. Isso evidencia que o fator qualidade e o ambiental são dominantes para o cálculo da taxa de falhas desse capacitor. O fator capacitância possui valores maiores pela versão F, mas as alterações ocorridas no fator ambiental e qualidade superam e dominam os resultados.

As Figuras 5.15 e 5.16 foram geradas a partir dos resultados dos cálculos obtidos para esse tipo de capacitor que podem ser visualizados e analisados através do tópico A4 Apêndice A e B4 do Apêndice B.

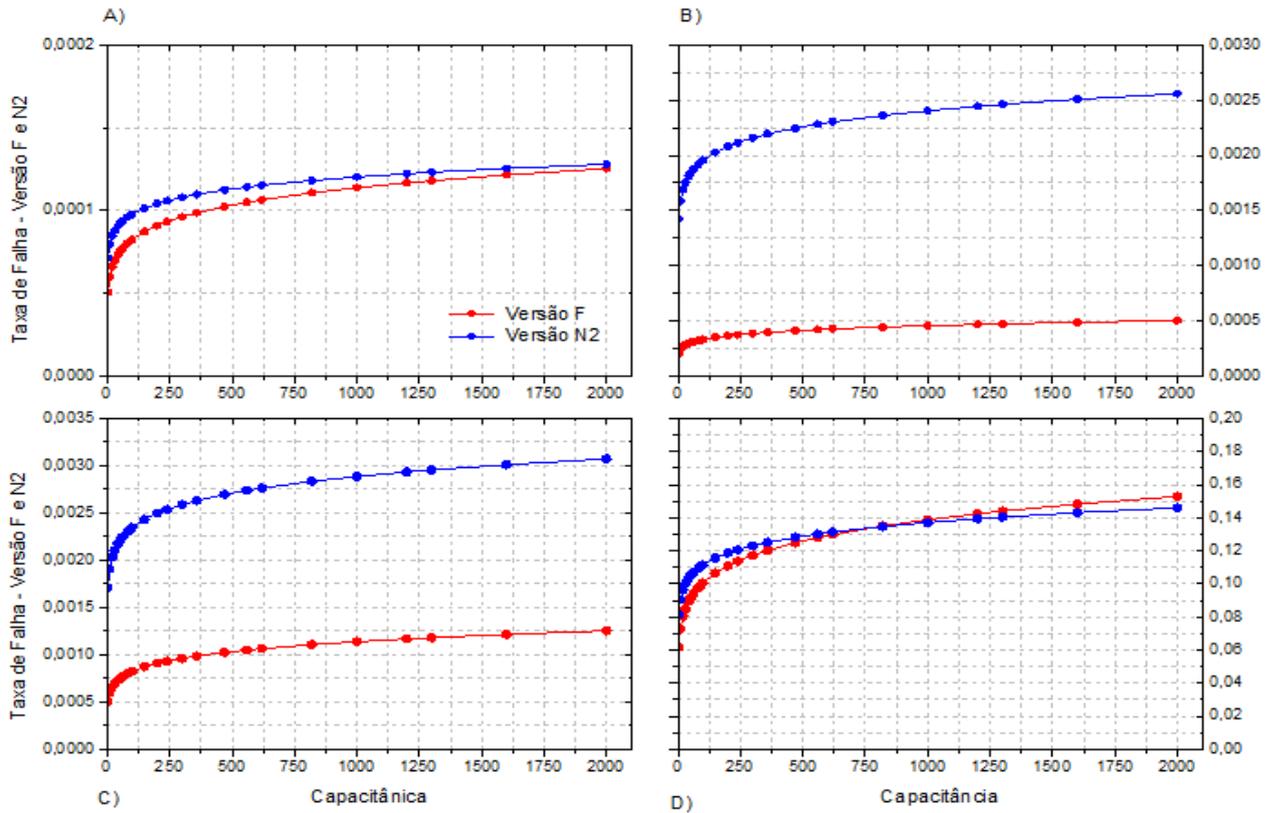


Figura 5.15 - Comparação das taxas de falhas de Capacitores de Vidro de 300 VDC, qualidade S, versão F com N2. A) Ambiente SF, B) Ambiente GF, C) Ambiente AIC e D) Ambiente CL. Unidades Capacitâncias em pF x Taxa de falha em falhas/10<sup>6</sup> horas

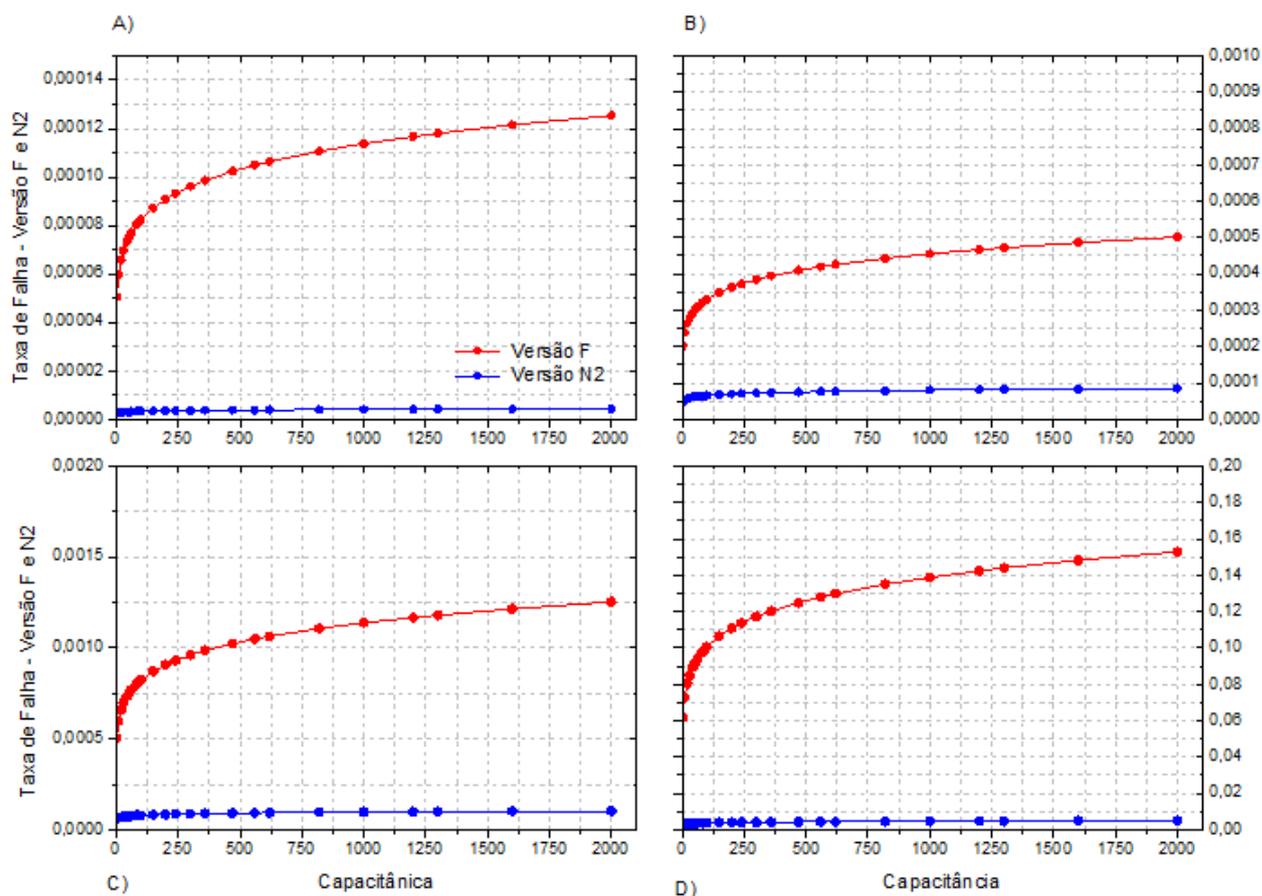


Figura 5.16 - Comparação das taxas de falhas de Capacitores de Vidro de 300 VDC, qualidade S na versão F e D em N2. A) Ambiente SF, B) Ambiente GF, C) Ambiente AIC e D) Ambiente CL. Unidades Capacitâncias em pF x Taxa de falha em falhas/10<sup>6</sup> horas

### 5.3. Estudos de Casos com Resistores

#### 5.3.1 Hipóteses Adotadas para os Cálculos e Comparações

Para o cálculo numérico da taxa de falhas de resistores foi utilizado como referência MIL HDBK 217 F e F (Notice 2), já que a F (Notice 1) mantém as mesmas considerações da versão F.

Para resistores de filme a margem de derating adotada para a tensão (voltage) nos cálculos de taxa de falhas foi de 80%. Para a potência em resistores do tipo “metal filme precision resistor” foi de 50 % para temperatura até 125°C e vai reduzindo chegando a 0% em 150°C. Para resistores de filme network foi utilizado um derating de 50 % na potência, isso para resistores com temperatura até 85°C e vai reduzindo chegando a 0% em 125°C, segundo orientações de ECSS-Q-ST-30-11C (2008).

### **5.3.2 Estudo de Caso: Resistor do Tipo “Resistors, Fixed, Film (High Stability)”**

Para o estudo de capacitores fixos eletrolíticos de tântalo não sólido (Figura 5.17) foi utilizado para os cálculos as seguintes condições:

Especificação: MIL-R- 10509

Características: Resistor, fixo, Filme, Militar Qualificado, Axial-chumbo. Possui baixo nível de ruído (-40 dB), coeficiente de baixa tensão (5 ppm / V), coeficiente de temperatura controlada e revestimento retardador de chama epóxi.

Estilo: RN

Nível de Qualidade adotada: S

Variação da Temperatura de operação: -65° a 175° C

Nas especificações técnicas do fabricante é feito um alerta para o uso de derating na temperatura, com isso foi considerado que temperatura máxima de operação é igual a temperatura do case chegando ao máximo de 125°C.

**1° caso:** Ambiente S<sub>F</sub>

**2° caso:** Ambiente A<sub>IC</sub>

**3° caso:** Ambiente G<sub>F</sub>

**4° caso:** Ambiente C<sub>L</sub>

Informações específicas podem ser encontradas em *Datasheet*, Vishay (2012).



Figura 5.17 - Resistor fixo de filme  
Fonte: Vishay (2012)

De acordo com os dados do fabricante é possível ter estilos de resistores com diferentes variações de resistências, e potências máximas de dissipação. Para a análise foi considerado três estilos que são detalhados Tabela 5.4.

Tabela 5.4 – Apresenta os três diferentes estilos de resistores de filme especificados por MIL R 10509 que foram analisados nessa seção.

<b>Modelo</b>	<b>Estilo</b>	<b>Potência Máxima 125° C</b>	<b>Tensão VDC</b>	<b>Variação Resistência ± 100 ppm/°C (D)</b>	<b>Variação Resistência ± 50 ppm/°C (C)</b>
CMF 50	1 - RN50	0,05	200	-	10 – 100K
CMF 65	2 - RN65	0,25	350	-	49,9K – 1M
CMF 70	3 - RN70	0,5	500	10K – 2,49M	-

### 5.3.2.1 Resultados da Comparação para Resistor Fixos De Metal Filme

Na versão F a taxa básica de falhas do resistor é em função da temperatura de operação e do estresse de potência, com o aumento da temperatura ou do estresse essa taxa tende a aumentar.

Nessa versão se utiliza para correção da taxa de falhas o fator ambiental, fator qualidade e o fator resistência. A variação da resistência para os três estilos analisados é mais abrangente que a variação descrita na versão F (Compare o intervalo da Tabela 5.4 e Figura 5.18). Foi reduzido o intervalo de resistência dos resistores de estilo RN60 e RN70 a fim de coincidir com intervalos considerados em F, como mostra na Figura 5.18.

Resistance Range (ohms)	$\pi_R$
< .1M	1.0 → RN50
≥ 0.1 M to 1 M	1.1 → RN65
> 1.0 M to 10 M	1.6 → RN70
> 10 M	2.5

Figura 5.18 - Ilustração dos intervalos de resistência considerados na versão F para compor o fator resistência ( $\pi_R$ ).

Na versão N2 o estresse de potência e a temperatura não são considerados para formar a taxa básica de falhas como na versão F. A taxa básica de falhas é tabelada de acordo com o estilo e especificação do resistor e existe um fator de correção específico para as condições de temperatura (fator temperatura -  $\pi_T$ ), potência dissipada (fator potência -  $\pi_P$ ), estresse de potência (fator estresse de potência -  $\pi_S$ ), assim como para a qualidade (fator qualidade -  $\pi_Q$ ) e ambiente de operação (fator ambiental -  $\pi_E$ ).

Para os estilos analisados a versão F tem taxa de falhas sempre menor que a versão N2.

A taxa de falhas aumenta com a severidade do ambiente, assim como em outros componentes avaliados. (Figura 5.19)

A Figura 5.19 foi gerada a partir dos resultados dos cálculos obtidos para os estilos de resistores detalhados na tabela tipo de capacitor que podem ser visualizados e analisados através do tópico A5 Apêndice A e B5 do Apêndice B.

Ao considerar a temperatura num intervalo que se utiliza o mesmo derating, é possível observar que a variação para cada 1° da temperatura o impacto é maior para a versão N2, como já mencionado em F o aumento da temperatura

se reflete em  $\lambda_b$  e em N2 em  $\pi_T$ . O fator  $\pi_T$  aumenta mais de 350 vezes mais que o  $\lambda_b$ . O que acarreta em taxas de falhas pela versão N2 maiores que a taxa calculada por F. (Figura 5.19)

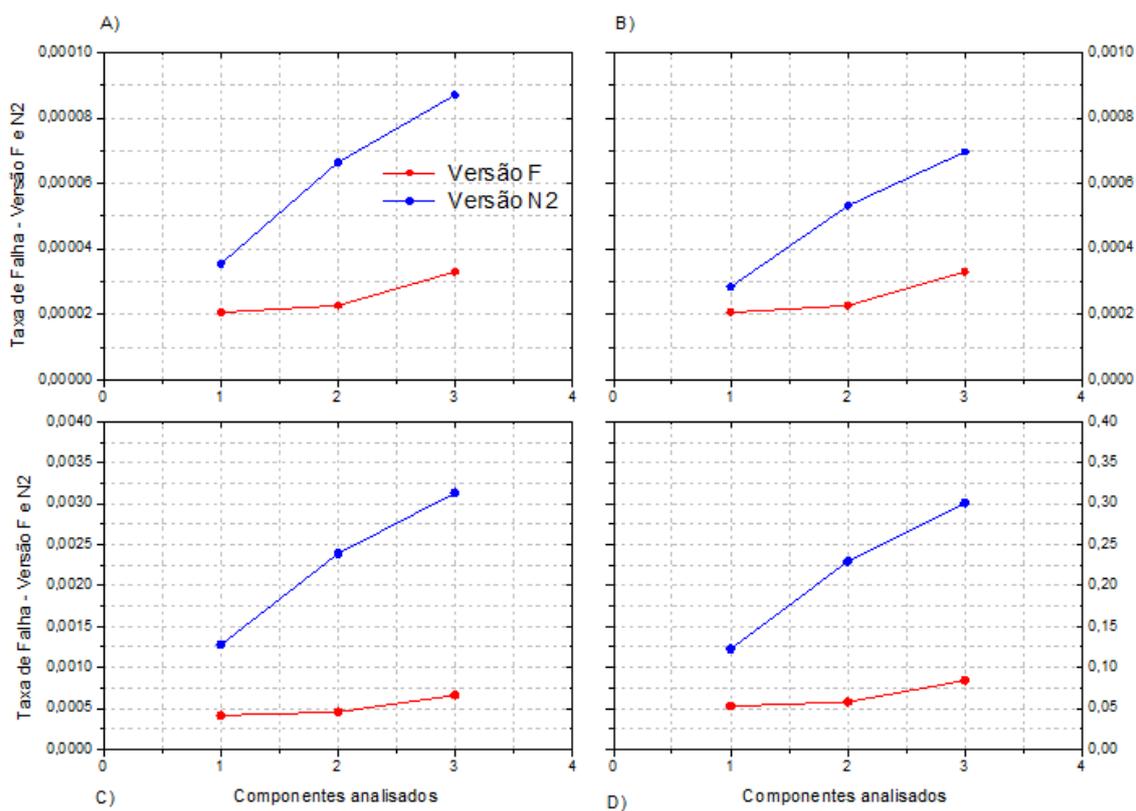


Figura 5.19 - Comparação das taxas de falhas de resistores fixos de metal filme, versão F com N2. A) Ambiente SF, B) Ambiente GF, C) Ambiente AIC e D) Ambiente CL Unidades resistor estilos 1 (RN50), 2 (RN65) e 3 (RN70) x Taxa de falha em falhas/10<sup>6</sup> horas

### 5.3.3 Estudo de Caso: Rede de Resistores Tipo Filme Fixo “*Resistors, Network, Fixed, Film*”

Para o estudo de rede de resistores tipo filme fixo (Figura 5.20) foi utilizado para os cálculos as seguintes informações:

Especificação: MIL-R- 83401

Características: Todas as ligações dos dispositivos são mergulhadas em solda quente. Elementos resistivos de filme espesso. Compatível com equipamentos de inserção automática de solda quente. Disponível em embalagem de tubo.

Estilo: RZ

Nível de Qualidade adotada: MIL SPEC em F e S em N2.

Máxima tensão de operação: 50VDC

Variação da Temperatura de operação: - 55°C a 125°C

A temperatura do case utilizada para esse tipo de resistor foi de 70°C, seguindo informações e orientações do fabricante.

Informações específicas podem ser encontradas em *Datasheet*, Vishay (2013).

**1° caso:** Ambiente S<sub>F</sub>

**2° caso:** Ambiente A<sub>IC</sub>

**3° caso:** Ambiente G<sub>F</sub>

**4° caso:** Ambiente C<sub>L</sub>

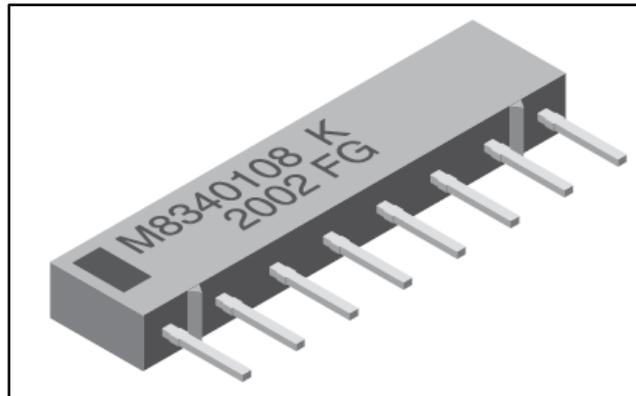


Figura 5.20 - Resistor Network de filme.  
Fonte: Vishay (2013)

O fabricante apresenta dois perfis de resistores network de filme: Perfil A e Perfil C, ambos com dimensões em milímetro, conforme Figura 5.21. Para o cálculo da taxa de falhas foi utilizado resistores nos dois perfis.

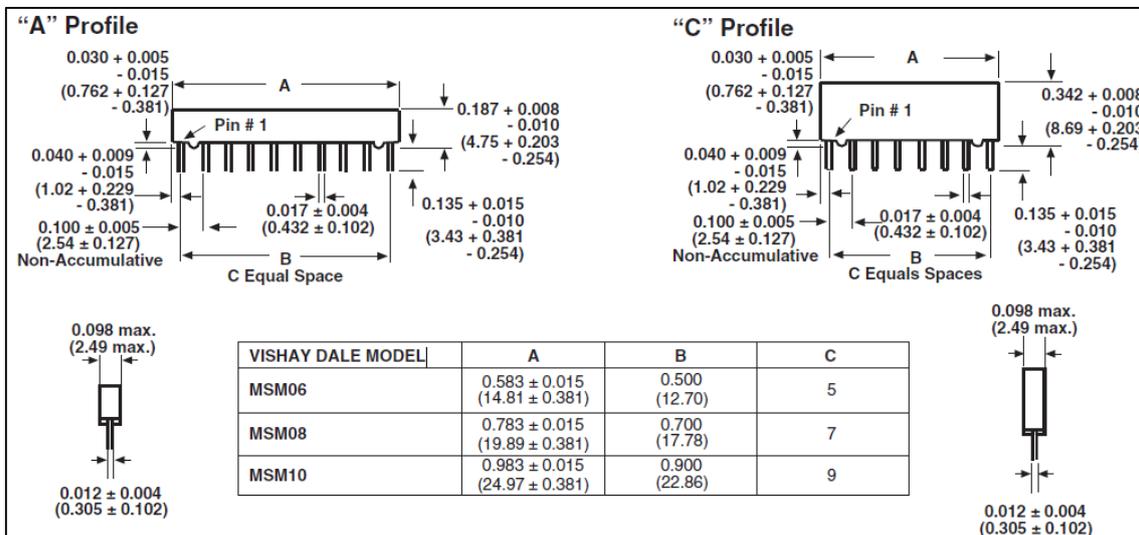


Figura 5.21 - Os dois perfis de resistores que o fabricante apresenta valores: A esquerda - Perfil A; A direita - Perfil C  
Fonte: Vishay (2013)

### 5.3.3.1 Resultados da comparação para Rede de Resistores Tipo Filme Fixo

Para esse tipo de resistor a versão F mantém o  $\lambda_b$  fixo em 0,00006 e considera para a correção da taxa: o fator temperatura ( $\pi_T$ ), o fator qualidade ( $\pi_Q$ ), o fator ambiental ( $\pi_E$ ) e o fator número de resistores em uso ( $\pi_{NR}$ ). O  $\pi_T$  é em função da temperatura do case (temperatura do encapsulamento), mas caso essa temperatura não for conhecida, o manual apresenta uma função para encontrá-la, que depende da temperatura ambiente e do estresse de potência. O fator  $\pi_Q$  depende da qualidade adotada e em F só existe a opção de qualidade MIL SPEC, o que consideramos para os cálculos, ou Baixa qualidade. O fator  $\pi_E$  é tabelado de acordo com o ambiente e o fator  $\pi_{NR}$  considera o número de resistores de filme em uso, não avalia o tipo de ligação entre eles, apenas a quantidade.

A versão N2 possui  $\lambda_b$  tabelado em 0,0019 e considera para a correção o fator temperatura ( $\pi_T$ ), fator potência ( $\pi_P$ ), fator ambiental ( $\pi_E$ ) e fator qualidade ( $\pi_Q$ ). O fator  $\pi_T$  é em função da temperatura do case, caso essa temperatura não seja conhecida a versão não apresenta alternativas, apenas diz que a temperatura do case pode ser aproximada para a temperatura do ambiente quando a potência de dissipação for baixa. O fator  $\pi_P$  é em função da potência dissipada, o fator  $\pi_E$  é tabelado conforme a severidade de ambiente, o fator  $\pi_Q$  é de acordo com a qualidade do componente, foi avaliado utilizando a melhor qualidade (S).

Ao analisar as taxas de falhas utilizando a MIL HDBK 217, muito da análise fica a critério da interpretação do analista. Ao analisar o resistor network pela versão N2 é perceptível que ele não utiliza a quantidade de resistores em uso, mas utiliza a potência dissipada para corrigir em  $\pi_P$ . Ao alimentar a função que compõe o fator  $\pi_P$ , foi utilizado a potência dissipada do pacote, ou seja, se a potência dissipada de um resistor de filme é de 0,20 W e utilizamos 3 resistores iguais, então a potência do pacote é de 0,6 W. Essa é uma maneira de utilizar

o número de resistores em uso implicitamente. Dessa forma é possível afirmar que tanto F quanto N2 utilizam o número de resistores que estão em uso.

O fabricante Vishay mostra três esquemáticos de ligações para resistores, conforme Figura 5.22. Para os cálculos foi escolhido o esquema 3, porém a versão F considera apenas a quantidade de resistores em uso e a versão N2 a potência dissipada que acarreta a quantidade de resistores. Mas, nenhuma das versões considera o tipo de ligação entre esses resistores.

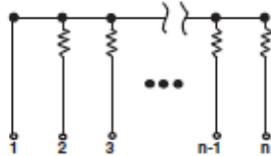
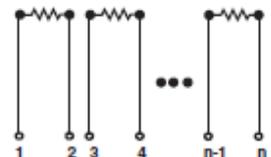
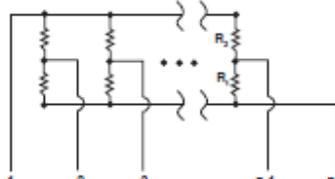
CIRCUIT APPLICATIONS	
<p><b>01 Schematic</b></p> 	<p>5, 7 or 9 resistors with one pin common</p> <p>"A" Profile  MSM06A01 (M8340107xxxxxC)  MSM08A01 (M8340108xxxxxC)  MSM10A01 (M8340109xxxxxC)</p> <p>"C" Profile  MSM06C01 (M8340104xxxxxC)  MSM08C01 (M8340105xxxxxC)  MSM10C01 (M8340106xxxxxC)</p> <p>The MSM06A01, MSM08A01, MSM10A01, MSM06C01, MSM08C01, and MSM10C01 molded single-in-line resistor networks provide the user with a choice of 5, 7, or 9 nominally equal resistors, each connected to a common pin (Pin No. 1).</p> <p>Commonly used in the following applications:</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• "Wired OR" pull-up</li> <li>• Power Gate pull-up</li> <li>• MOS/ROM pull-up/pull-down</li> <li>• Open collector pull-up</li> <li>• TTL input pull-down</li> <li>• TTL unused gate pull-up</li> </ul>
<p><b>03 Schematic</b></p> 	<p>3, 4 or 5 isolated resistors</p> <p>"A" Profile  MSM06A03 (M8340107xxxxxG)  MSM08A03 (M8340108xxxxxG)  MSM10A03 (M8340109xxxxxG)</p> <p>"C" Profile  MSM06C03 (M8340104xxxxxG)  MSM08C03 (M8340105xxxxxG)  MSM10C03 (M8340106xxxxxG)</p> <p>The MSM06A03, MSM08A03, MSM10A03, MSM06C03, MSM08C03, and MSM10C03 molded single-in-line resistor networks provide the user with a choice of 3, 4, or 5 nominally equal resistors. Each resistor is isolated from all others.</p> <p>Commonly used in the following applications:</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• "Wired OR" pull-up</li> <li>• Power driven pull-up</li> <li>• Power gate pull-up</li> <li>• Line termination</li> <li>• Long-line impedance balance</li> <li>• LED current limiting</li> <li>• ECL output pull-down</li> <li>• TTL input pull-down</li> </ul>
<p><b>05 Schematic</b></p> 	<p>4, 6 or 8 resistor pairs</p> <p>"A" Profile  MSM06A05 (M8340107xxxxxH)  MSM08A05 (M8340108xxxxxH)  MSM10A05 (M8340109xxxxxH)</p> <p>"C" Profile  MSM06C05 (M8340104xxxxxH)  MSM08C05 (M8340105xxxxxH)  MSM10C05 (M8340106xxxxxH)</p> <p>The MSM06A05, MSM08A05, MSM10A05, MSM06C05, MSM08C05, and MSM10C05 molded single-in-line resistor networks provide the user with a choice of 4, 6, or 8 pair of <math>R_1/R_2</math> resistor values for pulse squaring and TTL dual-line terminating requirements.</p>

Figura 5.22 - Mostra os esquemas de montagem para "resistor networks"  
Fonte: Vishay (2013)

Foi calculada a taxa de falhas para os dois perfis (A e C) apresentados no *datasheet*, o que difere o perfil A do C são as dimensões e as potências. Mas, é notável que a versão F não considera a potência dos resistores, ou seja, as

taxas de falhas do perfil A são idênticas as do Perfil C. Como pode ser visualizado pela Figura 5.23, em vermelho são as taxas de falha calculadas pela versão F e em preto pela N2, abordando os quatro ambientes.

As Figuras 5.23, 5.24 e 5.25 foram geradas a partir dos resultados dos cálculos obtidos para esse tipo de resistor que podem ser visualizados e analisados através do tópico A6 Apêndice A e B6 do Apêndice B.

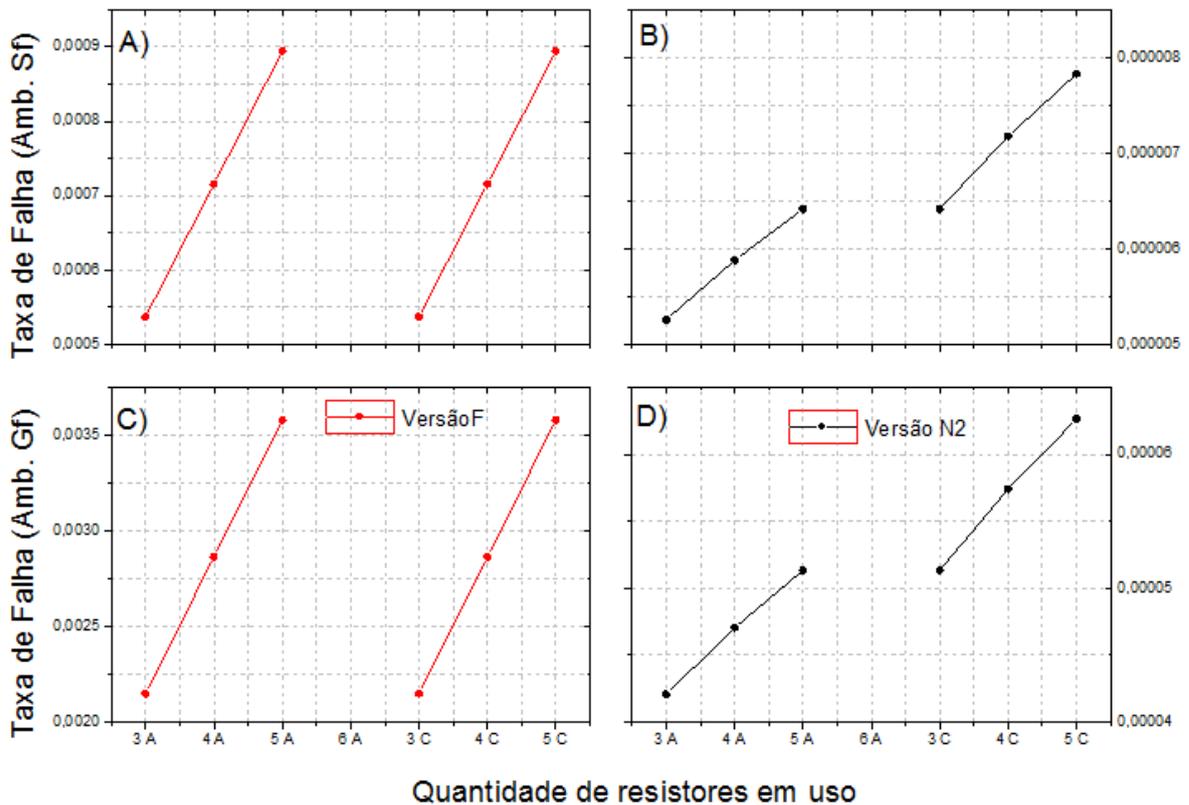


Figura 5.23 - Comparação das taxas de falhas de resistores fixos network de filme, em dois ambientes: A) Versão F, ambiente S<sub>F</sub>, B) Versão N2, ambiente S<sub>F</sub>, C) Versão F, ambiente G<sub>F</sub> e D) Versão N2, ambiente G<sub>F</sub> Unidades rede de resistores dos perfis A e C com 3, 4 e 5 resistores x Taxa de falha em falhas/10<sup>6</sup> horas

A versão F possui valores superiores às taxas calculadas pela N2 em todos os ambientes analisados. O fator qualidade exerce uma grande colaboração para essa discrepância, pois a qualidade utilizada em F é a “MIL SPEC” com valor 1 e em N2 a qualidade utilizada é a “S” com valor 0,03. Não é possível utilizar o mesmo nível de qualidade nas duas versões, mas é possível que tenham valores idênticos, por exemplo, se a qualidade em N2 fosse “M”, o valor de  $\pi_Q$  nas duas versões seriam de uma unidade.

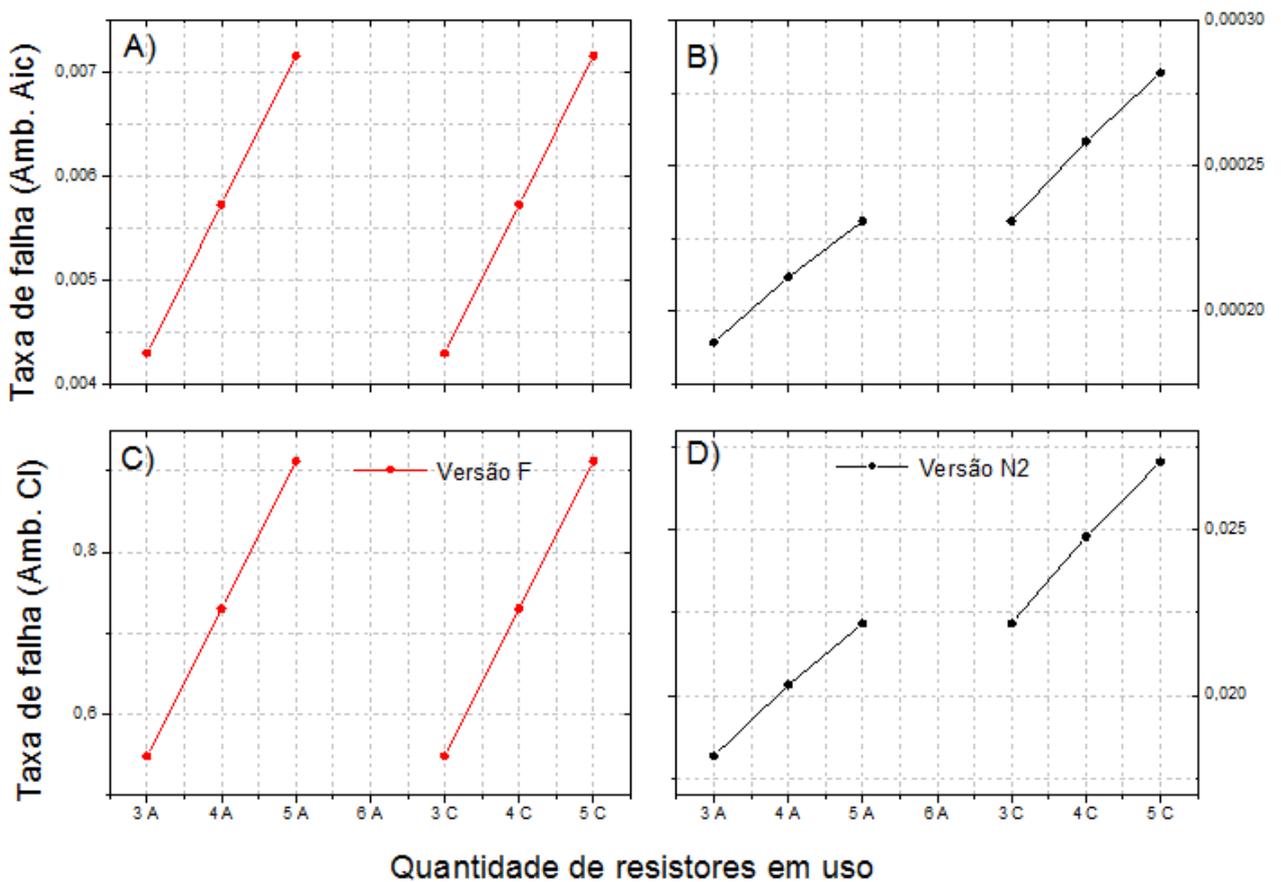


Figura 5.24 - Comparação das taxas de falhas de resistores fixos network de filme em dois ambientes: A) Versão F, ambiente A<sub>ic</sub>, B) Versão N2, ambiente A<sub>ic</sub>, C) Versão F, ambiente C<sub>L</sub> e D) Versão N2, ambiente C<sub>L</sub> Unidades rede de resistores dos perfis A e C com 3, 4 e 5 resistores x Taxa de falha em falhas/10<sup>6</sup> horas

Ao avaliar as taxas de falhas nas condições em que  $\pi_Q$  possui valores equivalentes nota-se que em ambiente  $S_F$  a versão F teria taxas maiores que N2, porém com uma disparidade menor, salientando que nesse ambiente o fator  $\pi_E$  tem valor comum para as versões. A versão N2 tem taxas inferiores que F em ambiente  $A_{IC}$ , mas o fator ambiental de N2 é 4,5 vezes maior que o da versão F. No ambiente  $G_F$  a versão N2 continuaria com valores inferiores a F, mesmo com fator ambiental sendo o dobro do valor de F. Já em ambiente  $C_L$ , é possível visualizar pela Figura 5.25 que o fator qualidade era dominante na discrepância, pois ao considera-lo igual não existe um padrão definido de qual versão possui as maiores ou menores taxas.

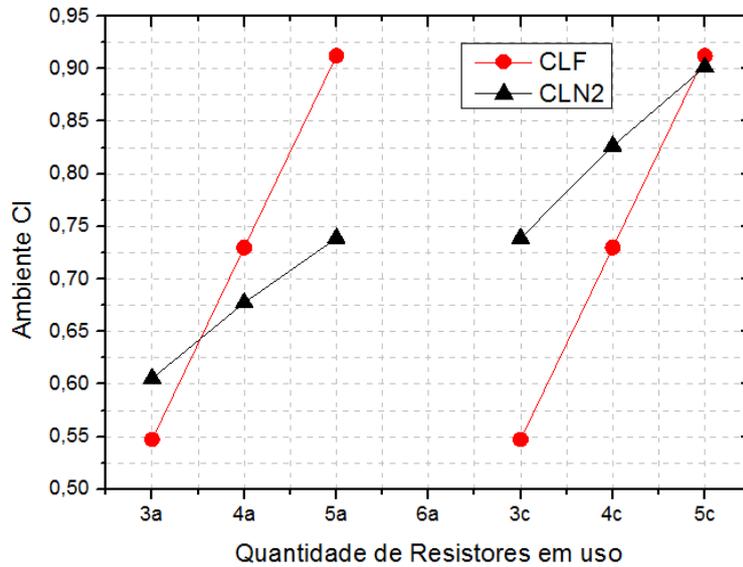


Figura 5.25 - Taxas de falhas de resistor network de filme, para Ambiente CI considerando iguais os valores do fator qualidade. Unidades rede de resistores dos perfis A e C com 3, 4 e 5 resistores x Taxa de falha em falhas/10<sup>6</sup> horas

## 5.4. Estudos de Casos com Conectores

### 5.4.1 Hipóteses Adotadas para os Cálculos e Comparações

Para os cálculos da taxa de falhas foi considerado que a Temperatura de Operação é igual à soma da temperatura ambiente com o aumento de temperatura do componente.

O manual HDBK 217 considera um ciclo para o conector uma conexão seguida de uma desconexão. Em Mating/Unmating Cycles foi considerado duas situações: a primeira o menor número de ciclos (apenas 1), pois foi considerado o uso de “savers” durante os testes de integração. E a segunda, não considerou o uso de savers, adotando assim um número superior a 50 ciclos.

Todos os pinos foram considerados como pinos ativos, ou seja, não são analisadas neste trabalho as formas de redundância em conectores.

Em relação as margens de derating para temperatura, corrente e tensão foi adotado as orientações de ECSS-Q-ST-30-11C (2008), 30° C abaixo da temperatura máxima, 50% da corrente e 50% da tensão especificada em qualquer altitude.

Para o cálculo numérico da taxa de falhas de conectores foi utilizado como referência MIL HDBK 217 F e F (Notice 2), já que a F (Notice 1) mantém as mesmas considerações da versão F.

### 5.4.2 Estudo de Caso: Conector do Tipo “*Rack and panel*”

Para o estudo de conector do tipo “Rack and Panel” (Figura 5.26) foi utilizado as informações específicas podem ser encontrados no *Datasheet*. Radiall

(2011) com o uso de ECSS-Q-ST-30-11C (2008), algumas das informações gerais são:

Especificação: MIL-C-28748/7/8

Variação da temperatura de operação: -55°C a 200°C

Durabilidade: 500 ciclos

Vibração: 100 g /6ms

Umidade: 56 dias

Força de contato de inserção: 3N

Qualidade: MIL-SPEC

Common Insert Materials: Type B – Diallyl phthalate, melamine, fluorosilicone rubber, polysulfone, epoxy resin.

Pinos de contato: 10, 25, 50, 100, 125, 150, 175 e 200 pinos ativos.

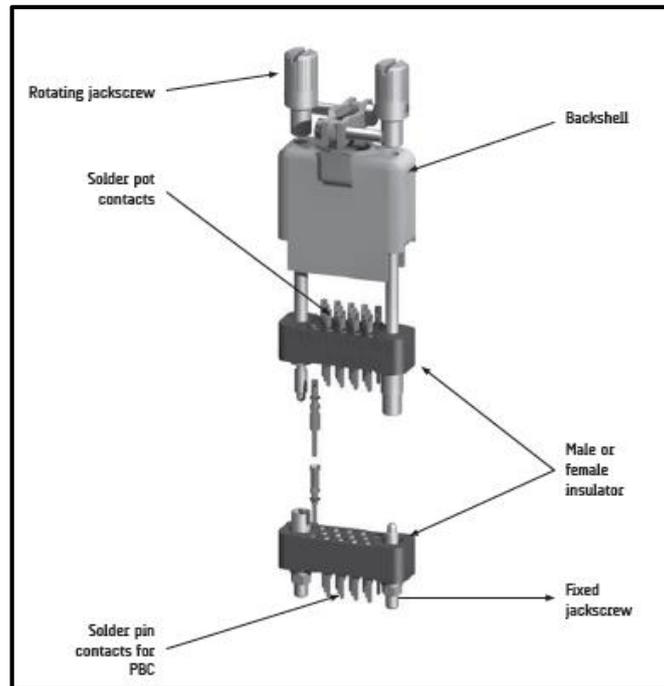


Figura 5.26 - Detalhes das várias partes de um Conector "Rack and Panel"  
 Fonte: Radiall (2011)

**Primeiro Caso:** em ambiente  $S_F$ .

**Segundo Caso:** em ambiente  $A_{IC}$ .

**Terceiro Caso:** em ambiente  $G_F$ .

**Quarto Caso:** em ambiente  $C_L$ .

#### 5.4.3 Estudo de Caso: Conector do Tipo "Circular/cylindrical"

Para o estudo de conector do tipo "Circular" (Figura 5.27) foi utilizado as informações específicas podem ser encontrados em *Datasheet*, Amphenol, (2000) com o uso de ECSS-Q-ST-30-11C (2008), algumas das informações gerais são:

Especificação: MIL-C-26482

Variação da temperatura de operação: -55°C a 125°C

Durabilidade: 500 ciclos

Vibração: 10 a 2.000Hz

Máxima tensão de operação: 850 DCV, 600 ACV

Qualidade: Nível adotado MIL-SPEC

Common Insert Materials: Type A – Vitreous Glass, Alumina Ceramic, Polyimidi.

Pinos de contato: 10, 25, 50, 100, 125, 150, 175 e 200 pinos ativos.

**Primeiro Caso:** em ambiente S<sub>F</sub>.

**Segundo Caso:** em ambiente A<sub>IC</sub>.

**Terceiro Caso:** em ambiente G<sub>F</sub>.

**Quarto Caso:** em ambiente C<sub>L</sub>.



Figura 5.27 - Conectores circulares.  
Fonte: Amphenol (2000)

#### 5.4.3 Estudo de Caso: Conector do Tipo “Power”

Para o estudo de conector do tipo “Power” (Figura 5.28) foi utilizado as informações específicas podem ser encontrados em Datashet, Amphenol, (2013) com o uso de ECSS-Q-ST-30-11C (2008), algumas das informações gerais são:

Especificação: MIL-C-22992

Alta Capacidade, Construção robusta, alta segurança e facilidade de manutenção. Alta Durabilidade –a prova d’água, resistente corrosão, explosão, vibração e choque.

Conector Power do tipo: QWLD Series heavy duty cylindrical

Variação da temperatura de operação: -55°C a 125°C

Qualidade: MIL-SPEC

Durabilidade: 500 ciclos completos

Common Insert Materials:

Type B – Diallyl phthalate, melamine, fluorosilicone rubber, polysulfone, epoxy resin.

Type D – Polyamide (Nylon), Polychloroprene (Neoprene), Polyethylene

Pinos de contato: 10, 25, 50, 100, 125, 150, 175 e 200 pinos ativos.



Figura 5.28 - Conectores power  
Fonte: Amphenol (2013)

#### 5.4.5 Resultados Gerais para Conectores

A versão F e N1 consideram o número de pinos ativos de um conector, ou seja, quanto maior o número de pinos ativos, maior é a taxa de falhas, isso ocorre para todos os tipos de conectores analisados. A versão N2, não faz o uso

dessa informação, ocasionando em uma taxa fixa (nivelamento) para qualquer que seja o número de pinos ativos.

A versão F faz o uso de uma informação diferente da N2, que é a consideração do tipo de material utilizado na fabricação do conector, e institui quatro tipos de grupos, para cada grupo o manual estabelece uma função que depende da temperatura de operação. Essa informação é utilizada para compor a taxa básica de falhas. No entanto, conectores com configurações diferentes, mas do mesmo grupo de material e mesmo valor de temperatura máxima de operação podem ter a mesma taxa básica.

A equação utilizada para o cálculo da taxa de falhas de conectores passa por algumas alterações entre F e N2 que são declaradas na Tabela 5.5. É possível destacar que existem fatores comuns, mas alguns são calculados de maneiras diferentes ou consideram parâmetros distintos. As duas versões utilizam a temperatura de operação para corrigir a taxa de falhas, porém na versão N2 essa informação é utilizada em um fator específico (fator temperatura -  $\pi_T$ ), já na versão F a temperatura é incorporada na taxa básica de falhas ( $\lambda_b$ ), que também depende do tipo de material de inserção. Na versão N2, existe uma tabela classificando o tipo de conectores (retangular, circular, power, coaxial, etc) e as normas de especificações, o valor de  $\lambda_b$  é de acordo com o tipo de conector.

Tabela 5.5 - Descreve os parâmetros e fatores considerados para o cálculo da taxa de falhas e as diferenças e semelhanças entre eles para as versões do manual.

	<b>Versão F</b>	<b>Versão N2</b>
$\lambda_b -$	Valor calculado em função dos materiais comuns de inserção. Cada tipo de material tem uma função específica que depende da temperatura de operação.	Valor tabelado de acordo com a especificação, que é separada pelo tipo de conector.
$\pi_K$	Esse fator depende do número de ciclos conectar/desconectar por mil horas de operação.	
$\pi_E$	Fator ambiental, para várias categorias de ambiente e não sofreu alteração para qualidade "MIL SPEC".	
	Considera "MIL-SPEC" e "Lower Quality".	Considera apenas MIL-SPEC
$\pi_P$	Valor em função do número de contatos ativos.	Não utiliza esse fator.
$\pi_T$	Não utiliza esse fator.	Valor em função da temperatura de operação.
$\pi_Q$	Não utiliza esse fator.	Valor tabelado para duas categorias "MIL-SPEC" e "Lower".

#### **5.4.5.1 Resultados da Comparação para Conector do Tipo “Rack and Panel” com o Uso de “Savers”**

Em N2 não é considerado o número de pinos ativos do conector, ao comparar os resultados das taxas de falhas calculadas a partir das duas versões é perceptível um nivelamento das taxas. A versão N2 produziu um mesmo valor para qualquer que seja o número de pino ativo e em F a taxa de falhas é crescente de acordo com os pinos ativos. O nível ocorre para um número aproximado de 90 pinos ativos, a taxa de falha utilizando a referência MIL HDBK 217 F para 90 pinos em Ambiente SF é de 0,0272 falhas/  $10^6$  horas de operações, utilizando a referência N2 o valor é de 0,029 falhas/  $10^6$  horas. Nos demais ambientes o nível também é de aproximadamente 90 pinos. (Ver Figura 5.29 e Figura 5.30)

As Figuras 5.29 e 5.30 foram geradas a partir dos resultados dos cálculos obtidos para esse tipo de conector que podem ser visualizados e analisados através do tópico A7 Apêndice A e B7 do Apêndice B.

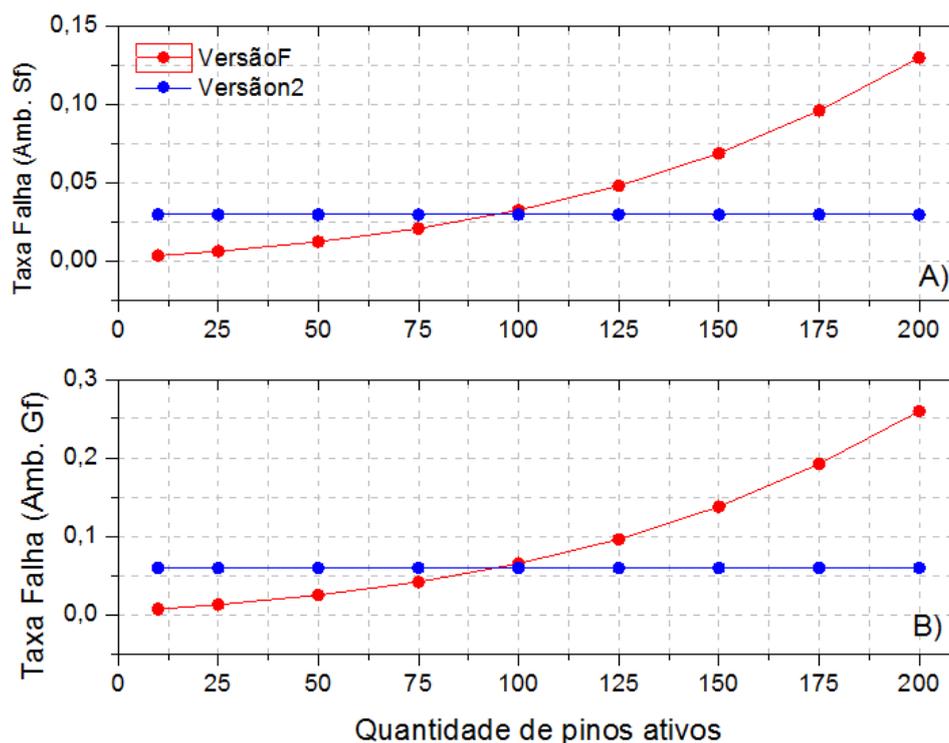


Figura 5.29 - Comparação das taxas de falhas de conectores "Rack and Panel", versão F com N2": A) ambiente  $S_F$  B) Ambiente  $G_F$ . Unidades Número de pinos ativos x Taxa de falha em falhas/ $10^6$  horas

Rabello (2011) fez um estudo semelhante para conectores "Rack and Panel", entre as versões MIL DBK 217 E e MIL HDBK 217 F N2, encontrando também um nivelamento entre as versões. O resultado foi que ao utilizar a versão E as taxas de falhas eram crescentes com o aumento do número de pinos ativos, ao utilizar a referência N2 as taxas de falhas eram constantes. O nível encontrado por Rabello (2011) foi de 70 pinos, ou seja, ao utilizar N2 o valor encontrado da taxa de falhas sempre será equivalente à taxa de E com 70 pinos ativos.

O nível encontrado por Rabello (2011) e este trabalho para o mesmo tipo de conector são diferentes devido a considerações diferentes, como por exemplo, versões diferentes e margem de temperatura.

Importante salientar que esse nível pode variar de acordo com os materiais comuns de inserção, pois este exerce grande influência sobre a taxa básica de falhas do conector na versão F.

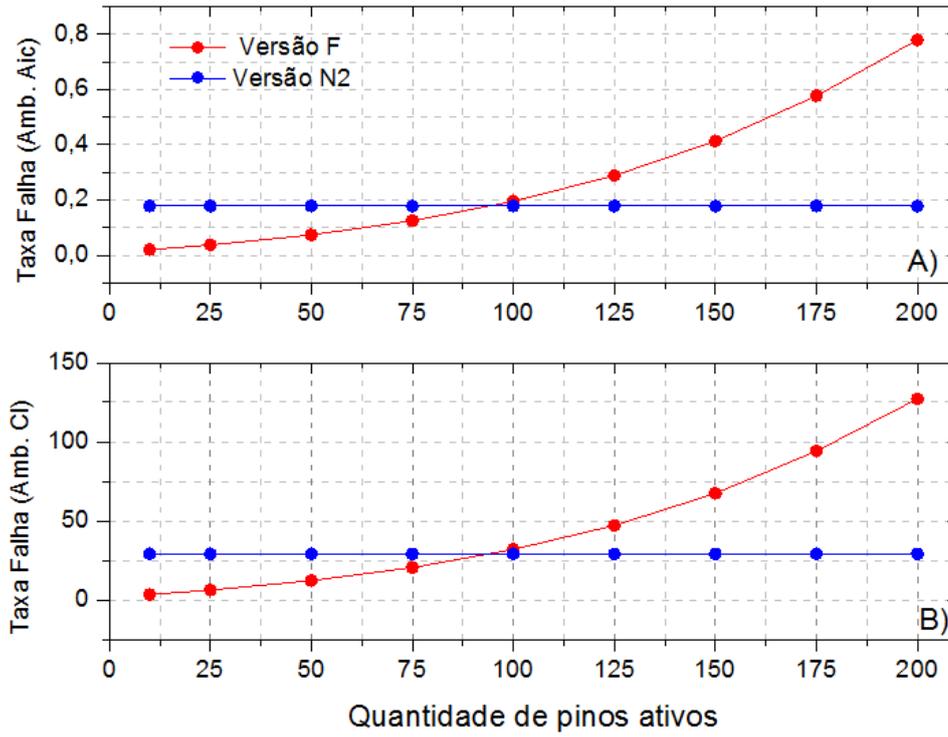


Figura 5.30 - Comparação das taxas de falhas de conectores "Rack and Panel", versão F com N2. A) ambiente A<sub>IC</sub>, B) Ambiente C<sub>L</sub>. Unidades Número de pinos ativos x Taxa de falha em falhas/10<sup>6</sup> horas

#### **5.4.5.2 Resultados da Comparação para Conector do Tipo “Circular” com o Uso de Savers**

Os conectores do tipo “Circular” para os materiais comuns de inserção de tipo A, não possuem nenhum nivelamento. A taxa de falhas calculada pela versão N2 é inferior a calculada pela versão F para todas as categorias de ambiente analisadas e essa discrepância é mais evidente conforme aumenta o número de pinos ativos considerados. (Observar Figura 5.31 e Figura 5.32)

As Figuras 5.31 e 5.32 foram geradas a partir dos resultados dos cálculos obtidos para esse tipo de conector que podem ser visualizados e analisados através do tópico A8 Apêndice A e B8 do Apêndice B.

A Figura 5.31, o valor da taxa de falhas usando a referência N2 é de 0,00141 falhas/  $10^6$  horas em ambiente  $S_F$  e 0,00282 falhas/  $10^6$  horas em ambiente  $G_F$ . A Figura 5.32, o valor da taxa de falhas usando a referência N2 é de 0,00846 falhas/  $10^6$  horas em ambiente  $A_{IC}$  e 1,38225 falhas/  $10^6$  horas em ambiente  $C_L$ . Devido a expansão da escala para inserir os dois perfis de curva (F e N2) na figura pode erroneamente interpretar que a taxa é zero.

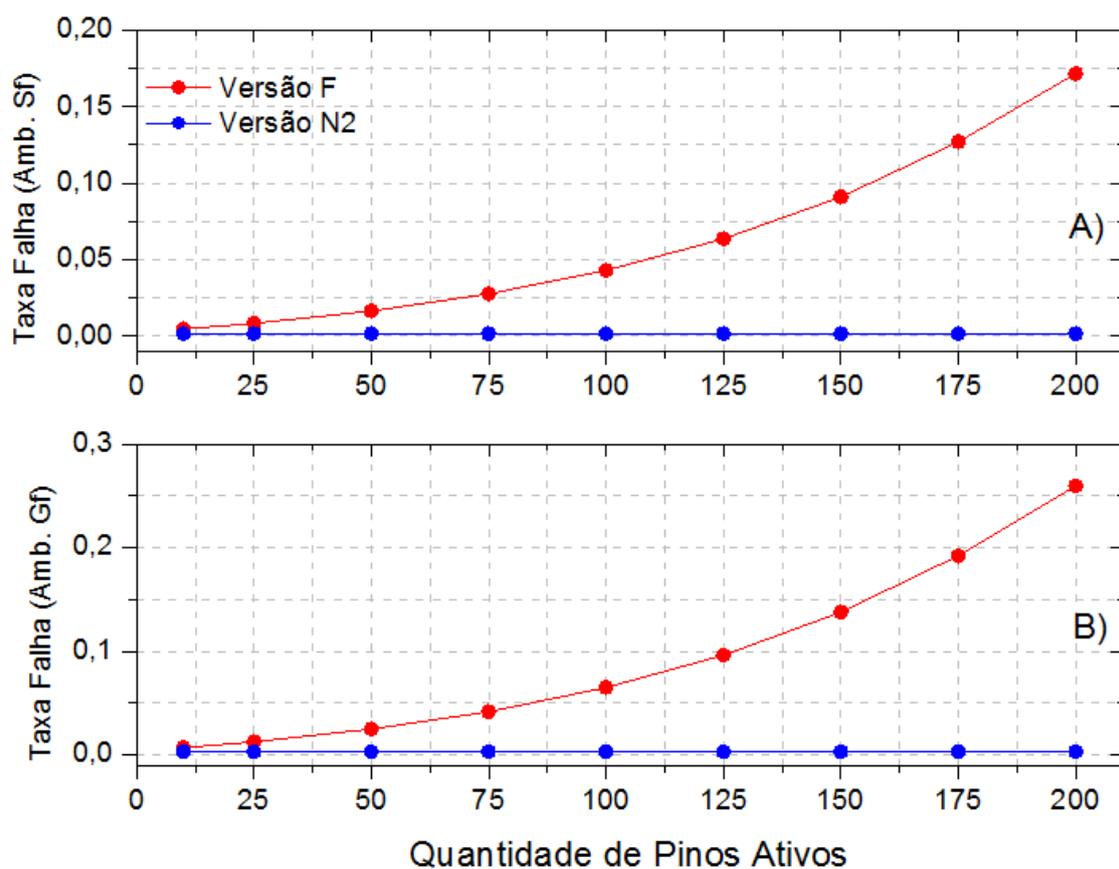


Figura 5.31 - Comparação das taxas de falhas de conectores "Circular", versão F com N2. A) Ambiente S<sub>F</sub>, B) Ambiente G<sub>F</sub>. Unidades Número de pinos ativos x Taxa de falha em falhas/10<sup>6</sup> horas

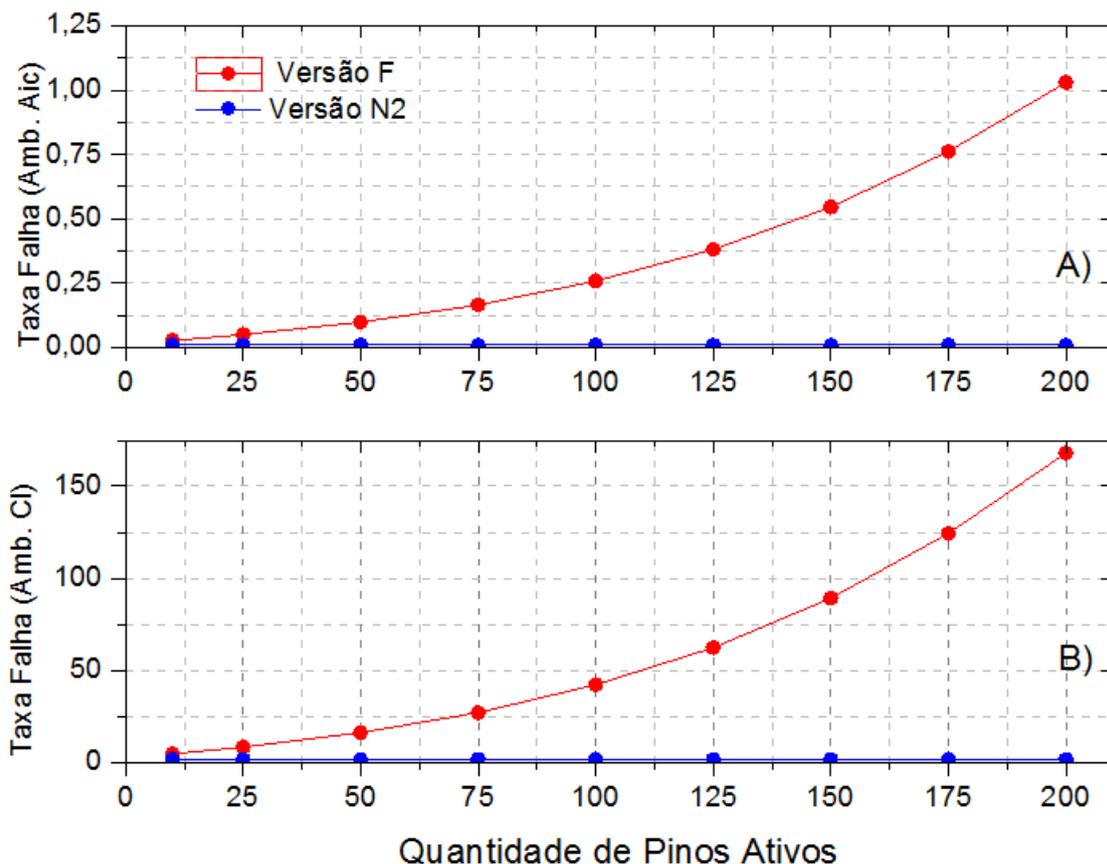


Figura 5.32 - Comparação das taxas de falhas de conectores "Circular", versão F com N2. A) Ambiente A<sub>1C</sub>, B) Ambiente C<sub>L</sub>. Unidades Número de pinos ativos x Taxa de falha em falhas/10<sup>6</sup> horas

#### 5.4.5.3 Resultados da Comparação para Conector do Tipo "Power" com o Uso de Savers

Foi calculada a taxa de falhas de um conector "Power" para tipos diferentes de materiais (Tipo B e D), para a versão F, foi obtido taxas de falhas crescentes de acordo com o número de pinos ativos. Para o tipo de material B, as taxas foram iguais aos valores encontrados para conector do tipo "Rack and Panel". Isso ocorre, pois o conector "Rack and Panel" também é classificado como materiais do tipo B, na versão F. A taxa de falhas do conector Power de material tipo D,

possui taxas de falhas superiores a taxa do tipo B. Ver Figura 5.33 e Figura 5.34.

A versão N2, não faz diferenciação quanto ao tipo de material, sua taxa básica de falhas é tabelada de acordo com a descrição do conector e não considera o número de pinos ativos do conector. Isso resulta em taxas de falhas iguais para os dois tipos de materiais (Tipo B e D) e para qualquer que seja o número de pinos ativos.

Para esse tipo de conector, ocorre um nivelamento de taxas de falhas na comparação, para o tipo de material B o nível ocorre para um número alto de pinos ativos: 175 pinos. Um sistema com conectores de baixo número de pinos ativos tem uma grande elevação na taxa de falhas de uma versão para a outra. Em ambiente  $C_L$  para 10 pinos ativos, a elevação pode chegar próxima de 100 falhas/ $10^6$  horas. Ver Figura 5.33 e Figura 5.34.

As Figuras 5.33, 5.34, 5.35 e 5.36 foram geradas a partir dos resultados dos cálculos obtidos para esse tipo de conector que podem ser visualizados e analisados através do tópico A9 Apêndice A e B9 do Apêndice B.

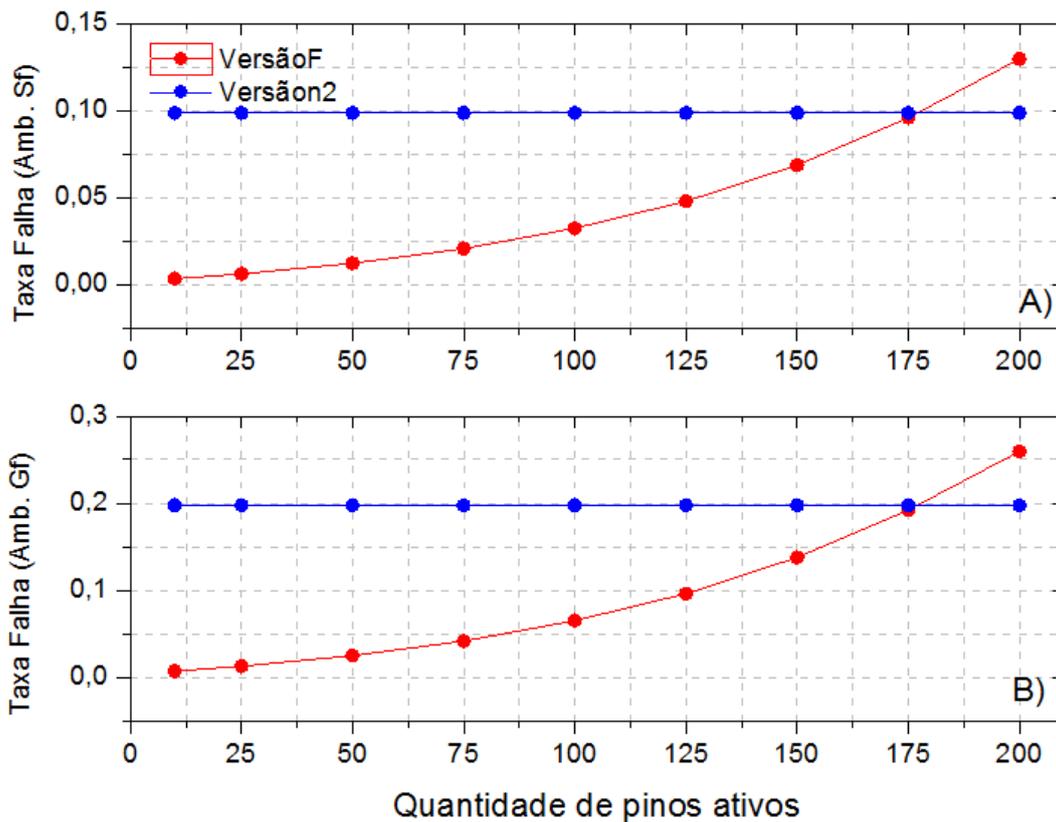


Figura 5.33 - Comparação das taxas de falhas de conectores "Power" Tipo B, versão F com N2. A) Ambiente S<sub>F</sub>, B) Ambiente G<sub>F</sub>. Unidades Número de pinos ativos x Taxa de falha em falhas/10<sup>6</sup> horas

Ao avaliar materiais do tipo D, é perceptível que também ocorre um nivelamento, no entanto esse incide para um nível muito baixo, por volta de 25 pinos ativos. Ou seja, um sistema que possua conectores com um alto número de pinos ativos teria sua taxa de falhas suavizada, ao trocar a versão F para a N2, para o cálculo da taxa de falhas usando a MIL-HDBK-217. Ver Figura 5.35 e Figura 5.36.

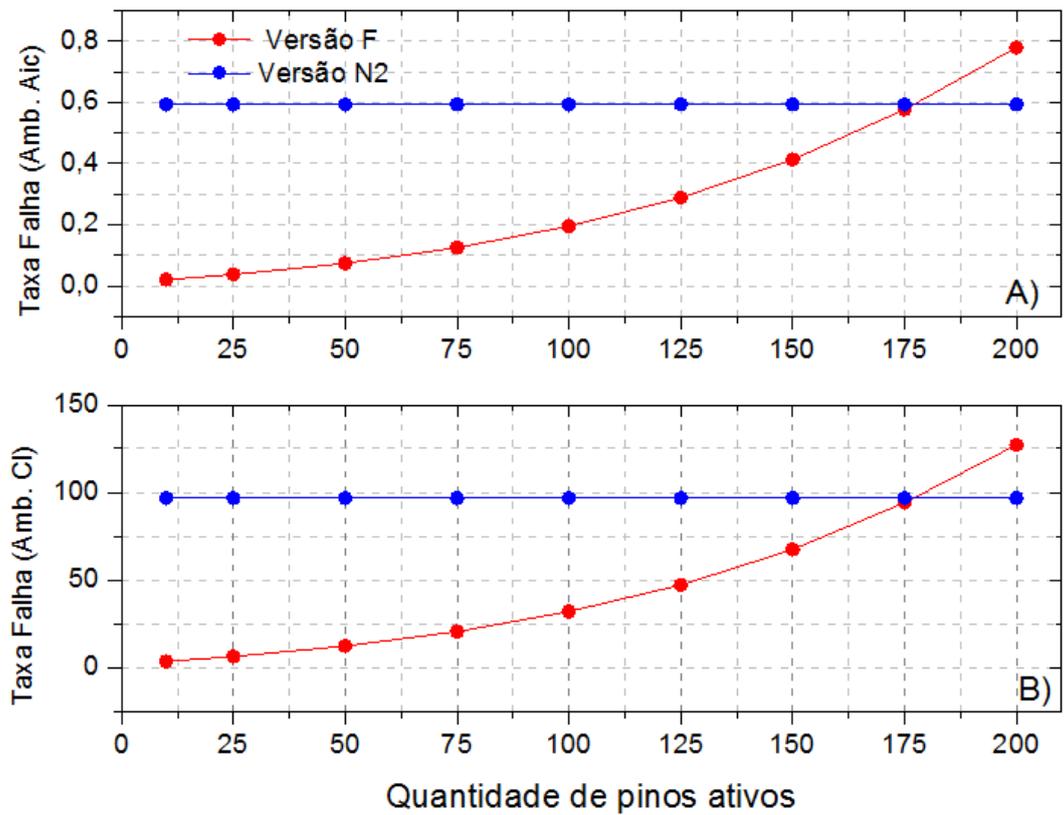


Figura 5.34 - Comparação das taxas de falhas de conectores "Power" Tipo B, versão F com N2. A) Ambiente A<sub>1C</sub>, B) Ambiente C<sub>L</sub>. Unidades Número de pinos ativos x Taxa de falha em falhas/10<sup>6</sup> horas

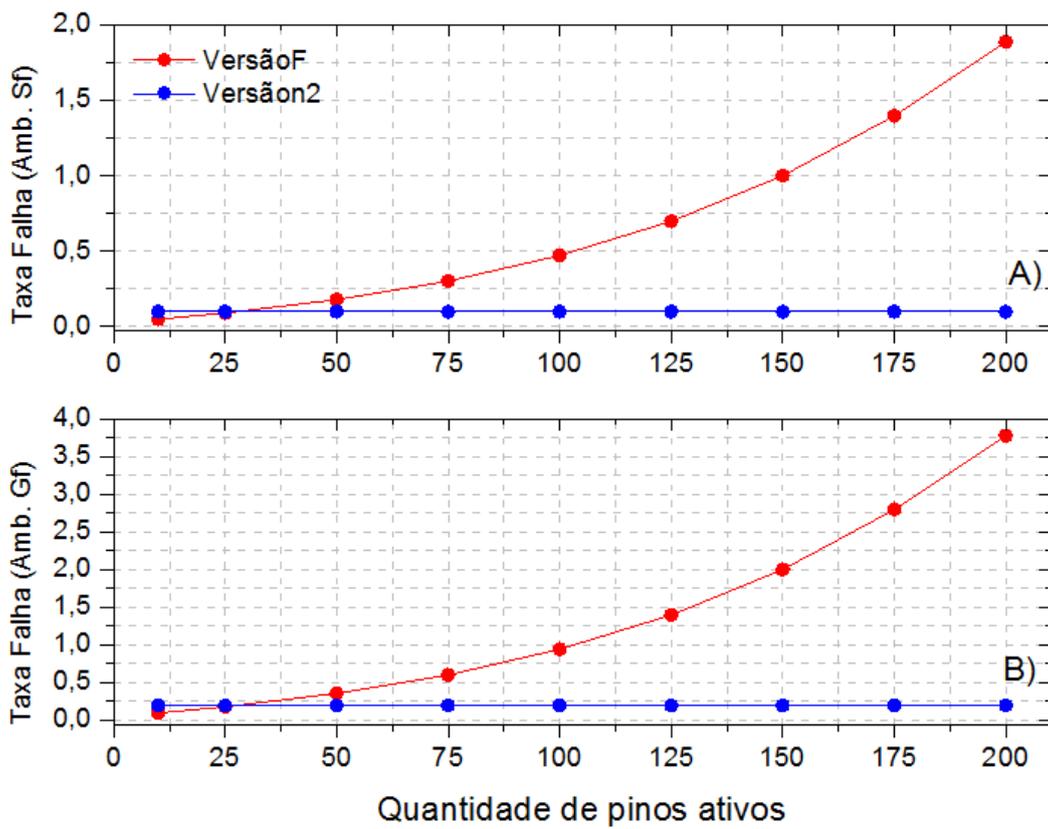


Figura 5.35 - Comparação das taxas de falhas de conectores "Power" Tipo D, versão F com N2. A) Ambiente S<sub>F</sub>, B) Ambiente G<sub>F</sub>. Unidades Número de pinos ativos x Taxa de falha em falhas/10<sup>6</sup> horas

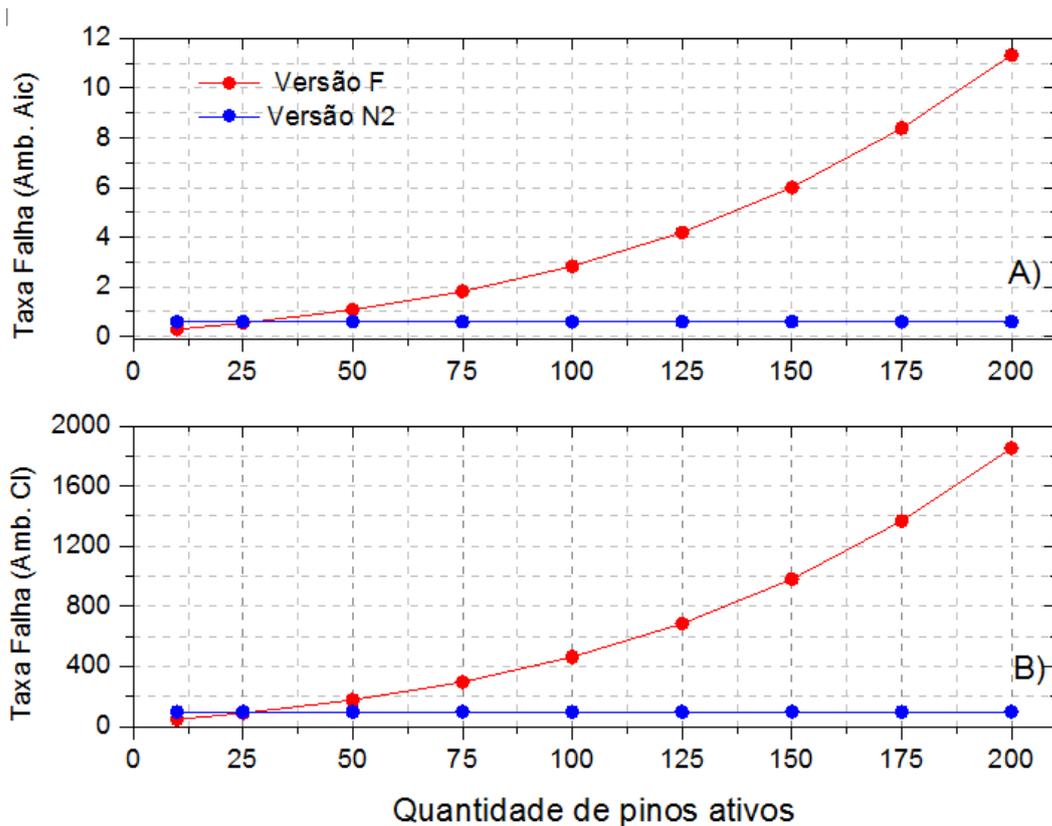


Figura 5.36 - Comparação das taxas de falhas de conectores "Power" Tipo D, versão F com N2. A) Ambiente A<sub>1C</sub>, B) Ambiente C<sub>L</sub>. Unidades Número de pinos ativos x Taxa de falha em falhas/10<sup>6</sup> horas

#### 5.4.5.4 Resultados da Comparação para Conectores Sem o Uso de "Savers"

Não houve alterações para o fator  $\pi_k$  ("Mating/Unmating Factor") entre versões F e N2, os valores tabelados de acordo com o número de ciclos é o mesmo para as duas versões, a Figura 5.37 mostra os possíveis valores conforme o número de ciclos.

A não utilização de *savers* resulta em taxa de falhas maiores, como foi considerado um número de ciclos superior a 50, resultou em um valor 4 para o fator  $\pi_K$ , a primeira situação que considerou o uso de *savers* (ciclo = 1) resultou em um valor 1 para o fator  $\pi_K$ , ou seja, o número de ciclos considerados sem o uso de *savers* resultou em taxas de falhas quatro vezes maiores que as taxas obtidas com o uso dos *savers*.

A figura 5.37 mostra a faixa de valores para o fator  $\pi_K$ , no entanto os ciclos de conexão e desconexão não interferem na comparação das versões, pois não houve mudança na tabela de valores desse fator com as atualizações F para N1 e depois N1 para N2.

**Mating/Unmating Factor -  $\pi_K$**

Mating/Unmating Cycles* (per 1000 hours)	$\pi_K$
0 to .05	1.0
> .05 to .5	1.5
> .5 to 5	2.0
> 5 to 50	3.0
> 50	4.0

**\*One cycle includes both connect and disconnect.**

Figura 5.37 – Os possíveis valores do fator  $\pi_K$  de acordo com o número de ciclos (conectar e desconectar) declarados nas versões do manual analisado.

Fonte: MIL-HDBK-217F (1991).

As Figuras 5.38 e 5.39 ilustram as taxas de falhas para conectores “Rack and Panel” e “Circular” para ambientes  $S_F$  e  $G_F$  e ressaltam que as taxas de falhas

sem o uso de savers é quatro vezes maior que as taxas produzidas para conectores com o uso, pois o fator  $\pi_k$  é multiplicado pela taxa básica e não sofreu alteração com as atualizações.

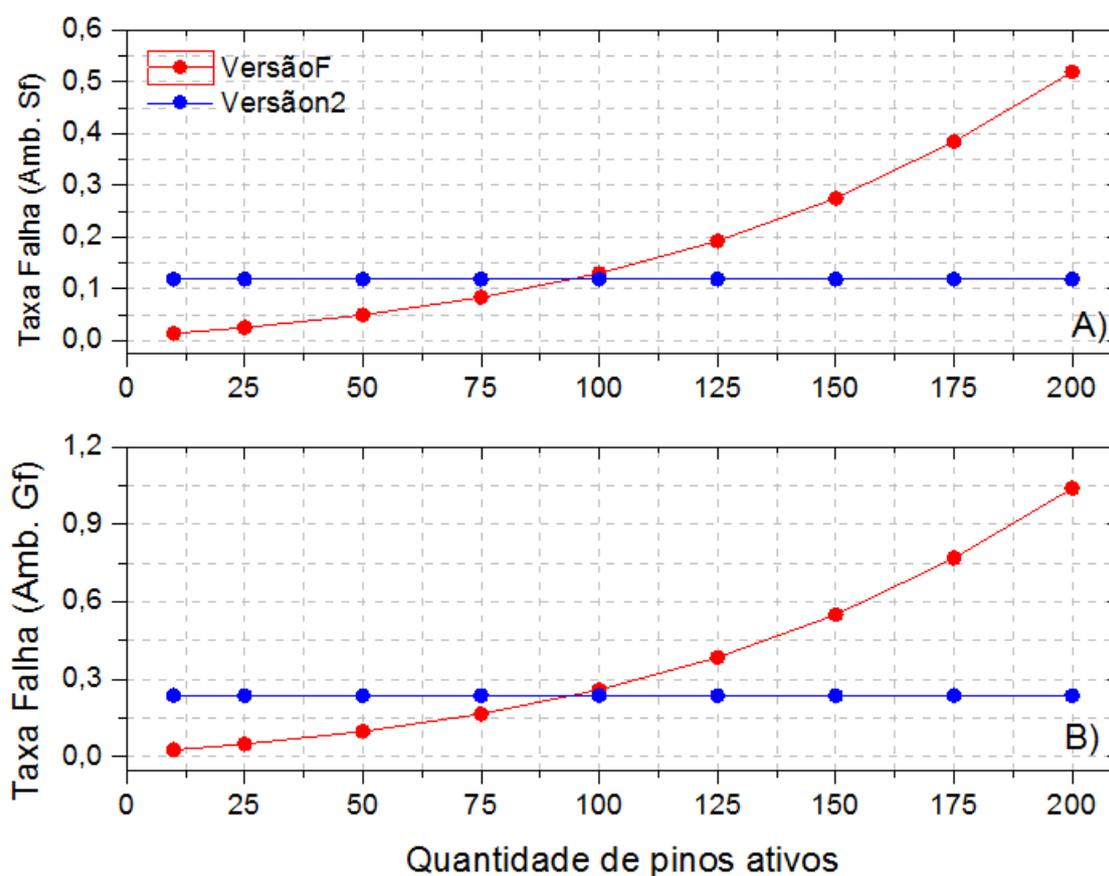


Figura 5.38 - Comparação das taxas de falhas de conectores "Rack and Panel" sem o uso de savers, versão F com N2. A) Ambiente  $S_F$ , B) Ambiente  $G_F$ . Unidades Número de pinos ativos x Taxa de falha em falhas/ $10^6$  horas

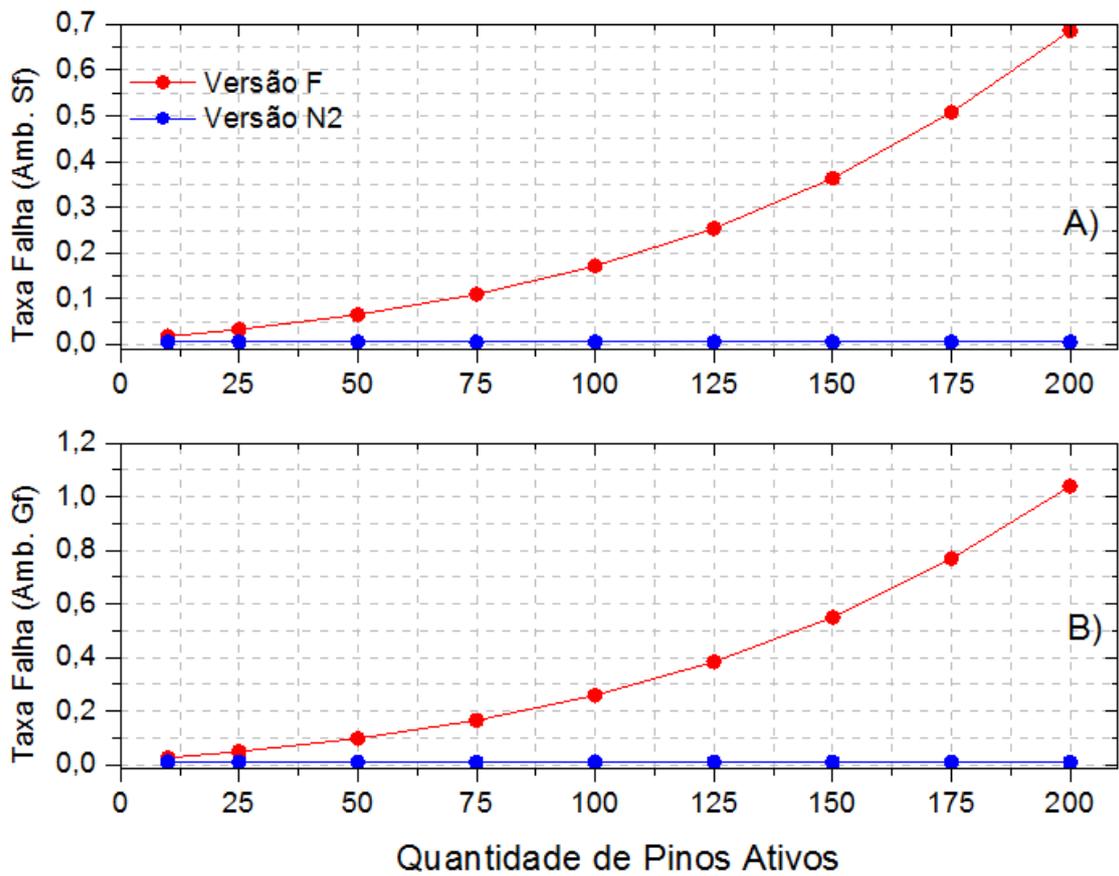


Figura 5.39 - Comparação das taxas de falhas de conectores "Circular" sem o uso de savers, versão F com N2. A) Ambiente S<sub>F</sub>, B) Ambiente G<sub>F</sub>. Unidades Número de pinos ativos x Taxa de falha em falhas/10<sup>6</sup> horas

## 6. APLICAÇÃO DO MANUAL PARA SEMICONDUTORES

Os semicondutores são considerados de suma importância e o manual MIL-HDBK-217 apresenta seções de análise de taxas de falhas para os semicondutores discretos: transistores, diodos e dispositivos opto eletrônicos e utiliza como base o tipo e a construção do dispositivo. Com a atualização do manual, de forma geral, a metodologia desses componentes foi mantida, não houve alterações significativas.

Esse capítulo apresenta cálculos de taxas de falhas de alguns tipos de transistores e diodos, a fim de complementar a análise do manual e ressaltar parâmetros utilizados na metodologia adotada para os semicondutores.

### 6.1. Diodos

O manual MIL-HDBK-217 possui duas seções para tratar os diodos, a seção 6.1 (diodos de baixa frequência) e seção a 6.2 (diodos de alta frequência). A taxa básica de falhas é tabelada de acordo com os vários tipos de aplicações dos diodos, isso nas duas seções.

Como já mencionado, os Diodos em geral não passaram por mudanças expressivas com a atualização do manual, a única alteração foi para diodos “Retificadores de potência de rápida recuperação” (“Fast recovery power rectifier”) que tiveram uma mudança na taxa básica de falhas ( $\lambda_b$ ). O  $\lambda_b$  nas duas versões é tabelado e na versão N2 o valor de  $\lambda_b$  foi reduzido em 36,23 %, resultando em uma mesma redução na taxa de falhas.

A Figura 6.1 apresenta vários tipos de diodos. Para os diodos de baixa frequência a norma utiliza os fatores de correções:

$\pi_T$  – Fator temperatura – este fator é em função da temperatura de junção, a norma apresenta duas modelagens matemáticas diferentes para dois grupos de diodos.

$\pi_S$  – Fator estresse elétrico – este fator é tabelado em valor neutro para um grupo de diodos (Supressão de Transitórios, Regulador de Tensão, Referência de tensão e Regulador de corrente) e para os demais tipos é em função da tensão aplicada e tensão nominal.

$\pi_C$  – Fator construção de contato – este fator é tabelado de acordo com dois tipos de construções.

$\pi_Q$  – Fator qualidade – tabelado de acordo com o nível de qualidade especificado.

$\pi_E$  – Fator ambiental – tabelado de acordo com o ambiente de operação.

Para os diodos de alta frequência a norma utiliza os fatores de correções:

$\pi_T$  – Fator temperatura – este fator, assim como os de baixa frequência, é em função da temperatura de junção e a norma apresenta duas modelagens matemáticas diferentes para dois grupos de diodos.

$\pi_A$  – Fator aplicação – este fator se refere aos tipos de aplicações do diodo.

$\pi_R$  – Fator de potência – para diodos de pinos depende da classificação da potência, para os demais assume valor neutro.

$\pi_Q$  – Fator qualidade – tabelado de acordo com o nível de qualidade especificado, porém possui duas classificações: uma para diodos Schottky e outra para os demais.

$\pi_E$  – Fator ambiental – tabelado de acordo com o ambiente de operação.

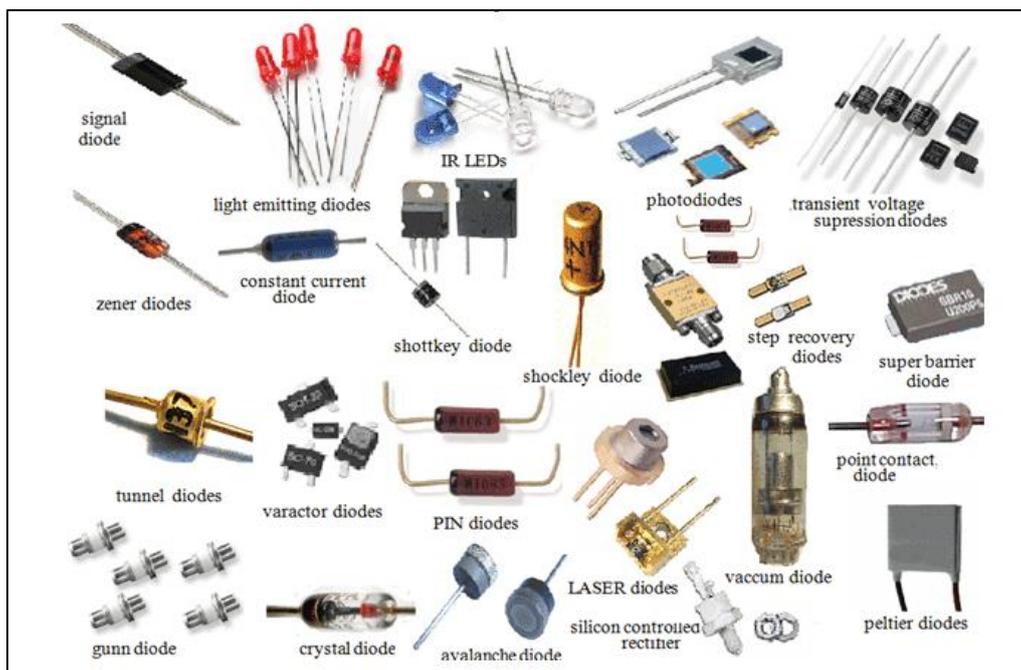


Figura 6.1 - Vários tipos de diodos.  
 Fonte: EngineersGarage

### 6.1.2 Hipóteses Adotadas para os Cálculos de Diodos

De acordo com as orientações de ECSS (2011) referente a “derating” para Diodos dos tipos: Chaveamento, alternador (*Switching*), Retificador (*Rectifier*), Regulador de Tensão (*Voltage Regulator*), Referência de tensão (*Voltage reference/zener*), Diodo tipo PIN (*Pin*), Supressão de Transitórios (*Transient suppression*), Retificador de alta tensão (*High voltage rectifier*) e Regulador de corrente (*Current regulator*), o *derating* será de 75% para a corrente e tensão, 50% para a potência de dissipação e temperatura de junção de 110°C ou  $T_{Jmax} - 40^{\circ}C$ , utilizar sempre o que for menor.

A norma de *derating*, ECSS (2011), também estabelece limites para os diodos dos tipos: *RF/microwave Schottky – Si*, *Microwave varactor – GaAs*, *Microwave varactor – Si*, *Microwave Schottky – GaAs* e *RF/microwave – PIN*. O *derating* estabelecido é de 50% para a corrente, 75% para a tensão, 65% para a

potência de dissipação e temperatura de junção de  $110^{\circ}\text{C}$  ou  $T_{J\text{max}} - 40^{\circ}\text{C}$ , utilizar sempre o que for menor.

Para os cálculos foram utilizados diodos dos tipos Zener (Voltage Regulator), Chaveamento (*Switching*) e um diodo do tipo Schottky.

### **6.1.3 Diodes, “Low Frequency” (seção 6.1 – versão F ou N2)**

Especificação: MIL-S-19500

Os cálculos podem ser visualizados e analisados através do tópico A10 Apêndice A.

#### **Tipo 1: Zener (voltage Regulator)**

Regulador de tensão sobre uma ampla corrente de operação e faixa de temperatura.

Qualidade adotada: JANTXV

Variação da temperatura de junção:  $-65^{\circ}\text{C}$  a  $175^{\circ}\text{C}$

Os cálculos foram feitos para temperaturas de junção iguais a 60, 70, 80, 90, 100 e  $110^{\circ}\text{C}$ , lembrando que a potência de dissipação segundo a ficha técnica é de 50 W para uma temperatura de  $75^{\circ}\text{C}$ , acima disso a dissipação aumenta em  $0,5\text{W}/^{\circ}\text{C}$ .

#### **Tipo 2: Chaveamento (*Switching*)**

Qualidade adotada: JANTXV

Variação da temperatura de junção: -65°C a 175°C

Os cálculos foram feitos para temperaturas de junção iguais a 60, 70, 80, 90, 100 e 110°C.

#### **6.1.4 Diodes, “High Frequency” (seção 6.2 – versão F ou N2)**

Especificação: MIL-S-19500

Tipo: Schottky

Qualidade adotada: JANTXV

Variação da temperatura de junção: -55°C a 175°C

Potência de Dissipação: 12,5 W a uma temperatura de 25°C e chega a 5,4 a 110°C.

Os cálculos podem ser visualizados e analisados através do tópico A11 Apêndice A.

#### **6.1.5 Resultados**

Com as atualizações da norma, esses componentes não foram afetados, podendo concluir que a modelagem para esses componentes foi assertiva desde a versão F, com exceção para diodos de baixa frequência a aplicação de “retificadores de potência de rápida recuperação”.

De forma geral é perceptível que todos os diodos analisados são sensíveis a temperatura de junção, exercendo uma dependência direta, aumentando a temperatura de junção a taxa de falhas também é acrescida (ver eq. 6.1). No

entanto, esses diodos são sensíveis também ao nível de qualidade e a severidade de ambiente, fatores que afetam diretamente a taxa de falhas. Ver Figuras 6.2, 6.3 e 6.4.

$$\pi_T = \exp\left(-3091\left(\frac{1}{T_J + 273} - \frac{1}{298}\right)\right) \quad 6.1$$

Os níveis de qualidade estabelecidos na norma são: JANTXV, JANTX, JAN, Lower e Plastic. Existe um nível de maior qualidade que não consta na norma, o nível JANS.

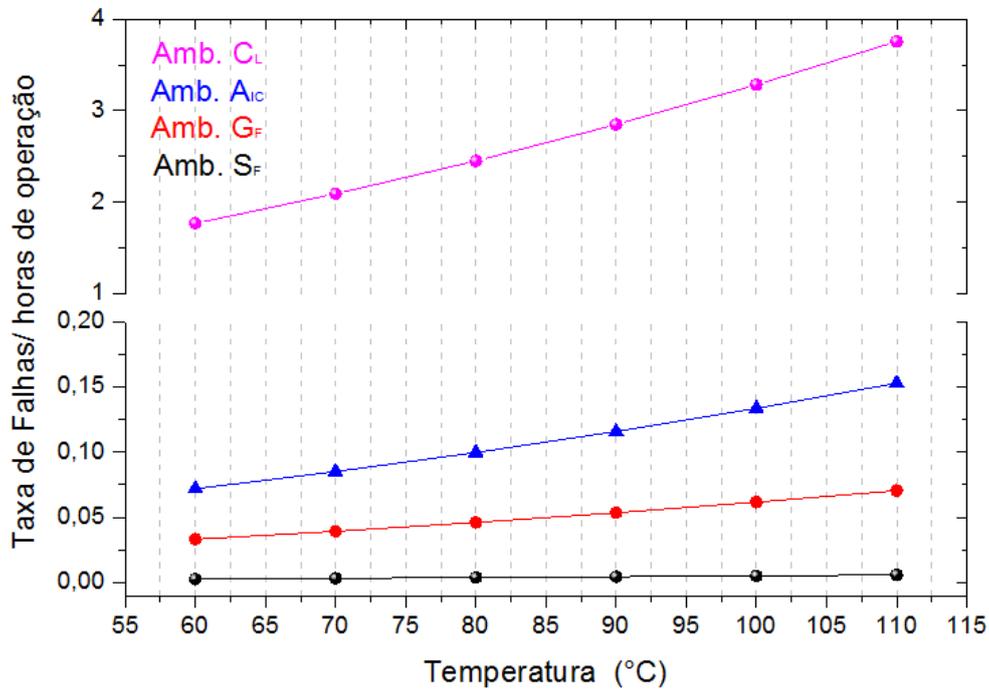


Figura 6.2 – Resultados para diodo de baixa frequência do tipo Zener.

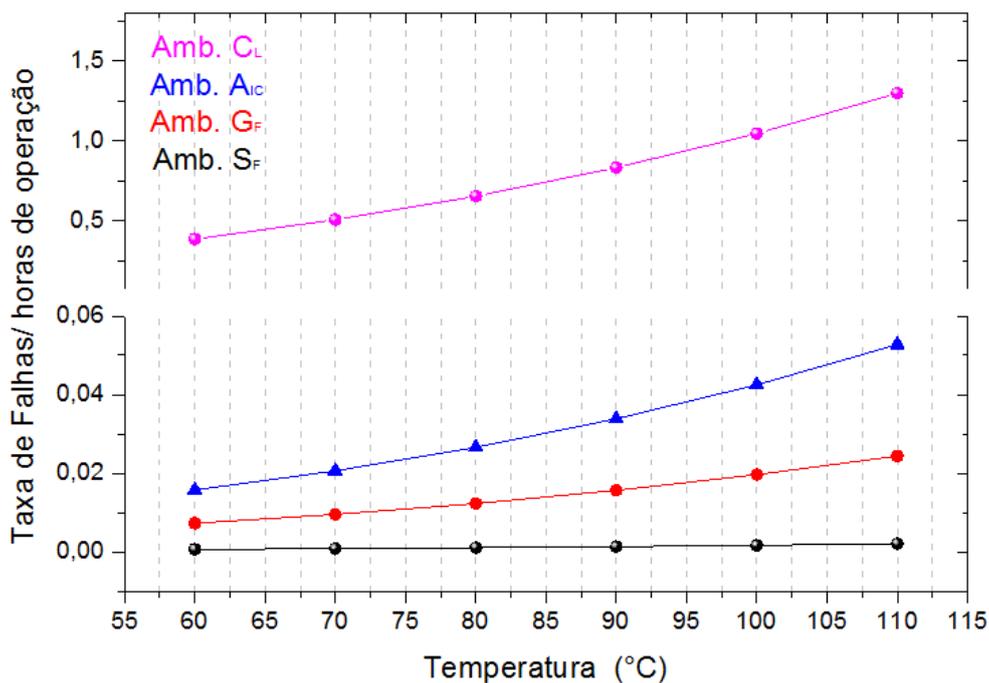


Figura 6.3 – Resultados para diodo de baixa frequência do tipo Chaveamento.

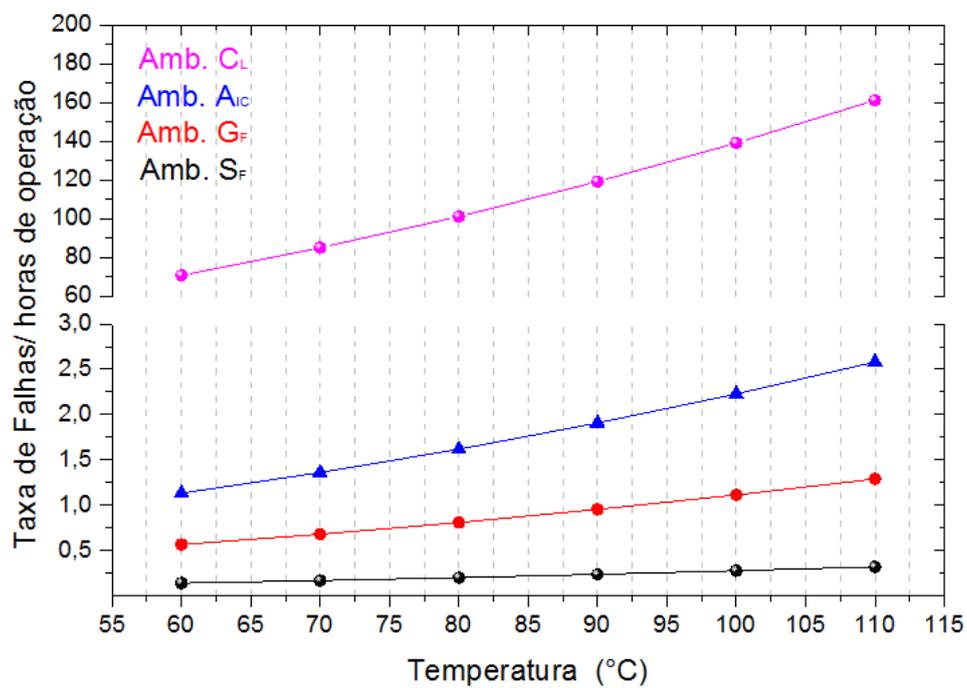


Figura 6.4 – Resultados para diodo de alta frequência do tipo Schottky.



de rede de correspondência e  $\pi_A$  refere-se às várias aplicações, por exemplo, potências, altas frequências de comutações ou retificações.

A norma de especificações de padrões e métodos de ensaio para semicondutores adotada na MIL-HDBK-217 é a MIL S 19500, no entanto a base de dados da norma é antiga e muitos dos *datasheets* encontrados são especificados por versões atualizadas da MIL S 19500.

Tabela 6.1 – As seções que a norma abrange para transistores.

Seção	Transistores	Modelagem matemática
6.3	Transistors, low frequency, bipolar	$\lambda_p = \lambda_b \cdot \pi_T \cdot \pi_A \cdot \pi_R \cdot \pi_S \cdot \pi_Q \cdot \pi_E$
6.4	Transistors, low frequency, Si FET	$\lambda_p = \lambda_b \cdot \pi_T \cdot \pi_A \cdot \pi_Q \cdot \pi_E$
6.5	Transistors, unijunction	$\lambda_p = \lambda_b \cdot \pi_T \cdot \pi_Q \cdot \pi_E$
6.6	Transistors, low noise, high frequency, bipolar	$\lambda_p = \lambda_b \cdot \pi_T \cdot \pi_R \cdot \pi_S \cdot \pi_Q \cdot \pi_E$
6.7	Transistors, high power, high frequency, bipolar	$\lambda_p = \lambda_b \cdot \pi_T \cdot \pi_A \cdot \pi_M \cdot \pi_Q \cdot \pi_E$
6.8	Transistors, high frequency, GaAs FET	$\lambda_p = \lambda_b \cdot \pi_T \cdot \pi_A \cdot \pi_M \cdot \pi_Q \cdot \pi_E$
6.9	Transistors, high frequency, Si FET	$\lambda_p = \lambda_b \cdot \pi_T \cdot \pi_Q \cdot \pi_E$

### 6.2.1 Hipóteses Adotadas para os Cálculos de Transistores

Seguindo as orientações de ECSS (2011) referente a “derating” para transistores de alta ou baixa frequência bipolar (npn ou pnp) ou do tipo FET, usar um limite de 75% para Tensão do emissor/coletor ( $V_{CEO}$ ), Tensão do

coletor base ( $V_{CBO}$ ), Tensão do Emissor base ( $V_{EBO}$ ), Coletor da corrente ( $I_C$ ) e a Base da corrente se especificada ( $I_B$ ), para a para Potência ( $P_D$ ) usar limite de 65% e para a Temperatura de junção ( $T_J$ ) usar  $110^\circ\text{C}$  ou  $T_J - 40^\circ\text{C}$ , utilizar sempre o que for menor.

### **6.2.2 Transistors, “*Low Frequency, Bipolar*” (seção 6.3 – versão F ou N2)**

Especificação: MIL-S-19500

Os cálculos podem ser visualizados e analisados através do tópico A12 Apêndice A.

#### **Tipo: PNP - Switching**

Qualidade adotada: JANTXV

Variação da temperatura de junção:  $-55^\circ\text{C}$  a  $200^\circ\text{C}$

Tensão do coletor emissor = -80 VDC

Tensão do coletor emissor base = -80 VDC

Os cálculos foram feitos para temperaturas de junção iguais a 60, 70, 80, 90, 100 e  $110^\circ\text{C}$ , lembrando que a potência de dissipação segundo a ficha técnica é de 4W para uma temperatura de  $25^\circ\text{C}$ , acima disso a dissipação aumenta em  $22,8 \text{ mW}/^\circ\text{C}$ .

### **6.2.3 Transistors, “*Low Frequency, SI FET*” (seção 6.4 – versão F ou N2)**

Especificação: MIL-S-19500

Os cálculos podem ser visualizados e analisados através do tópico A13 Apêndice A.

**Tipo: MOSFET**

Qualidade adotada: JANTXV

Variação da temperatura de junção: -55°C a 175°C

Os cálculos foram feitos para temperaturas de junção iguais a 60, 70, 80, 90, 100 e 110°C, lembrando que a potência de dissipação segundo a ficha técnica é de 85w para uma temperatura de 25°C, acima disso a dissipação aumenta em 0,57 W/°C.

### **6.2.4 Transistors, “*Low Noise, High Frequency, Bipolar*” (seção 6.6 – versão F ou N2)**

Especificação: MIL-S-19500

Tipo: baixo nível de ruído amplificador de pequenos sinais.

Qualidade adotada: JANTXV

Variação da temperatura de junção: -55°C a 175°C

Os cálculos foram feitos para temperaturas de junção iguais a , 60, 70, 80, 90, 100 e 110°C, lembrando que a potência de dissipação segundo a ficha técnica

é de 0,25 W para uma temperatura de 75°C, acima disso a dissipação aumenta em 3,33 mW/°C.

Os cálculos podem ser visualizados e analisados através do tópico A14 Apêndice A.

### 6.2.5 Resultados

Todos os transistores mostraram ser sensíveis à temperatura de junção, e todos exercem dependência ao nível de qualidade e ambiental. Ao utilizar níveis de qualidade melhores menor é a taxa de falhas e quanto maior é a severidade de ambiente maior é a taxa de falhas. Importante ressaltar que existem níveis de melhor qualidade que não são estabelecidos na norma. Ver Figuras 6.6, 6.7 e 6.8.

O transistor de baixa frequência bipolar e de baixo ruído, alta frequência bipolar são sensíveis também à potência de dissipação, potências elevadas resultam em fatores  $\pi_R$  maiores, afetando a taxa de falhas. A potência de dissipação é proporcional a temperatura de junção, ou seja, a taxa de falhas aumentará com temperaturas elevadas devido ao fator temperatura e ao de potência. Ver Figura 6.6. A tensão também colabora na alteração da taxa de falhas desse transistor, se o nível de estresse for inferior a 0,9 resultará valores menores que 1 unidade para o  $\pi_S$ , reduzindo a taxa.

O Transistor de baixa frequência SI FET, além dos parâmetros já relatados aqui, sua taxa de falhas pode sofrer variação com o fator  $\pi_A$ .

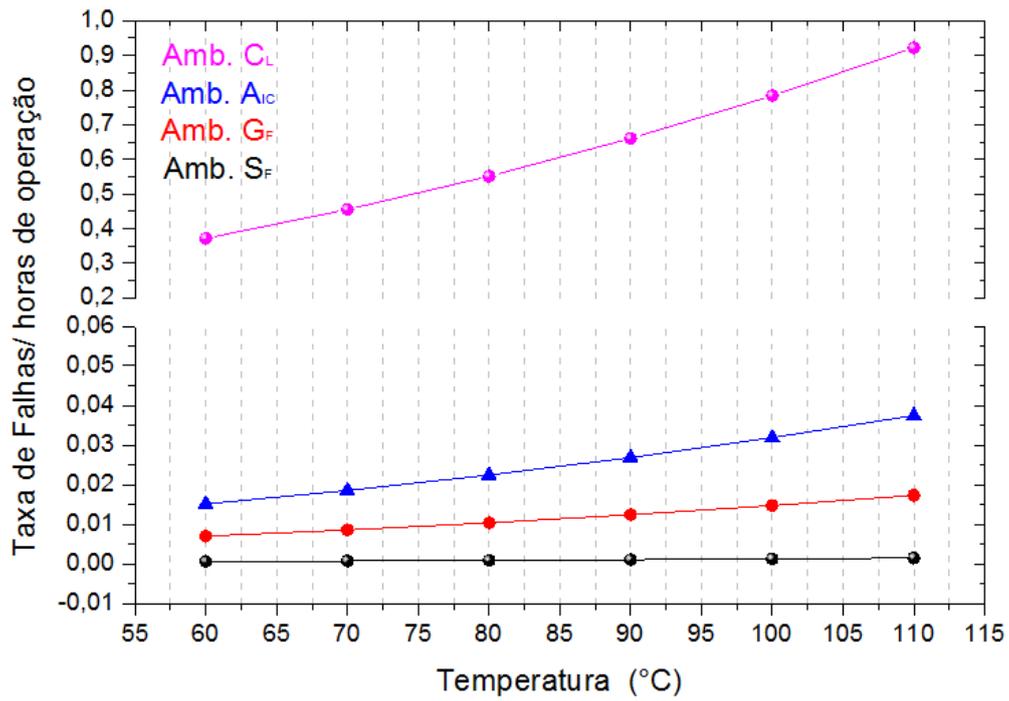


Figura 6.6 - Taxas de falhas para Transistor Bipolar de baixa frequência.

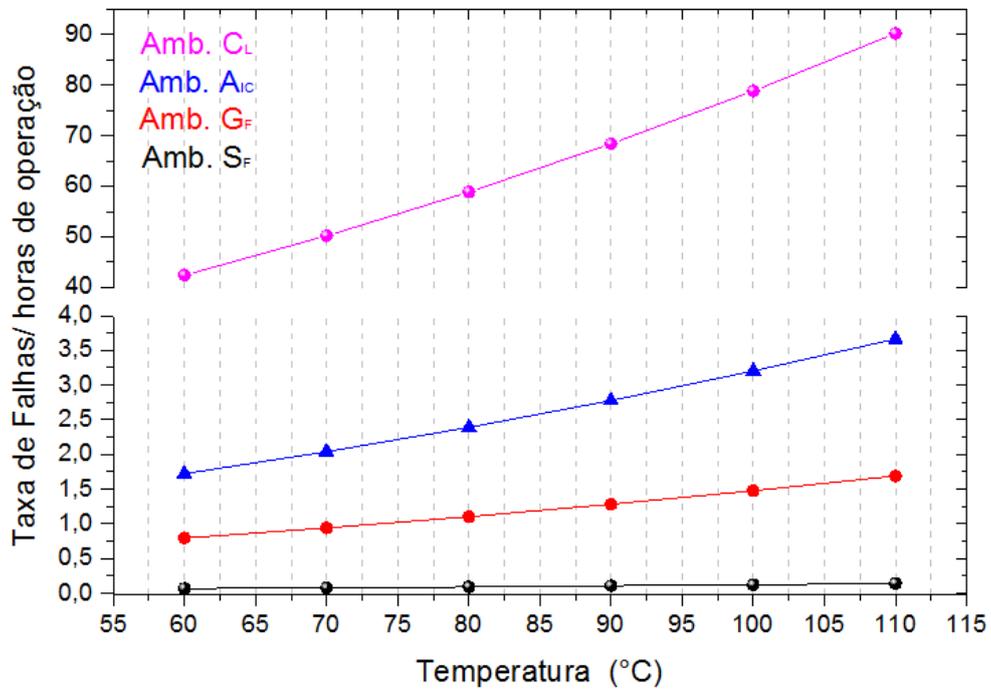


Figura 6.7 - Taxas de falhas para Transistor Mosfet de baixa frequência.

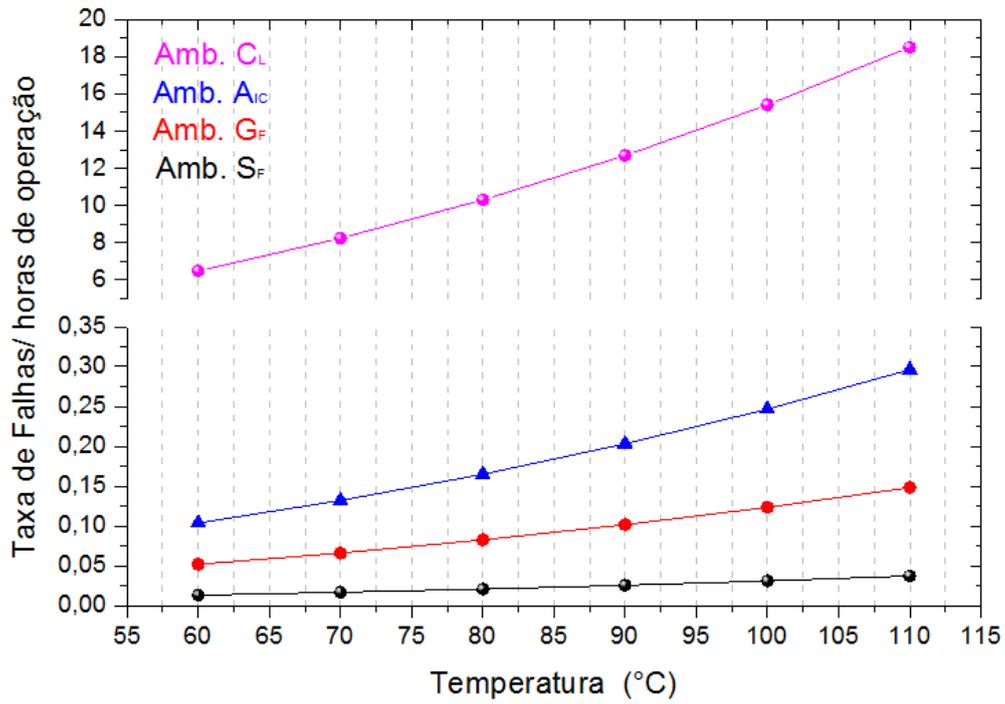


Figura 6.8 - Taxas de falhas para Transistor Bipolar de alta frequência.

## 7. A NORMA 217PLUS™

Este capítulo destina-se a apresentar a norma 217PLUS™, que foi elaborada com o intuito de substituir o padrão mais utilizado, a norma MIL-HDBK-217. Apresentando um breve histórico que antecede a norma, a elaboração da mesma e aborda as características da mesma, levantando informações sobre sua metodologia e fatores utilizados.

### 7.1. Apresentação de 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.

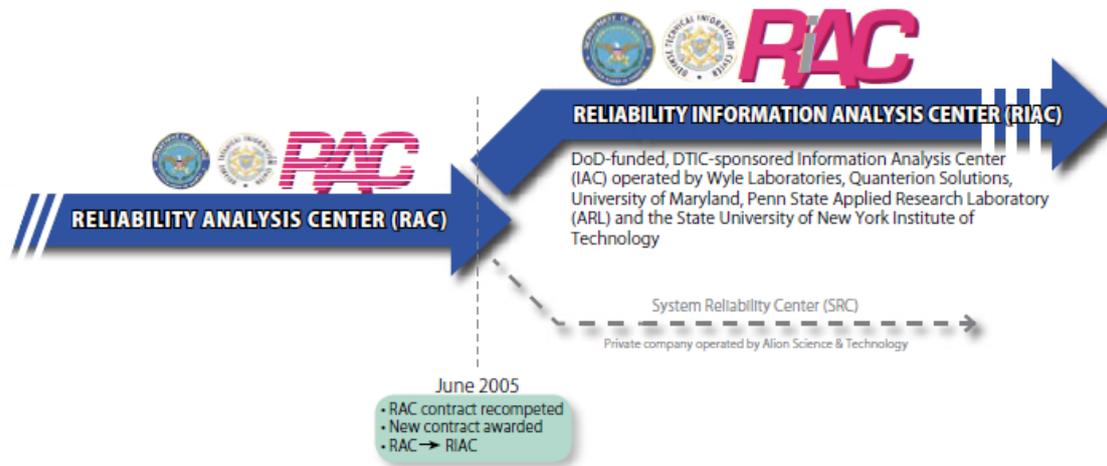


Figura 7.1 - Mostra a transição de RAC para RIAC.

Fonte: Nicholls (2006)

O método adotado pela 217PLUS<sup>TM</sup> 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<sup>TM</sup> foi publicada pelo RIAC como “*Handbook of 217Plus<sup>TM</sup> Reliability Prediction Models*”. Este manual no formato da MIL HDBK-217, detalha o método e os modelos da 217Plus<sup>TM</sup> como o atual substituto para a MIL HDBK-217 e do método PRISM<sup>®</sup>, no entanto não foi tão bem aceito ao ponto de realmente substituir o manual antigo.

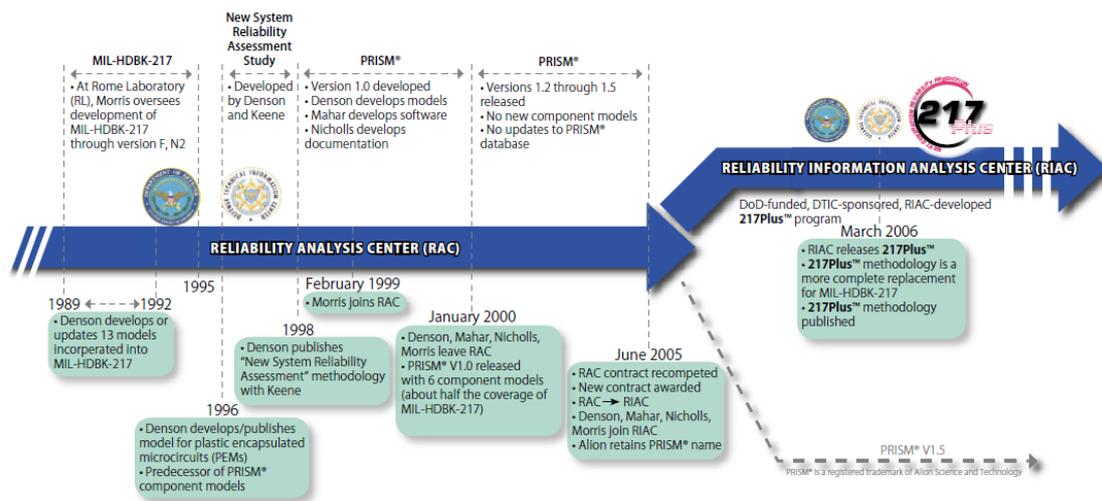


Figura 7.2 - Mostra a relação de normas publicadas até a atualização 217PlusTM.

Fonte: Nicholls (2006)

O método 217Plus<sup>TM</sup> foca em dois elementos primários que são a “Predição da Confiabilidade dos Componentes” (*Component Reliability Prediction*) e a “Predição da Confiabilidade do Nível do Sistemas” (*System-level Reliability Prediction*).

Segundo Nicholls (2007) dentro da metodologia 217Plus<sup>TM</sup> 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 217Plus<sup>TM</sup> 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.

Baseado em Nicholls (2007), obviamente o objetivo de qualquer metodologia de predição 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 217Plus™ é que eles contem fatores de taxa de falhas que representam períodos operacionais, períodos não operacionais e reciclagem. Ou seja, essa versão incorpora os modelos de predição de taxas de falhas de componentes considerando 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), "**sistema**" aplica-se a definição de nível mais elevado do produto definido em 217Plus™. Um "sistema", portanto, pode ser um produto, um equipamento, uma montagem, um subconjunto, ou seja, qualquer nível de complexidade que o *usuário deseja definir*.

A Figura 7.3, mostra uma visão geral da abordagem 217Plus™, a estimativa de taxa de falhas que se baseia em três fatores mencionados acima.

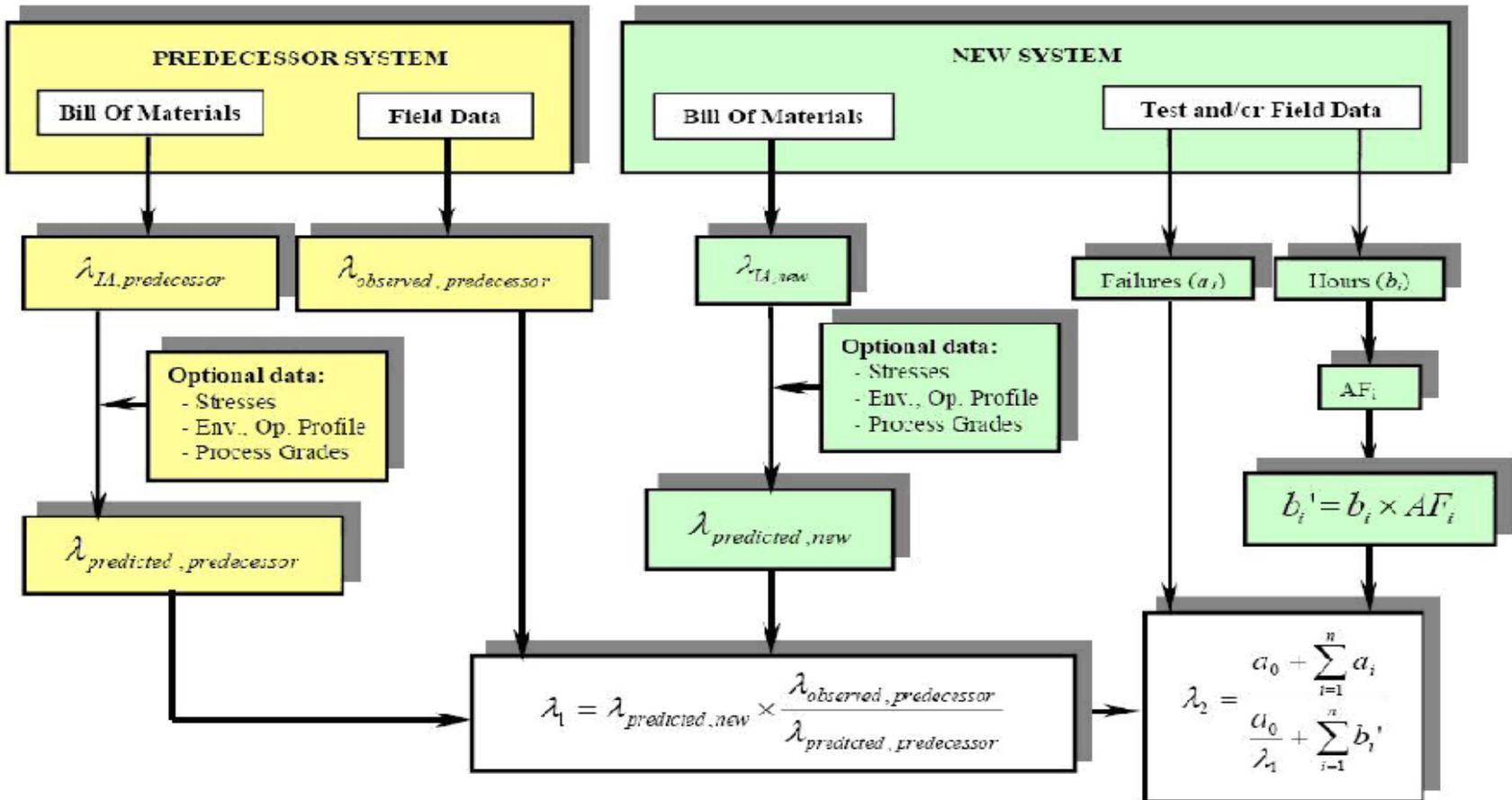


Figura 7.3 - Abordagem para aproximação da taxa de falhas.

Fonte: 217PlusTM (2006).

De acordo com Nicholls (2006) e 217Plus (2006), para analisar um sistema pela versão 217Plus™ 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 falhas 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 217Plus™, utilizando a abordagem Bayseana para então formar uma combinação que resulta na melhor taxa de falhas 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 Bayseana (taxa  $\lambda_2$ ) é apresentada na Figura 7.3. (217PLUS™, 2006)

A quantidade mínima de análise necessários para resultar na taxa de falhas prevista pela 217Plus™ é a soma das taxas de falha dos componentes estimados, além de outros dados que podem estar disponíveis para o analista. O resultado da predição baseado em componentes é representado por  $\lambda_{IA\ new}$ , ver Figura 7.3. Esse valor previsto pode ser modificado dentro da 217Plus™ 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 falhas representada por  $\lambda_{predicted, new}$ , ver Figura 7.3. (217PLUS™, 2006)

Importante salientar que a metodologia 217Plus™ 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 217Plus™. Os fatores de conversão são:

- $\text{Calendário horas} = \frac{\text{horas de operação}}{\text{Ciclo de trabalho}}$
- $\text{Horas de operação} = \text{Calendário horas} \times \text{Ciclo de trabalho}$

## **7.2. Modelagem Matemática - Definição de fatores e constantes**

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 dos componentes são somadas para estimar a taxa de falhas do sistema.

A modelagem matemática utilizada na 217Plus™, segundo Risk Management Institute (2009) é do tipo aditiva para a contribuição física e do tipo multiplicativa para obter a influência dos fatores de correção ( $\pi$ ) na confiabilidade total. A equação 7.1 distingue as contribuições físicas diferenciando também os fatores que colaboram para ela e a contribuição de processos na modelagem matemática desse manual.

$$\lambda = \underbrace{\left[ \underbrace{(\lambda \cdot \pi)_O}_{\text{operating}} + \underbrace{(\lambda \cdot \pi)_E}_{\text{environment}} + \underbrace{(\lambda \cdot \pi)_C}_{\text{cycling}} + \underbrace{\lambda i}_{\text{induced}} + \underbrace{(\lambda \cdot \pi)_{Sj}}_{\text{soldering}} \right]}_{\text{Physical contribution}} \cdot \underbrace{\pi_{\text{Process}}}_{\text{Process contribution}} \quad (7.1)$$

O manual 217Plus™ faz uma apresentação de seu modelo, representado pela equação 7.2.

$$\lambda_P = \lambda_{IA} (\pi_P \pi_{IM} \pi_E + \pi_D \pi_G + \pi_M \pi_{IM} \pi_E \pi_G + \pi_S \pi_G + \pi_I + \pi_N + \pi_W) + \lambda_{SW} \quad (7.2)$$

Segundo Nicholls (2207) a soma dos fatores nos parênteses responde por processos utilizado no desenvolvimento e manutenção do sistema.

Onde:

$\lambda_P$  = Taxa de falhas predita do sistema

$\lambda_{IA}$  = Avaliação inicial da taxa de falhas, baseada em novos modelos de taxa de falhas de componentes derivado de RIAC.

Cada um dos fatores de correção representam uma causa de falha:

$\pi_P$  = Fator de correção relacionado as falhas resultantes ao processo de da peça.

$\pi_D$  = Fator de correção relacionado ao processo de design.

$\pi_M$  = Fator de correção relacionado ao processo de fabricação.

$\pi_S$  = Fator de correção relacionado ao processo de gerenciamento do sistema.

$\pi_I$  = Fator de correção relacionado ao processo de indução.

$\pi_N$  = Fator números de defeitos no processo.

$\pi_W$  = Fator de correção relacionado ao processo de desgaste.

Cada um desses fatores é calculado como mostra a equação 7.3.

$$\pi_i = \alpha_i (-\ln(R_i))^{\frac{1}{\beta_i}} \quad (7.3)$$

Onde:

$\alpha_i$  e  $\beta_i$  são constantes para cada categoria de causa de falha encontradas na tabela 7.1.

$R_i$  = Avaliação do processo para i causas de falhas, de 0 a 1. Descrita pela equação 7.4.

$$R_i = \frac{\sum_{j=1}^{n_i} G_{ij} W_{ij}}{\sum_{j=1}^{n_j} W_{ij}} \quad (7.4)$$

Onde:

$G_{ij}$  = Graus para os itens j de i causas de falhas. Este grau está classificado entre 0 e 1. (pior ao melhor)

$W_{ij}$  = Peso da causa de falha do item j para o i.

$n_i$  = Números de critérios associados aos graus.

$i$  = Causa de falhas.

Tabela 7.1 – Parâmetros para os fatores relacionados aos graus de processo.

Model factor symbol ( $\Pi_i$ )	Name	$\alpha$	$\beta$	Default value for factor if $R_i$ is unknown
$\Pi_D$	Design process factor	0.12	1.29	0.094
$\Pi_M$	Manufacturing process factor	0.21	0.96	0.142
$\Pi_P$	Parts Quality process factor	0.30	1.62	0.243
$\Pi_S$	Systems Management process factor	0.06	0.64	0.036
$\Pi_N$	CND process factor	0.29	1.92	0.237
$\Pi_I$	Induced process factor	0.18	1.58	0.141
$\Pi_W$	Wearout process factor	0.13	1.68	0.106

Fonte: 217Plus TM, 2006.

Essa apresentação da modelagem, conta também com os seguintes fatores:

$\pi_{IM}$  = Fator relacionado a mortalidade infantil. Descrito pela equação 7.5.

$$\pi_{IM} = \frac{t^{-0,62}}{1,77} (1 - SS_{ESS}) \quad (7.5)$$

Onde:

$t$  = Tempo em anos. Este é o tempo instantâneo em que a taxa de falhas pode ser avaliada. Se a taxa média de falhas para um período de tempo determinado é desejada, esta expressão deve ser integrada e dividido pelo período de tempo.

$SS_{ESS}$  = Triagem da resistência aplicada no ecrã se houver.

$\pi_E$  = Fator ambiental, descrito pela equação 7.6.

$$\pi_E = \frac{0,855 \left( 0,8(1 - e^{-0,065(\Delta T + 0,6)^{0,6}}) + 0,2(1 - e^{(-0,046G^{1,71})}) \right)}{1,77} \quad (7.6)$$

Onde:

$\Delta T$  = é a alteração na temperatura de operação e entre períodos não-operacionais ( $T_{AO} - T_{AE}$ ).

$G$  = é a magnitude da vibração aleatória enquanto o sistema está operando, em  $G_{RMS}$ .

$\pi_G$  = Fator crescimento de confiabilidade, expresso pela equação 7.7.

$$\pi_G = \frac{1,12(t + 2)^{-\alpha}}{2^{-\alpha}} \quad (7.7)$$

Onde:

$\alpha$  é a constante de crescimento, que é igual a  $R_i$  para processos de crescimento da confiabilidade.

$R_i$  é a avaliação do processo de crescimento com base nos critérios mencionados em tabelas estabelecidas em 217Plus™ (2006) e expressa pela equação 7.4.

A modelagem matemática da 217Plus™, assim como a MIL HDBK 217 possui uma equação específica para o cálculo da taxa de falhas de acordo com cada componente, por exemplo a modelagem para resistores é descrita pela equação 7.8.

$$\lambda_P = \pi_G(\lambda_{OB}\pi_{DCO}\pi_{TO}\pi_P + \lambda_{EB}\pi_{DCN}\pi_{TE} + \lambda_{TCB}\pi_{CR}\pi_{DT}) + \lambda_{SJB}\pi_{SJD} + \lambda_{IND} \quad (7.8)$$

Onde:

$\lambda_P$  = Taxa de falha predita, falhas por milhão de horas calendário

$\pi_G$  = Fator multiplicativo relacionado ao crescimento da confiabilidade

$\lambda_{OB}$  = Taxa básica de falhas no modo de operação

$\pi_{DCO}$  = Fator da taxa de falhas para ciclo de trabalho, operacional

$\pi_{TO}$  = Fator da taxa de falhas para temperatura, operacional.

$\pi_P$  = Fator relacionado a potência nominal do resistor.

$\lambda_{EB}$  = Taxa básica de falhas relacionada ao ambiente de operação.

$\pi_{DCN}$  = Fator relacionado ao ciclo de trabalho não operacional.

$\pi_{TE}$  = Fator relacionado a temperatura ambiental.

$\lambda_{TCB}$  = Taxa básica de falhas relacionada aos ciclos de temperatura

$\pi_{CR}$  = Fator relacionado a taxa de ciclagem.

$\pi_{DT}$  = Fator relacionado a variação de temperatura.

$\lambda_{SJB}$  = Taxa básica de falhas relacionada a juntas de solda

$\pi_{SJD T}$  = Fator relacionado a variação de temperatura das juntas de soltas.

A fim de explorar um pouco mais a modelagem matemática da 217Plus™, nos tópicos abaixo será apresentado melhor cada fator de correção e constantes globais utilizados nesse manual e declaradas na figura 7.3. Onde declara a análise do sistema em projeção com o auxílio de dados do sistemas antecessor.

### **7.2.1. O Fator $\lambda_{IA, predecessor}$**

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

### **7.2.2. O Fator $\lambda_{observed, predecessor}$**

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

### 7.2.3. Dados Opcionais

Segundo 217Plus™ (2006), dados opcionais são usados para refinar a taxa de falhas predita, adicionando dados detalhados referentes ao ambiente de stress, fatores de perfil de operação e graus de processos. A 217Plus™ tem valores predefinidos para ambiente de estresse 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 no lugar dos valores predefinidos referidos anteriormente.

A aplicação dos graus de processos também é opcional, ao passo que o usuário tem a opção de avaliar os processos específicos usados no desenvolvimento e na manutenção do sistema. Se o grau de processo não for usado, os valores pré definidos são fornecidos para cada processo (causa da falha), deste modo o usuário pode avaliar qualquer parte ou todo o processo. (217PLUS™, 2006)

### 7.2.4. O Fator $\lambda_{\text{predicted, predecessor}}$

O  $\lambda_{\text{predicted, predecessor}}$  representa a taxa de falhas predita para o sistema antecessor depois da combinação da avaliação inicial com os dados opcionais, se forem utilizados. (217PLUS™, 2006)

### 7.2.5. O Fator $\lambda_{\text{IA, new}}$

O fator  $\lambda_{\text{IA, new}}$  representa a avaliação inicial do novo sistema. Esta é a soma da predição da taxa de falhas dos componentes e utiliza os modelos de taxas de falhas dos componentes da 217Plus™, dados do banco de dado da RIAC e outros dados que podem estar disponíveis para o analista. (217PLUS™, 2006)

A predição da confiabilidade realizada de acordo com esse método é o nível mínimo de análise que resultará num valor de confiabilidade predita. Ao aplicar os dados opcionais é possível refinar ainda mais esse valor. (217PLUS™, 2006; NICHOLLS, 2006)

#### 7.2.6. O Fator $\lambda_{\text{predicted, new}}$

$\lambda_{\text{predicted, new}}$  é a taxa de falhas 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  $\lambda_{\text{IA new}}$ . (217PLUS™, 2006)

#### 7.2.7. O Fator $\lambda_1$

Segundo 217Plus™ (2006) a taxa de falhas do novo sistema após a combinação com a informação do item anterior (previsto e dados observados) é representada por  $\lambda_1$ . A equação 7.9 que conduz a taxa de falhas do sistema antecedente para o novo é a seguinte:

$$\lambda_1 = \lambda_{\text{predicted, new}} \cdot \frac{\lambda_{\text{observed, predecessor}}}{\lambda_{\text{predicted, predecessor}}} \quad (7.9)$$

Os valores de  $\lambda_{\text{predicted, new}}$  e  $\lambda_{\text{predicted, predecessor}}$  são obtidos usando os procedimentos de predição 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 predito e observado. Esta

relação meramente leva em conta as diferenças entre os sistemas que são contabilizados na metodologia de predição de confiabilidade dos componentes. (217Plus™, 2006; NICHOLLS, 2006)

Essa metodologia pode ser usada quando o novo sistema é uma extensão evolutiva do projeto antecessor. Se forem usados processos semelhantes para projetar e fabricar um novo sistema, e é utilizado o mesmo processo de predição de confiabilidade e os mesmos dados e então, existem todos os motivos para acreditar que a razão entre o predito e o observado do novo sistema será semelhante ao observado no sistema antecessor. (217PLUS™, 2006; NICHOLLS, 2006)

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

#### **7.2.8. O Fator $a_i$**

Esse fator  $a_i$  representa o número de falhas para o  $i$ -ésimo conjunto de dados para o novo sistema. (217PLUS™, 2006; NICHOLLS, 2006)

#### **7.2.9. O Fator $b_i$**

Fator  $b_i$  é o número total de horas de operação para o  $i$ -ésimo conjunto de dados para o novo sistema. (217PLUS™, 2006; NICHOLLS, 2006)

### 7.2.10. O Fator $AF_i$

Segundo 217Plus™ (2006), este é o fator de aceleração entre as condições de teste ou dados de campo no novo sistema e as condições em que a taxa de falha predita é desejada. Se os dados são de aplicações no campo no mesmo ambiente para o qual é desejada a predição, o valor de  $AF_i$  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  $AF_i$  deve ser determinado. Se as tensões aplicadas são mais elevadas do que o ambiente de utilização de campo do novo sistema,  $AF_i$  será um valor maior do que um. O fator de aceleração pode ser determinado através da realização de uma predição de confiabilidade, para as condições de teste e uso, se o modelo de predição de confiabilidade for capaz de discernir os efeitos de stress (tensão) aceleração do teste. Como por exemplo, considere um teste de vida em que um sistema foi exposto a uma temperatura mais elevada do que aquela que seria exposta em condições de campo. Neste caso, a  $AF$  pode ser calculada por meio da equação 7.10:

$$AF = \frac{\lambda_{T1}}{\lambda_{T2}} \quad (7.10)$$

Onde:

$\lambda_{T1}$  – taxa de falhas predita sob as condições de teste obtida por meio da predição do sistema sob essas condições. por meio da predição do sistema sob essas condições.

### 7.2.11. O Fator $b_i'$

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

$$b_i' = b_i \cdot AF_i \quad (7.11)$$

### 7.2.12. O Fator $a_0$

Esse é o número efetivo de falhas associado à taxa de falhas predita. Caso seja um fator desconhecido, utilizar o valor numérico 0,5. No caso em que os dados preditos e observados forem disponíveis dos sistemas antecessores este valor poderá ser inadequado. Em um evento predito e observado, onde os dados do sistema anterior são suficientes, esse valor pode ser adaptado. (217PLUS™, 2006; NICHOLLS, 2006)

### 7.2.13. O Fator $\lambda_2$

O fator  $\lambda_2$  é a melhor estimativa da taxa de falhas do novo sistema, pois esse fator é estimado depois de utilizar todas as informações e dados disponíveis. Para a estimativa desse fator deve ser utilizado o máximo possível de dados empíricos. Essa estimativa é realizada matematicamente, a partir das técnicas Bayesianas, combinando  $\lambda_1$  com os dados empíricos. Se os dados empíricos

(dados de teste ou campo) estão disponíveis para o sistema em análise, é feita a combinação com  $\lambda_1$  com base na equação 7.12.

$$\lambda_2 = \frac{a_0 + \sum_{i=0}^n a_i}{\frac{a_0}{\lambda_1} + \sum_{i=0}^n b_i'} \quad (7.12)$$

$\lambda_2$  é a melhor estimativa da taxa de falhas do novo sistema,  $a_0$  é o número “equivalente” de falhas da distribuição correspondente antes da predição da confiabilidade. Para esse cálculo 0,5 pode ser utilizado, a menos que um valor adaptado possa ser derivado a partir de predições e observações de uma base de dados satisfatória. O valor  $a_0/\lambda_1$  é o número equivalente de horas associado a  $\lambda_1$  e  $a_1$  a  $a_n$  que é o número de falhas experimentado em cada fonte de dados empíricos. Poderia ser “n” fontes de dados disponíveis (para cada origem “n” corresponde a um dado individual de campo ou teste de uma população de itens). O valor de  $b_1'$  a  $b_n'$ , é o número total equivalente de operações para cada fonte de dado individual.

#### **7.2.14. A Adequação da Constante Baysiana $a_0$ na Equação de $\lambda_2$**

De acordo com 217Plus™ (2006) e Nicholls (2006), o valor de  $a_0$  na equação 7.5 é proporcional ao grau de ponderação dado ao valor predito  $\lambda_1$ . A constante  $a_0$  é escolhida de tal forma que a incerteza na estimativa da taxa de falhas, calculada com a distribuição Qui-Quadrado, iguale a incerteza observada. O valor predefinido  $a_0=0,5$ , pode ser usado na equação se estiver baseado na relação predito/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 217Plus™ tiver 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 usuário típico da 217Plus™ 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:

$$\frac{\lambda_{observed,predecessor}}{\lambda_{predicted,predecessor}} \quad (7.13)$$

Resumindo 217Plus™ (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 das taxas de falhas 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 falhas 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  $a_0$ . A Figura 7.4 ilustra uma análise de  $a_0$ .

Como pode ser vista a partir da Figura 7.4, a incerteza observada não coincide precisamente com a incerteza calculada da distribuição qui-quadrado para

qualquer uma, duas ou três falhas usados nessa análise. Isto ocorre provavelmente devido ao fato da população de itens que a análise se baseia não é homogênea, como se assume pelo cálculo do qui-quadrado. No entanto, os níveis de confiança de interesse estão geralmente na faixa de 60 a 90 por cento. Nesta faixa, a incerteza calculada pelo Qui-quadrado com duas falhas é a que mais se aproxima da incerteza observada.

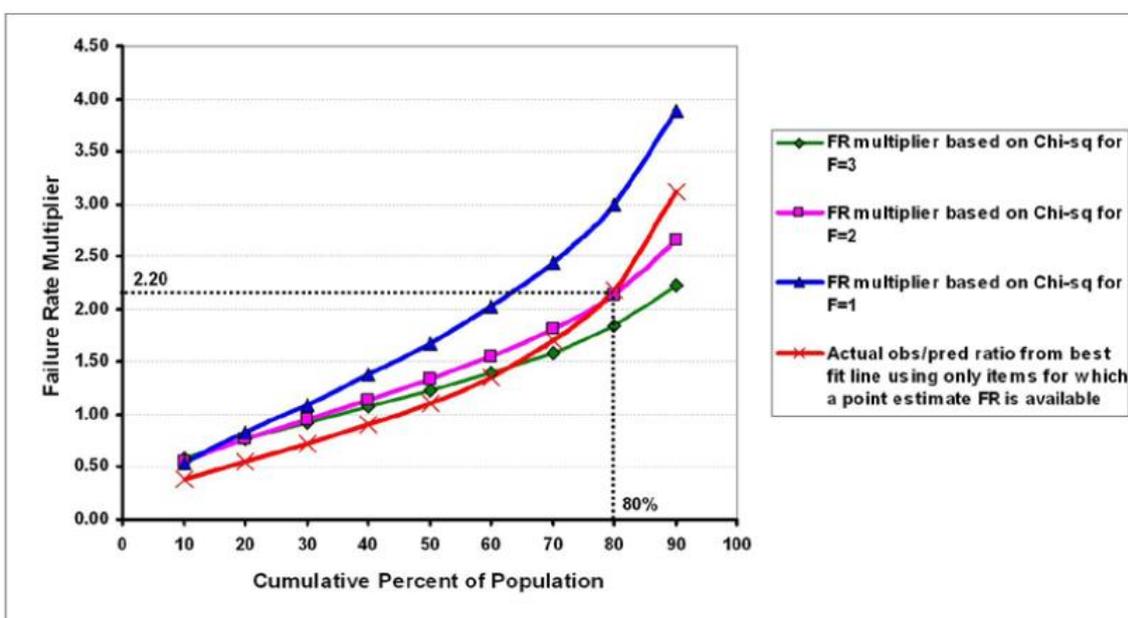


Figura 7.4 - Comparação da incerteza observada com a incerteza calculada usando a distribuição qui-quadrado.  
 Fonte: Adaptado de 217Plus™ (2006)

### 7.2.15. Constantes Globais

Muitas das variáveis são comuns a todos os modelos de componentes na 217Plus™, esses valores são conhecidos como constantes globais e são os 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 Ciclagem (o número de ciclos de potência por ano em que o sistema é exposto).
- $RH$  = Umidade relativa.

### 7.3. Comentários Sobre os Níveis de Qualidade dos Componentes

O nível de qualidade sempre foi usado como uma variável primária que afeta a taxa de falhas predita de um componente. O nível de qualidade é classificado em categorias definidas por especificações militares aplicáveis.

Segundo 217Plus™ (2006) um dos problemas que os desenvolvedores da MIL HDBK 217 encontraram ao desenvolver esse modelo foi o de de-convolução nos efeitos da qualidade e ambiente. Por exemplo, a análise de regressão linear múltipla dos dados de campo da taxa de falhas era geralmente usado para quantificar as variáveis do modelo em função das variáveis independentes, tais como qualidade e meio ambiente. Uma suposição básica de tais técnicas é que as variáveis são estatisticamente independentes uma das outras. Porém, na realidade, uma vez que elas não são, os componentes

de qualidade “superiores” são geralmente utilizados em ambientes severos e os componentes de qualidade comercial são usados em ambientes mais benignos. Esta correlação torna difícil distinguir os efeitos de cada uma das variáveis individualmente. Além disso, existem diversos atributos agrupados no fator de qualidade, incluindo a qualificação, certificação de processos, seleção, e sistemas da qualidade.

A abordagem utilizada na metodologia 217Plus™ para quantificar os efeitos de qualidade da peça é tratá-la como uma das causas da falha para que o grau do processo seja determinado. Assim questões relacionadas com a qualificação, o processo de sistemas de certificação, seleção e qualidade são tratados individualmente. Importante lembrar que todos os modelos de confiabilidade existentes fazem a suposição implícita que as peças são usadas dentro de suas classificações. (217PLUS™, 2006)

## **8. COMPARAÇÃO ENTRE MIL-HDBK-217 E 217PLUSTM**

Este capítulo contempla, de forma adicional, uma comparação entre a versão MIL-HDBK-217 e 217Plus™, porém esta ocorre de forma superficial, sem muitos aprofundamentos. Tem por base elementos bibliográficos.

### **8.1. MIL-HDBK-217 Versus 217PLUS™**

Em comparação com as famílias de componentes abrangidos pelo manual de confiabilidade MIL-HDBK-217, o manual 217Plus™ não introduz componentes adicionais. O manual 217Plus™ foi elaborado em 2006, a fim de responder aos problemas de obsolescência do manual de confiabilidade MIL-HDBK-217, que já não mantém atualizações de dados e considerações desde a publicação da versão MIL-HDBK-217F Notice 2, em 1995.

Uma das diferenças básicas entre MIL-HDBK-217 e o manual 217Plus™ são os componentes que não são modelados em 217Plus™, são eles:

- Tubes,
- Lasers,
- Filter,
- Rotating devices (motors, resolvers...),
- Meters (voltmeter, amperemeter...),
- Lamps.

A Tabela 8.1 apresenta uma comparação qualitativa, genérica entre os manuais MIL HDBK 217 e o manual 217Plus™.

Tabela 8.1 - Comparação qualitativa entre os manuais MIL HDBK 217 e o manual 217Plus.

Considerações	MIL HDBK 217				217Plus
	E	F	F Notice 1	F Notice 2	
Data liberação	1982	1991	1992	1995	2006
Emitida	RAC				RIAC
Princípio da Construção	Estatística sobre feedback operacional				Empírico
Falhas Modeladas	Intrínseco				Processos intrínsecos e concepção / produção
Unidade da Modelagem	Falhas por hora de operação				Falhas por hora calendário
Fórmula Matemática	$\lambda = \lambda_{ref} * \pi_s * \pi_Q * \pi_E$ - fatores sofrem variação dependendo dos componentes				$\lambda = \lambda_{operação} + \lambda_{ambiente} + \lambda_{cicl} + \lambda_{solda}$
Métodos	"Parts Count" e "Parts Stress"				
Ambiente de modelagem	Categorias de ambiente				Parametrizado
Parâmetros excluídos	***				Estresses relacionados a agressões químicas
Parâmetros genéricos (Parts Count)	Tecnologia do componente				
	Categoria de ambiente				
Parâmetros genéricos (Parts Stress)	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Tecnologia do componente;</li> <li>• Stress Térmico e Elétrico;</li> <li>• Meio ambiente;</li> <li>• Qualidade.</li> </ul>				<ul style="list-style-type: none"> <li>• Tecnologia do componente;</li> <li>• Stress Térmico e Elétrico.</li> <li>• Ambiente Anual (Ciclos térmicos, temperatura ambiente, fase de operação, umidade, nível de vibração).</li> </ul>
Observações	*****				Considera o sistema a ser projetado como um sistema aprimorado de um projeto antigo. A taxa de falhas do sistema atual pode ser melhorada com dados e taxas do antecessor.
	Nenhuma consideração explícita das fases não operacionais				Considera as falhas externas relacionadas com o projeto ou com a fabricação
	Solda não são integradas na taxa de falhas do componente (cálculo em separado)				Considera um crescimento da confiabilidade com o tempo (fator de crescimento)

De acordo com Risk Management Institute (2009), a norma MIL-HDBK-217 calcula as taxas de falha para horas de operação em um determinado ambiente enquanto que 217Plus™ calcula a taxa de falhas média por calendário, para um ano típico de uso. A taxa média de falhas por calendário hora corresponde à taxa de falhas de falhas de ano típico, dividido pelo número de horas de operação em um ano (1/8760). Assim, esta taxa de falhas é representativa do ano completo e leva em conta qualquer fase da vida. Esta diferença pode causar erros importantes e confusões no uso dos resultados fornecidos pelos manuais. Assim, é aconselhável grande atenção para a unidade em que a taxa de falhas é dada, a fim de evitar estes erros.

Risk Management Institute (2009) apresenta uma análise comparativa das taxas de falhas de vários manuais para o mesmo equipamento em vários ambientes. No entanto, aqui restringimos apenas para as duas normas de interesse. O equipamento utilizado para a comparação é de um projeto composto de uma unidade de processamento digital associado a interfaces digitais e analógicas.

A Figura 8.1 apresenta as taxas de falha de um equipamento modelado por cada manual de acordo com vários ambientes. Salientando que a taxa de falhas do equipamento está em calendário horas de operação e não em falhas por horas de operação. Isso justifica o fato da taxa de falhas em ambiente extremo como aeronave de caça ter taxa de falhas inferior a aeronave civil, devido a baixa e alta utilização.

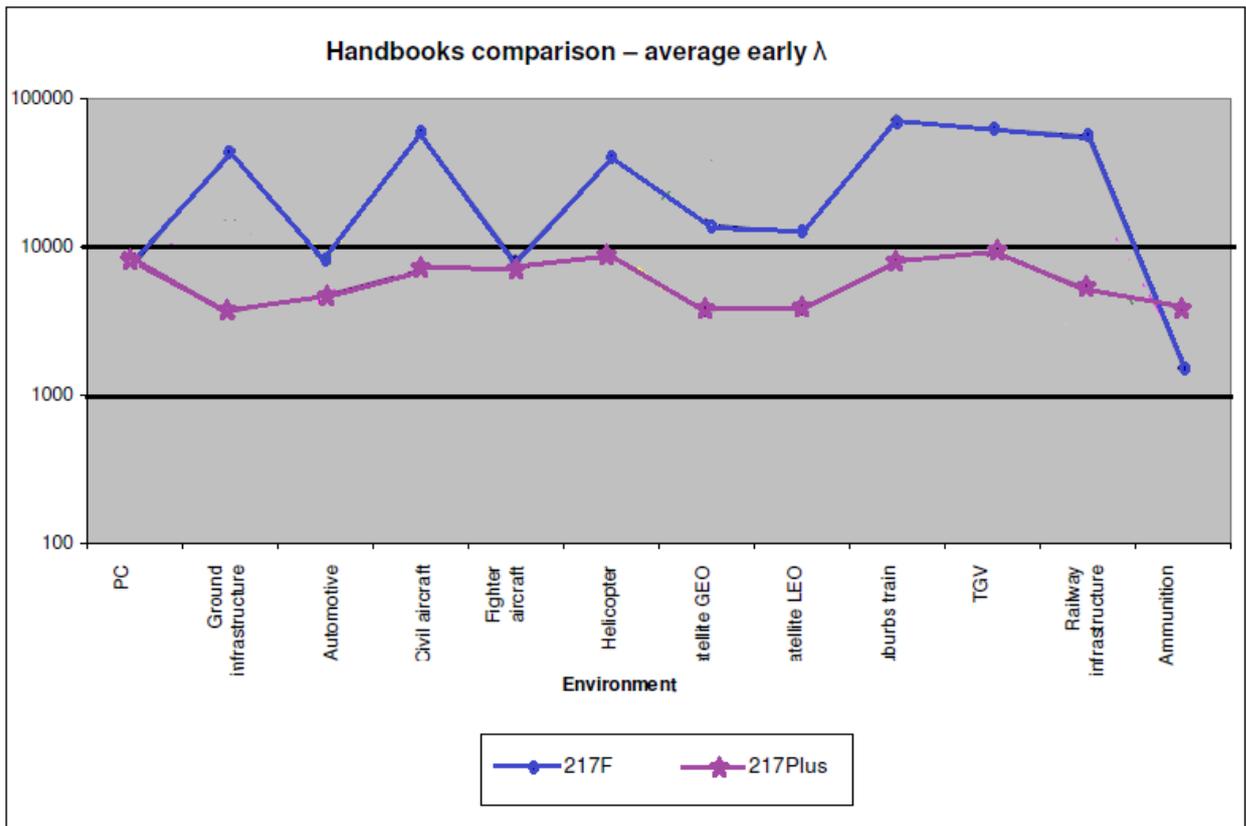


Figura 8.1 - Taxa de falhas do equipamento em vários ambientes  
 Fonte: Adaptação de Risk Management Institute (2009)

A Figura 8.1, mostra que o manual 217Plus™ fornece menores taxas de falhas para a maioria dos ambientes. Embora não tenhamos dados suficientes para melhorar a discussão ou levantar condições para essa comparação, pode-se deduzir que 217Plus™ possui valores de taxas de falhas melhores devido a possibilidade de incluir dados estatísticos de projetos anteriores já realizados, podendo assim melhorar/ trabalhar a taxa de falhas do projeto atual.

Risk Management Institute (2009) faz um alerta indicando que esta comparação corresponde a um caso geral de equipamento digital/analógico composto de 2.008 tecnologias atuais. No caso de equipamentos que utilizam novas tecnologias, ou para os quais alguns tipos de componentes são largamente predominantes, estes dados não são aplicáveis.

Segundo Risk Management Institute (2009), no caso de ambientes definidos por categoria ( $\pi E$ ), encontrados na MIL-HDBK-217, é possível agir sobre a caracterização das tensões, exceto para as restrições térmicas. É por isso que é necessário validar a sua semelhança com o ambiente real de utilização. No entanto, ambientes definidos por categoria apresentam a vantagem de facilitar aplicação. Já os ambientes parametrizados, caso da 217Plus™, apresentam a vantagem de serem capazes de modular ou até mesmo remover a influência de estresse de cada um individualmente. Os ambientes em que os parâmetros podem ser definidos também apresentam a vantagem de modelar os ciclos térmicos que representam uma significativa aceleração de falha.

Ao avaliar as considerações acima, pode-se recomendar MIL-HDBK-217 em casos que o ambiente de operação é bem definido, não necessitando de novas modelagens, mas quando se tem o oposto, o manual 217Plus™ é recomendado. (RISK MANAGEMENT INSTITUTE, 2009)

A Tabela 8.2 apresenta os estresses considerados na modelagem dos ambientes pelas duas normas.

Tabela 8.2 – Condições de estresses considerados por 217Plus™ e MIL-HDBK-217

<b>Restrições</b>	<b>MIL HDBK 217</b>	<b>217Plus™</b>
Estresse Térmico	X	x
Categoria de ambiente ( $\pi E$ )	X	
Tensão/Estresse Cíclico Térmico		x
Estresse Mecânico		x
Estresse termoquímico		x
Estresse induzido		x

Risk Management Institute (2009), faz uma análise relacionada ao nível de dificuldade para aprendizagem das metodologias dos dois manuais. Considerando o tempo necessário para a compreensão e utilização, para isso

avalia três tópicos e relaciona na Tabela 8.3 o nível de dificuldade em três níveis, como fácil, intermediário e difícil:

- As metodologias de avaliação proposto pelo manual
- As estruturas matemáticas dos modelos
- O princípio da utilização

Tabela 8.3 - Nível de dificuldade de aprendizagem dos manuais.

	<b>MIL-HDBK-217</b>	<b>217Plus™</b>
<b>Metodologias</b>	Fácil	Intermediário
<b>Perfil da missão</b>	Fácil	Intermediário
<b>Modelagem matemática</b>	Fácil	Intermediário
<b>Parâmetros Tecnológicos</b>	Intermediário	Fácil
<b>Qualidade do componente</b>	Fácil	Intermediário
<b>Processo</b>		Intermediário

Fonte: Adaptação de Risk Management Institute (2009)

Todos os manuais são modelados com ferramentas que facilitam a sua implementação. A sua utilidade em comparação com as suas funcionalidades e os seus limites são variáveis, de acordo com a utilização. Assim, não é possível conseguir uma avaliação genérica e geral a respeito das funcionalidades dos manuais. Aconselhável para cada usuário fazer a sua própria avaliação de acordo com suas necessidades.

## **9. A FUTURA ATUALIZAÇÃO DA NORMA MIL-HDBK-217**

Este capítulo destina-se a apresentar o levantamento de informações a respeito de uma atualização para a norma MIL-HDBK-217, denominada por versão G. Uma atualização que promete muitas alterações, entre elas atualização do banco de dados e implementação de mecanismos de falha física.

### **9.1 Atualização da Versão MIL-HDBK -217 F Notice 2 para MIL-HDBK G**

A norma MIL-HDBK-217, não é atualizada desde 1995, tornando-se obsoleta e incapaz de modelar vários eletrônicos atuais. Ela também é limitada em sua capacidade de fornecer informações sobre os mecanismos de falha física. Apesar de suas limitações, ainda é considerada como uma referência mundial e continua a ser amplamente utilizada na indústria, existindo muito interesse em sua revisão. (Bechtold, 2011 e IMdE, 2009).

Bechtold (2012) mostra por meio da Figura 9.1 que a MIL-HDBK-217 está entre os padrões mais utilizados para predição de confiabilidade e as organizações desejam continuar a utilizar essa norma, aí entra a necessidade atualização.

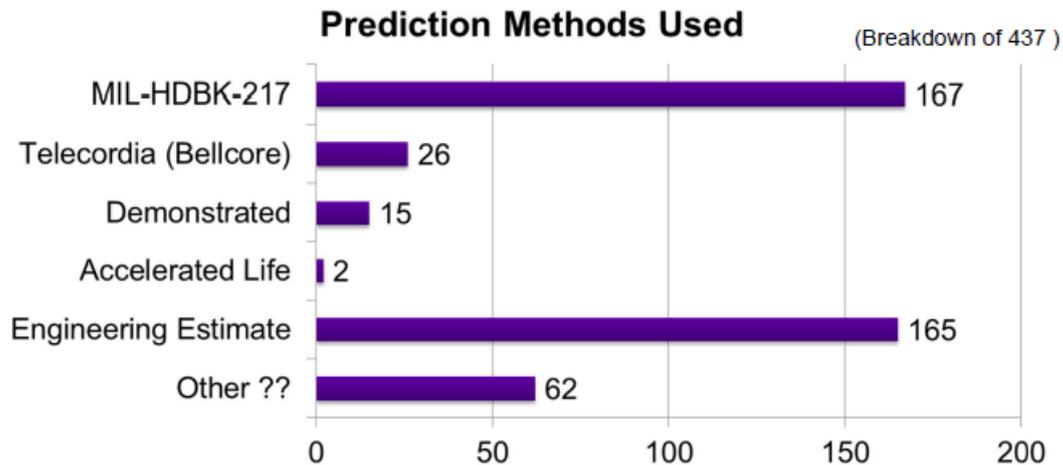


Figura 9.1 – Mostra os principais métodos de predição de confiabilidade utilizados.  
 Fonte: BECHTOLD (2012)

McLeish (2010) diz que essa atualização da MIL-HDBK-217 não intenciona produzir uma nova abordagem de predição de confiabilidade, os modelos atuais permaneceriam intactos. A nova versão tem por principal objetivo, a atualização dos dados para tecnologias de componentes eletrônicos.

O processo de revisão continua com a mesma tentativa de desenvolver uma ferramenta de predição 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. (MCLEISH, 2010)

De acordo com Gullo (2008), a IEEE-RS-SC (*Reliability Society Standards Committee*) está contribuindo para o desenvolvimento de outras normas fora da IEEE, como a atualização da MIL-HDBK-217, que é patrocinado pelo DSPO (*Defense Standardization Program Office*). O DSPO está financiando a NSWC (*Naval Surface Warfare Center*) que conduz uma pesquisa em todo o governo e a indústria para colaborar com a atualização de MIL HDBK-217. 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 almejavam uma

finalização em 2007. O objetivo desse estudo é determinar quais são as ferramentas utilizadas pela indústria para gerar dados de MTBF.

Segundo Bechtold (2011), em 2004, NSWC propôs a formação de um grupo de trabalho em termos de confiabilidade, o VITA (VMEbus International Trade Association), que conduziu a pesquisa mencionada. Este grupo de trabalho, VITA 51, é composto por representantes da indústria, com membros da Boeing, Northrop Grumman, a Honeywell, Curtiss-Wright Controls, a Foxconn, a GE Fanuc, e o DoD. Eles trabalham em estreita colaboração com NSWC para desenvolver as revisões e atualizações para métodos de predição de confiabilidade, com base em um consenso de participantes da indústria.

Em 2008, sob a liderança de NSWC foi criado um grupo de trabalho para representar o governo e a indústria para realizar esta revisão de MIL-HDBK-217F (Notice 2), a revisão G. Isso aconteceu quase ao mesmo tempo que a pesquisa realizada pelo VITA 51,1 foi concluída. Os membros deste grupo de trabalho: “o Grupo de Trabalho de Revisão MIL-HDBK-217” foi nomeado como 217WG e os dados recolhidos pelo VITA 51 foi reutilizado por NSWC para continuar o esforço de atualização. (GULLO, 2008 e GIPPER, 2012)

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.

A IEEE-RS (*IEEE Reliability Society*) apoiou o 217WG com uma comunidade virtual privada on-line (ASSIST), fornecendo capacidade de compartilhamento de dados para o grupo de trabalho 217 (217WG) usando o IEEE 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)

Gullo, (2008) afirma que a IEEE-RS-SC também está pressionando para obter uma citação do padrão IEEE 1413 (Metodologia Padrão para Predição de Confiabilidade e Avaliação de Sistemas e Equipamentos) na nova versão do MIL-HDBK-217, e aumentar o alcance das previsões de confiabilidade deste manual, incluindo todas as causas de sistemas/falhas de produtos além de falhas de peças/componentes e de interconexão.

Em 8 de maio de 2008, de acordo com Gullo, (2008), foi realizada a primeira reunião 217WG face-a-face, Indianapolis, IN, patrocinado pelo NSWC. Importantes membros da comissão, entre eles o Presidente do 217WG, apresentaram uma agenda de reunião, que delineou os temas e a periodicidade das reuniões. A reunião apresentou uma considerável quantidade de discussões em várias áreas temáticas. Durante esta reunião, foi decidido que o projeto seria dividido em duas fases.

## **9.2 Fase I e II da Atualização**

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™ e 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 segunda fase inclui a análise de dados de teste e campo, para derivar novos modelos de taxa de falhas. 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)

Em novembro de 2008, de acordo com informações de Gullo (2008), ocorreu uma segunda reunião do grupo 217WG, com dezessete membros presentes, declarados na Tabela 9.1. Nessa reunião foi discutido muitos assuntos, entre eles sobre os novos tipos de microcircuitos, foi discutido a utilização do modelo para desgaste e as metodologias empregadas. E ainda sobre uma comparação de modelos entre Telecordia, MIL-HDBK-217F N2 e modelos de predição RIAC, feita por Doug Loescher. Ele encontrou 3 ordens de magnitude diferença, e expressou preocupações com isso na atualização Rev. G. Um outro tópico de suma importância discutido nessa reunião são as Interconexões e Conexões discutido por Larry Mosher. Ele tem mais de 1 milhão de horas de dados com análise de falhas de juntas de solda. A divulgação desses dados para o 217WG está pendente de aprovação legal.

Os nomes citados na tabela 9.1, membros do grupo 217WG e participantes das reuniões para a atualização da MIL HDBK 217, são na sua maioria os autores das informações levantadas e declaradas neste trabalho.

Tabela 9.1- Participantes da segunda reunião do grupo 217WG.

	<b>Nome</b>	<b>Companhia</b>
1	Lori Bechtold	Boeing
2	Jim Garten	DAS
3	Louis Gullo	Raytheon
4	Jeffrey Harms	NSWC Crane
5	David H Johnson	AFRL/RXSA
6	Douglas Loescher	Sandia National Lab
7	Jim McLeish	DfR Solutions
8	Larry Mosher	Eaton Areospace
9	David Nicholls	RiAC
10	Dan Quearry	NSWC Crane
11	Joe Rodenbeck	DLA
12	Gerry Thomas	NSWC Crane
13	Jack Thompson	WPAFB
14	Bahig Tawfellos	Honeywell Aerospace
15	Bill Allen	LMSI
16	Dan Jacob	RELEX
17	Bob Ricco	Northrop Grumman

Fonte: Gullo (2008)

A tabela 9.1 mostra os membros do grupo de trabalho 217 WG e as companhias envolvidas no processo de atualização. Os nomes declarados na tabela 9.1 são os membros que se voluntariaram para trabalhar a maioria das seções no processo de atualização da MIL HDBK 217. Uma vez que existem várias seções que não possuem ligações atribuídas, uma discussão ocorreu sobre como lidar melhor com seções não atribuídas. Também houve discussão sobre as novas seções de peças, atualmente não cobertos em 217F (notice 2).

#### **MIL-HDBK-217 – seções atribuídas**

- **Sections 1-4** - NSWC Crane
- **Section 5 (Microcircuits)** - Tyrone Jackson
- **Section 6 (Discretes)** - Chandru Michandani
- **Section 9 (Resistors)** - Jim Garten
- **Section 10 (Capacitors)** - Bahig Tawfellos
- **Section 11 (Inductors)** - Doug Loescher
- **Section 13 (Relays)** - Rich Yannitti
- **Section 14 (Switches)** - Rich Yannitti
- **Section 15 (Connectors)** - Bill Allen
- **Section 16 (Interconnection Assy)** - Larry Mosher
- **Section 17 (Connections)** - Larry Mosher
- **Section 21 (Filters)** - Jack Thompson
- **Appendix B** - Jim McLeish

#### **MIL-HDBK-217 – seções não atribuídas**

- Section 7 (Tubes)
- Section 8 (Lasers)
- Section 12 (Rotating Devices)
- Section 18 (Meters)
- Section 19 (Quartz Crystals)
- Section 20 (Lamps)
- Section 22 (Fuses)
- Section 23 (Misc. Parts)

### **9.3 Estado Atual da Atualização MIL-HDBK-217 G**

Segundo Gipper (2012), uma suposta versão para a atualização, o que chamaram de projeto para MIL-HDBK-217G, foi concluída em 2010 e liberado para análise pública, mas foi rapidamente recolhida devido a discussões internas no DoD que levantaram pendências sobre a política de confiabilidade. Em 21 de março de 2011, o subsecretário de Defesa para Aquisição, Tecnologia e Logística emitiu um memorando, "Directive-Type Memorandum (DTM) 11-003 – Reliability Analysis, Planning, Tracking, and Reporting", afirmando o desejo de melhorar imediatamente a confiabilidade do processo de aquisição e de melhorar a eficiência. Em outubro de 2011, o DoD mostrou um novo interesse pela revisão de MIL-HDBK-217, especialmente para incluir o uso de Física da Falha. O memorando expirou no final de 2012 e até o momento sem novas informações.



## 10 RECOMENDAÇÕES PARA MELHORIA DE PROCESSOS DO INPE

Para os processos de confiabilidade de equipamentos eletrônicos espaciais é de extrema importância conhecer a evolução dos manuais, assim como identificar os pontos mais assertivos para o processo, pois isso gera uma melhoria no processo de análise e aplicação.

É possível afirmar de forma geral que a versão mais atual, a versão F NOTICE 2 passou a considerar um número maior de informações técnicas na composição de fatores de correção, tornando assim mais assertiva que as demais versões para alguns componentes, como por exemplo, resistores e capacitores, mas para alguns outros componentes como os conectores é aconselhável avaliar a aplicação para mais de uma versão.

Conector é um componente com alta complexidade, e a mudança de metodologia entre as versões produziu grandes impactos nas taxas de falhas dos componentes e, consequentemente na confiabilidade de um suposto sistema. Isso sugere uma análise mais detalhada para maiores e melhores conclusões. Como ainda não existe uma análise particularizada sobre esses componentes, é aconselhável mesclar o cálculo da taxa de falhas com as duas versões (F/N1 com N2) a critério de comparações, objetivando o levantamento de algumas informações que podem ser utilizadas mais adiante.

Muitas críticas são encontradas a respeito da MIL HDBK 217, como por exemplo que não é atualizada há anos, tornando-se obsoleta e incapaz de modelar vários eletrônicos atuais. Possui limitações em fornecer informações sobre os mecanismos de falha física. E alguns ainda sugerem a desativação da norma.

Mas, apesar disso tudo, algumas fontes como Bechtold (2011) e IMdE (2009) afirmam que MIL HDBK 217 ainda é considerada como uma referência mundial e continua a ser amplamente utilizada na indústria.

O que poderíamos dizer? A norma 217Plus™ foi lançada em 2005 e cogitada como uma substituta para a MIL HDBK 217, porém com sua modelagem diferenciada, era necessário um esforço de aprendizagem e talvez uma mudança nos processos para então incorporar informações adicionais, que antes não eram cogitadas.

O que nos remete a seguinte frase: “Nós odiamos mudanças e amamos ao mesmo tempo, o que realmente queremos é que tudo continue como está... mas que melhore...” (autor desconhecido)

As organizações que utilizam a MIL HDBK 217 querem continuar a utilizá-la, no entanto esperam uma atualização que adapte com a realidade tecnológica. A versão G, está para ser lançada e todos assim almejam, no entanto a mesma trará mudanças significativas na modelagem da taxa de falhas. É difícil acreditar que teremos um método comum e consistente para estimar a confiabilidade de um projeto maduro durante a aquisição com incorporação de falhas físicas sem mudanças na modelagem. E se essa versão vai adotar modelos que são utilizados por outros padrões como a 217Plus™ e a PRISM®, é bom que todos estejam preparados. E para um bom início e preparo sugiro ao INPE a adoção, ou pelo menos iniciar com uma aprendizagem com a utilização da 217Plus™, para que a aceitação das mudanças seja de forma cautelosa e paulatina.

## 11 CONCLUSÃO

*"All Models are Wrong - Some are Useful."*

George E. P. Box

### 11.1 Conclusões Gerais

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: as normas. A MIL HDBK 217 é o reflexo dessa experiência adquirida por organizações de grande porte a partir de dados e estudos. A mesma faz referência a muitas normas de especificações de componentes e outros padrões, como por exemplo, MIL STD 756, MIL STD 883, MIL STD 975, entre outras. Isso ressalta a grande gama de conhecimentos, análises e pesquisas implícitas no manual MIL HDBK 217.

A MIL-HDBK-217 é um manual que apresenta orientações e recomendações a respeito dos componentes e equipamentos eletrônicos, mas algumas das informações utilizadas para a análise fica a critério da interpretação do analista. Elementos na bibliografia como Astrolab (2003) e Rabello e Souza (2011) auxiliam quanto a utilização da norma em relação a muitos aspectos, como a interpretação de alguns fatores e a utilização da modelagem matemática. Isso ocorre porque ambos tratam de cálculo de taxas de falhas e apresentam informações, inclusive parte da modelagem realizada, fatores que auxiliaram no cálculo das taxas de falhas.

Analisando as alterações entre as versões F, N1 e N2, observa-se que a norma não se altera para semicondutores, mantendo a mesma modelagem e

interpretação de condições técnicas, com uma pequena exceção para diodos aplicados a “retificadores de potência de rápida recuperação”, anunciando uma mudança na taxa básica de falhas. Isso resulta em uma redução de 36,23 % na taxa de falhas da versão F/N1 para a versão N2. O que nos faz concluir que a norma apresenta uma abordagem sólida para semicondutores desde a versão F, e que talvez essa abordagem não sofra grandes alterações com a futura atualização G, mas incorpore a modernização tecnológica, para eliminar a obsolescência de componentes eletrônicos e a incorporação de outros. No entanto, o plano para a versão G, inclui muitos fatores.

De forma geral, todos os semicondutores são sensíveis a temperatura de junção, produzindo taxas de falhas crescentes de acordo com a elevação da temperatura. Alguns apresentam dependência da potência de dissipação, que é proporcional a temperatura, dependência da tensão de operação, que pode modificar o índice de estresse, alguns dependem também da frequência e muitos da aplicação e construção do componente.

A versão N2 possui especificações de níveis de qualidades mais refinados que as versões anteriores, possibilitando a utilização de componentes de maior qualidade. Com isso é possível obter valores para  $\pi_Q$  inferiores aos das versões F e N1. Para alguns componentes fica evidente o quanto esse fator colabora para a elevação da discrepância entre as versões, como por exemplo, para capacitores, resistores, entre outros componentes eletrônicos. Apesar da versão N2 estabelecer melhores níveis de qualidade em relação as outras versões, a indústria dispõe de alguns componentes com níveis ainda mais refinados que não são constituídos na versão N2, a versão não estabelece níveis atuais para alguns componentes, como por exemplo transistores e diodos.

O fator ambiental ( $\pi_E$ ), assim como o fator qualidade ( $\pi_Q$ ) exerce grande influência na taxa de falhas, todos os componentes têm taxas de falhas proporcionais a severidade do ambiente de operação. Com a atualização das

versões, esse fator sofreu com muitas mudanças para vários componentes. Generalizando, na maioria das vezes a norma MIL HDBK 217 F N2 preferiu ser mais conservadora em relação a esse fator, estabelecendo um acréscimo nos valores adotados anteriormente.

A tecnologia chip é abordada por todas as versões, no entanto a versão N2 aborda de forma mais ampla e completa. É a única que apresenta modelo de taxas de falha para resistor com essa tecnologia, e para capacitores apresenta mais de uma modelagem.

As alterações da norma entre as versões F, N1 e N2 foram mais significativas para os seguintes componentes: capacitores, resistores e conectores. As modificações não refletiram apenas na tecnologia, mas também na modelagem.

Em relação a conectores, a versão F, considera a temperatura e a qualidade do componente, mesmo não estabelecendo um fator específico para essa informação. A qualidade é considerada junto com o fator ambiental, e a temperatura é utilizada para compôr a taxa básica de falhas.

A versão F faz o uso de uma informação diferentes da N2, que é a consideração do tipo de material utilizado na fabricação do conector, instituindo quatro tipos de grupos de materiais diferentes e para cada grupo a norma estabelece uma função que depende da temperatura de operação. Essa informação é utilizada para compor a taxa básica de falhas, no entanto, conectores com configurações diferentes, mas do mesmo grupo de material e mesmo valor de temperatura máxima de operação podem ter a mesma taxa básica. Isso não acontece em N2, pois a taxa básica é tabelada de acordo com o tipo do conector.

A versão F e N1 consideram o número de pinos ativos de um conector, ou seja, quanto maior o número de pinos ativos, maior é a taxa de falhas, isso ocorre para todos os tipos de conectores analisados. A versão N2, não faz o uso

dessa informação, ocasionando em uma taxa fixa (nivelamento) para qualquer que seja o número de pinos ativos.

A não consideração do número de pinos ativos em N2, resultou em um nivelamento para os conectores analisados. Para o conector “*Rack and Panel*” incidiu em um nível de 90 pinos ativos. Isso pode ser prejudicial, pois ao calcular a taxa de falhas de um conector, nas mesmas condições aqui adotadas, com 10 ou 200 pinos ativos usando a versão N2 terá a mesma taxa de falhas de um conector com 90 pinos ativos. Para o conector “*Power*” esse nível é ainda maior, 175 pinos ativos. O conector do tipo “*Circular*” obteve um nível extremamente baixo, com 10 pinos ativos.

A norma 217Plus™ foi lançada com o objetivo de ser uma substituta para a MIL HDBK-217 e não foi tão bem aceita nas organizações. A MIL HDBK 217 aborda alguns componentes a mais que a 217Plus™ (Tubes, Lasers, Filter, Rotating devices (motors, resolvers...), Meters (voltmeter, amperemeter...) e Lamps).

A norma 217Plus™ verifica se existem informações sobre um sistema predecessor, de tal forma que o sistema atual seja uma melhoria do anterior e utiliza essas informações para melhorar a taxa de falhas do atual. Considera também que as falhas externas relacionadas com o projeto ou com a fabricação, são relevantes e colaboram nas alterações das taxas de falhas do sistema atual. Essas informações não são empregadas pela MIL HDBK-217. A MIL HDBK-217 tem por unidade taxas de falhas por horas de operação, já a unidade produzida por 217Plus™ é taxa de falhas por calendário horas.

Como a norma 217Plus™ não foi bem aceita como substituta da MIL HDBK 217, a nova e futura versão resultante do processo de atualização da MIL HDBK 217 pretende abordar muitos dos conceitos empregado em 217Plus™, incluindo todas as causas de sistemas e falhas do produto.

## 11.2 Principais Dificuldades ou Problemas

No decorrer deste trabalho foram encontrados várias dificuldades. Algumas delas serão destacadas.

Como a atualização da norma é um processo cauteloso e de grande sigilo, é muito difícil encontrar os motivos das mudanças encontradas nas versões. Sabemos que parte das modificações na modelagem é resultado de teste, análises cautelosas e considerações conservadoras. Isso dificulta e muitas vezes impossibilita a compreensão das alterações, que refletem diretamente na possibilidade de recomendar ou sugerir melhorias de processos de confiabilidade, seja nos processos do INPE ou de qualquer outra instituição.

Uma das dificuldades que merece destaque foi a de encontrar fichas técnicas de fabricantes, os *datasheets*, que fornecessem todas as informações necessárias e que fossem qualificados pelas normas de especificações declaradas nas versões da norma MIL-HDBK-217.

Outra grande dificuldade foi na interpretação de alguns parâmetros, muitas vezes o manual dá margem a ambiguidade, necessitando de análises mais detalhadas ou específicas, exigindo as vezes de ferramentas de teste que não estão a nossa disposição. Como exemplo disso, é possível destacar os problemas encontrados e citados neste trabalho em capacitores de tântalo sólido.

## 11.3 Trabalhos Futuros

Realizar um estudo detalhado a fim de obter uma análise mais refinada de componentes eletrônicos. Análisar componentes na integração de um sistema, incluindo análise das formas de redundâncias dos componentes e cada componente realizar a:

- a. Identificação dos modos de falha e a avaliação das suas probabilidades de ocorrência.
- b. Incorporação dos modos de falha nos modelos dos circuitos e na metodologia de cálculo da confiabilidade.

Fazer o uso de simulações matemáticas, utilizando distribuições de probabilidade, como, por exemplo a distribuição Weibull, com possibilidade de simular valores aleatórios de distribuições de acordo com a taxa de falhas de cada componente.

Realizar um estudo de caso para conversores DCDC, pois este é um dos componentes mais utilizados e complexos nos sistemas de satélites.

Realizar estudos de componentes e circuitos integrados, estimando taxas de falhas pela norma 217Plus™ e comparar valores, metodologias e resultados com a MIL HDBK 217 F N2. Com esse estudo possibilitar o levantamento de diferenças e melhorias de uma norma para a outra.

## REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

AMPHENOL AEROSPACE. **Amphenol heavy duty cylindrical connectors MIL-C-22992**, Sidney, 2013. Catálogo. Disponível em: < <http://www.amphenol-aerospace.com/pdf/12-052.pdf> > Acesso: 2 de junho de 2014

AMPHENOL AEROSPACE, **Mil-C-26482 series connectors**, Sidney, 2000. Catálogo. Disponível em: < [http://www.amphenol.co.kr/product/Mil-C-26482\\_series.htm](http://www.amphenol.co.kr/product/Mil-C-26482_series.htm) de 2000 > Acesso em: 5 de março de 2014.

ASTROLAB. **Reliability prediction**, Nova Jersey, USA, 2003. 5 p.

AVX CORPORATION. **Glass capacitors, AVX**, 2011. Catálogo. Disponível em: < <http://www.avx.com/docs/catalogs/cy10-15.pdf> > Acesso em: 23 de dezembro de 2013.

AVX CORPORATION. **Multilayer ceramic leaded capacitors**, 2012. Catálogo. Disponível em: < <http://www.avx.com/docs/masterpubs/mclc.pdf> > Acesso em: 26 de janeiro de 2014.

BECHTOLD, L. **Reliability predictions to support a design for reliability program**. Seattle, WA: Boeing Research & Technology, 2011.

BECHTOLD, L. **VITA 51 overview**. Seattle, WA: Boeing Research & Technology, 2012.

CARPINETTI, L.C.R., **Gestão da Qualidade: conceitos e técnicas**. São Paulo, Atlas, 2010. 241p.

CDE CORNELL DUBILIER, **Type CSR13 (MIL-C-39003/01) Solid Tantalum Capacitors**, 2013. Catálogo. Disponível em: < <http://www.cde.com/catalogs/CSR13.pdf> > Acesso em: 8 de março de 2014.

CROW, L., **Reliability: a look at four Decades of Reform within the Department of Defense**, Madison, Alabama, 2008.

CROWE, D., FEINBERG, A. **Design for Reliability**. Boca Raton: CRC Press, 2001. 220p.

DENSON, W. The history of reliability prediction. **IEEE Transactions on reliability**, v. 47, n. 3, p. 321-328, 1998.

DEPARTMENT OF DEFENSE, **Military Handbook, Reliability Prediction of Electronic Equipment MIL-HDBK-217F** , Washington DC, 1991. 205p.

DEPARTMENT OF DEFENSE, **Military Handbook, Reliability Prediction of Electronic Equipment MIL-HDBK-217F (Notice 1)**. Washington DC, 1992. 37p.

DEPARTMENT OF DEFENSE, **Military Handbook, Reliability Prediction of Electronic Equipment MIL-HDBK-217F (Notice 2)**, Washington DC, 1995. 80p.

DEPARTMENT OF DEFENSE. **Handbook of 217Plus™ Reliability Prediction Models**. Washington DC, USA: Utica, 2006. 170p.

EUROPEAN COOPERATION FOR SPACE STANDARDIZATION (ECSS). **ECSS-MST-10C- space project management, project planning and implementation**. Noordwijk, Holanda, 2009.

EUROPEAN COOPERATION FOR SPACE STANDARDIZATION (ECSS). **ECSS-Q-ST-30-11C Rev 1 Space Product Assurance – Derating – EEE components**, Noordwijk, Holanda, 2008.

EUROPEAN POWER SUPPLY MANUFACTURES ASSOCIATION ( EPSMA). **Reliability – Guidelines to Understanding Reliability Prediction**, Wellingborough, Inglaterra, 2005.

FELIX, E. P. **Analise de confiabilidade de sistemas eletrônicos complexos baseada em ensaios acelerados de vida**. 2006. Dissertação (Mestrado em engenharia) - Escola Politécnica da Universidade de São Paulo, 2006.

FREITAS, M.A, COLOSIMO, E.A. **Confiabilidade**: Análise de Tempo de Falha e Testes de Vida Acelerados. Belo Horizonte, MG: Fundação Christiano Ottoni, 1997.

GIPPER, J. **VITA 51 and the Reliability Community ease reliability prediction challenges**. Vita Technologies, dec., 2012. Disponível em: < <http://vita.opensystemsmedia.com/articles/vita-and-reliability-reliability-prediction-challenges/>> Acesso em julho de 2014.

GULLO, L. The Revitalization of MIL-HDBK-217. **IEEE Reliability Newsletter**, sept. 2008.

INSTITUTE OF ELECTRICAL AND ELECTRONIC ENGINEERS RELIABILITY SOCIETY (IEEE). **Reliability Concepts**. Noordwijk, Holanda 2012. Disponível em: < <http://www.ieee.org/portal/site/relsoc/>>. Acesso em abril de 2012.

JONES, J.A., HAYES, J.A. A Comparison of Electronic-Reliability Prediction Models. **IEEE Transactions on Reliability**, v. 48, n. 2, p 127-134, 1999.

LAFRAIA, J. R. B. **Manual de confiabilidade, manutenibilidade e disponibilidade**. Rio de Janeiro: Qualitymark, 2001. 388p.

MCLEISH, J. G. Enhancing MIL-HDBK-217 Reliability Predictions with Physics of Failure, In: RELIABILITY AND MAINTAINABILITY SYMPOSIUM (RAMS), San Jose, CA, 2010. **Proceedings....** 2010. p.1-6.

MCLEISH, J. G. Transitioning to Physics of Failure Reliability Assessments for Electronics. In: ISSAT INTERNATIONAL CONFERENCE ON RELIABILITY AND QUALITY IN DESIGN, 16., Washington, DC, 2010. **Proceedings....**, 2010. p.1-5.

NICHOLLS, D. So, Who Are You and What Did You Do With the RAC. **Journal of the Reliability Information Analysis Center**, First Quarter. Rome, NY, 2006. p.16-21.

NICHOLLS, D., An Introduction to the RIAC 217Plus™ Component Failure Rate Models. **Journal of the Reliability Information Analysis Center**, First Quarter. Rome, NY, 2007. P.16-21.

NICHOLLS, D., An Overview of the 217Plus Reliability Information Analysis Center. **Journal of the Reliability Information Analysis Center**, Fourth Quarter. Rome, NY, 2006. p.20-22.

NICHOLLS, D., **What is 217plus™ and where did it come from?** Utica, NY: RIAC, 2007.

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. **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.

RADIALL, **MM & MB series**. Paris, França, 2011. Catálogo. Disponível em: <<http://www.radiall.com/radiall/resource/filecenter/document/02m-00004f-004/catalogue-mm-e-mb-2011.pdf>> Acesso em: 20 de fevereiro de 2014.

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 (Mestrado em Engenharia e Tecnologias espaciais), Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais (INPE), São José dos Campos, 2012.

RELIABILITY INFORMATION ANALYSIS CENTER (RIAC). **FMD97. Failure Mode/Mechanism Distributions** 1997, Reliability Information Analysis Center-Utica, NY:RIAC, 1997.

RELIASOFT CORPORATION, **Reliability**. Desenvolvido por Reliasoft, 2012.  
Disponível em: < [http://reliawiki.com/index.php/The\\_Weibull\\_Distribution](http://reliawiki.com/index.php/The_Weibull_Distribution).  
Acesso em: novembro de 2012.

RISK MANAGEMENT INSTITUTE - IMdR - **Selection guide for electronic components predictive reliability models**. Gentilly, IMdR, 2009. 192p

SOUZA, M. L. O.; CARVALHO, T. R. The Fault Avoidance and The Fault Tolerance Approaches for Increasing the Reliability of Aerospace and Automotive Systems. In: **SAE BRASIL**, 2005, São Paulo. Anais... p. 15. (INPE-13723-PRE/8916).

VILLEMEUR, A. **Reliability, availability, maintainability and safety assessment**: v.1 Methods and Techniques. New York: Wiley, 1992.

VISHAY, **Metal Film Resistors, Military, MIL-R-10509 Qualified, Precision, Type RN and MIL-PRF-22684 Qualified, Type RL**. Malvern, Pennsylvania 2012. Catálogo. Disponível em < <http://www.vishay.com/docs/31027/cmfmil.pdf> > Acesso em 2 de junho de 2014

VISHAY, **Thick Film Resistor Networks, Military, MIL-PRF-83401 Qualified, Type RZ040 to RZ090, Single-In-Line, Molded SIP**. Malvern, Pennsylvania, 2013. Catálogo. Disponível em: < [http://www.ttiinc.com/object/vishay\\_military\\_resistor\\_network\\_mil83401](http://www.ttiinc.com/object/vishay_military_resistor_network_mil83401) > Acesso 2 de junho de 2014

VISHAY. **Wet Tantalum Capacitors, Military Established Reliability, MIL-C-39006 Qualified Styles CLR65, 69, 79, 81, 90, 91**. Malvern, Pennsylvania 2003. Catálogo. Disponível em: < <http://pdf.datasheetcatalog.com/datasheet/vishay/m39006.pdf> > Acesso em: 15 de março de 2014.



**APENDICE A - CÁLCULOS DAS TAXAS DE FALHAS DE COMPONENTES  
PELA VERSÃO MIL HDBK 217 F**

**A 1 – Capacitor Fixo Cerâmico, Uso Geral (MIL HDBK 217 F - seção 10.10)**

$$\lambda_p = \lambda_b \cdot \pi_{CV} \cdot \pi_Q \cdot \pi_E \text{ Failures}/10^6 \text{ hours} \quad (\text{A.1})$$

**Primeiro Caso:** Ambiente S<sub>F</sub> **Condição A)** Tensão de 50 VDC

Base Failure Rate ( $\lambda_b$ ) = 0.007339

Quality Factor ( $\pi_Q$ ) = 3

Environment Factor ( $\pi_E$ ) = 0.4

Capacitance Factor 12000 pF ( $\pi_{CV}$ ) = 1.15211

Capacitance Factor 15000 pF ( $\pi_{CV}$ ) = 1.180739

Capacitance Factor 18000 pF ( $\pi_{CV}$ ) = 1.204658175

Capacitance Factor 22000 pF ( $\pi_{CV}$ ) = 1.231545

Capacitance Factor 27000 pF ( $\pi_{CV}$ ) = 1.259604

Capacitance Factor 33000 pF ( $\pi_{CV}$ ) = 1.287717

Capacitance Factor 39000 pF ( $\pi_{CV}$ ) = 1.311598658

Capacitance Factor 47000 pF ( $\pi_{CV}$ ) = 1.338797

Capacitance Factor 56000 pF ( $\pi_{CV}$ ) = 1.364849

Capacitance Factor 68000 pF ( $\pi_{CV}$ ) = 1.394312

Capacitance Factor 82000 pF ( $\pi_{CV}$ ) = 1.423322715

Capacitance Factor 100000 pF ( $\pi_{CV}$ ) = 1.454735

Tabela A.1 - Taxas de falhas para Capacitor Cerâmico com 50 VDC para diferentes Capacitâncias, Ambiente  $S_F$ , utilizando versão F.

<b>Versão F - Ambiente <math>S_F</math>, Capacitor 50 VDC</b>	
<b>Capacitância (pF)</b>	<b>Taxa de Falhas – (<math>\lambda_p</math>)</b>
12000	<b>0,010147</b> falhas/ $10^6$ horas
15000	<b>0,010399</b> falhas/ $10^6$ horas
18000	<b>0,01061</b> falhas/ $10^6$ horas
22000	<b>0,010847</b> falhas/ $10^6$ horas
27000	<b>0,011094</b> falhas/ $10^6$ horas
33000	<b>0,011341</b> falhas/ $10^6$ horas
39000	<b>0,011552</b> falhas/ $10^6$ horas
47000	<b>0,011791</b> falhas/ $10^6$ horas
56000	<b>0,012021</b> falhas/ $10^6$ horas
68000	<b>0,01228</b> falhas/ $10^6$ horas
82000	<b>0,012536</b> falhas/ $10^6$ horas
100000	<b>0,012812</b> falhas/ $10^6$ horas

**Primeiro Caso:** Ambiente  $S_F$  **Condição B)** Tensão de 100 VDC

Base Failure Rate ( $\lambda_b$ ) = 0.007339

Quality Factor ( $\pi_Q$ ) = 3

Environment Factor ( $\pi_E$ ) = 0.4

Capacitance Factor 1200 pF ( $\pi_{CV}$ ) = 0.894322

Capacitance Factor 1500 pF ( $\pi_{CV}$ ) = 0.916545

Capacitance Factor 1800 pF ( $\pi_{CV}$ ) = 0.935112435

Capacitance Factor 2200 pF ( $\pi_{CV}$ ) = 0.955983

Capacitance Factor 2700 pF ( $\pi_{CV}$ ) = 0.977764

Capacitance Factor 3300 pF ( $\pi_{CV}$ ) = 0.999587

Capacitance Factor 3900 pF ( $\pi_{CV}$ ) = 1.018124676

Capacitance Factor 4700 pF ( $\pi_{CV}$ ) = 1.039237

Capacitance Factor 5600 pF ( $\pi_{CV}$ ) = 1.05946

Capacitance Factor 6800 pF ( $\pi_{CV}$ ) = 1.08233

Capacitance Factor 8200 pF ( $\pi_{CV}$ ) = 1.104850154

Capacitance Factor 10000 pF ( $\pi_{CV}$ ) = 1.129234

Tabela A.2- Taxas de falhas para Capacitor Cerâmico com 100 VDC para diferentes Capacitâncias, Ambiente  $S_F$ , utilizando versão F.

<b>Versão F – Ambiente <math>S_F</math>, Capacitor 100 VDC</b>	
<b>Capacitância (pF)</b>	<b>Taxa de Falhas – (<math>\lambda_p</math>)</b>
1200	<b>0,007877</b> falhas/ $10^6$ horas
1500	<b>0,008072</b> falhas/ $10^6$ horas
1800	<b>0,008236</b> falhas/ $10^6$ horas
2200	<b>0,00842</b> falhas/ $10^6$ horas
2700	<b>0,008611</b> falhas/ $10^6$ horas
3300	<b>0,008804</b> falhas/ $10^6$ horas
3900	<b>0,008967</b> falhas/ $10^6$ horas
4700	<b>0,009153</b> falhas/ $10^6$ horas
5600	<b>0,009331</b> falhas/ $10^6$ horas
6800	<b>0,009532</b> falhas/ $10^6$ horas
8200	<b>0,009731</b> falhas/ $10^6$ horas
10000	<b>0,009945</b> falhas/ $10^6$ horas

**Primeiro Caso:** Ambiente S<sub>F</sub> **Condição C)**Tensão de 200 VDC

Base Failure Rate ( $\lambda_b$ ) = 0.007339

Quality Factor ( $\pi_Q$ ) = 3

Environment Factor ( $\pi_E$ ) = 0.4

Capacitance Factor 10 pF ( $\pi_{CV}$ ) = 0.528182

Capacitance Factor 33 pF ( $\pi_{CV}$ ) = 0.60231

Capacitance Factor 82 pF ( $\pi_{CV}$ ) = 0.665738051

Capacitance Factor 100 pF ( $\pi_{CV}$ ) = 0.680431

Capacitance Factor 120 pF ( $\pi_{CV}$ ) = 0.694215

Capacitance Factor 150 pF ( $\pi_{CV}$ ) = 0.711466

Capacitance Factor 180 pF ( $\pi_{CV}$ ) = 0.725878331

Capacitance Factor 220 pF ( $\pi_{CV}$ ) = 0.742079

Capacitance Factor 270 pF ( $\pi_{CV}$ ) = 0.758986

Capacitance Factor 330 pF ( $\pi_{CV}$ ) = 0.775926

Capacitance Factor 390 pF ( $\pi_{CV}$ ) = 0.790316344

Capacitance Factor 470 pF ( $\pi_{CV}$ ) = 0.806705

Capacitance Factor 680 pF ( $\pi_{CV}$ ) = 0.840156

Capacitance Factor 820 pF ( $\pi_{CV}$ ) = 0.857637

Capacitance Factor 1000 pF ( $\pi_{CV}$ ) = 0.876564457

Tabela A.3- Taxas de falhas para Capacitor Cerâmico com 200 VDC para diferentes Capacitâncias, Ambiente S<sub>F</sub>, utilizando versão F.

<b>Versão F – Ambiente S<sub>F</sub>, Capacitor 200 VDC</b>	
<b>Capacitância (pF)</b>	<b>Taxa de Falhas – (λp)</b>
10	<b>0,004652</b> falhas/10 <sup>6</sup> horas
33	<b>0,005305</b> falhas/10 <sup>6</sup> horas
82	<b>0,005863</b> falhas/10 <sup>6</sup> horas
100	<b>0,005993</b> falhas/10 <sup>6</sup> horas
120	<b>0,006114</b> falhas/10 <sup>6</sup> horas
150	<b>0,006266</b> falhas/10 <sup>6</sup> horas
180	<b>0,006393</b> falhas/10 <sup>6</sup> horas
220	<b>0,006536</b> falhas/10 <sup>6</sup> horas
270	<b>0,006685</b> falhas/10 <sup>6</sup> horas
330	<b>0,006834</b> falhas/10 <sup>6</sup> horas
390	<b>0,006961</b> falhas/10 <sup>6</sup> horas
470	<b>0,007105</b> falhas/10 <sup>6</sup> horas
680	<b>0,007399</b> falhas/10 <sup>6</sup> horas
820	<b>0,007553</b> falhas/10 <sup>6</sup> horas
1000	<b>0,00772</b> falhas/10 <sup>6</sup> horas

**Segundo Caso:** Ambiente A<sub>IC</sub> **Condição A)** Tensão de 50 VDC

Environment Factor (π<sub>E</sub>) = 4

O valor da taxa básica de falhas e os valores dos demais fatores de correção para capacitores cerâmicos no ambiente A<sub>IC</sub> não diferem da Condição A para ambiente S<sub>F</sub>, usá-lo como referência.

Tabela A.4 -Taxas de falhas para Capacitor Cerâmico com 50 VDC para diferentes Capacitâncias, Ambiente A<sub>IC</sub>, utilizando versão F.

<b>Versão F - Ambiente A<sub>IC</sub>, Capacitor 50 VDC</b>	
<b>Capacitância (pF)</b>	<b>Taxa de Falhas – (<math>\lambda_p</math>)</b>
12000	<b>0,101469</b> falhas/10 <sup>6</sup> horas
15000	<b>0,10399</b> falhas/10 <sup>6</sup> horas
18000	<b>0,106097</b> falhas/10 <sup>6</sup> horas
22000	<b>0,108465</b> falhas/10 <sup>6</sup> horas
27000	<b>0,110936</b> falhas/10 <sup>6</sup> horas
33000	<b>0,113412</b> falhas/10 <sup>6</sup> horas
39000	<b>0,115516</b> falhas/10 <sup>6</sup> horas
47000	<b>0,117911</b> falhas/10 <sup>6</sup> horas
56000	<b>0,120205</b> falhas/10 <sup>6</sup> horas
68000	<b>0,1228</b> falhas/10 <sup>6</sup> horas
82000	<b>0,125355</b> falhas/10 <sup>6</sup> horas
100000	<b>0,128122</b> falhas/10 <sup>6</sup> horas

**Segundo Caso:** Ambiente A<sub>IC</sub> **Condição B)** Tensão de 100 VDC

Environment Factor ( $\pi_E$ ) = 4

O valor da taxa básica de falhas e os valores dos demais fatores de correção para capacitores cerâmicos no ambiente A<sub>IC</sub> não diferem da Condição B para ambiente S<sub>F</sub>, usá-lo como referência.

Tabela A.5 - Taxas de falhas para Capacitor Cerâmico com 100 VDC para diferentes Capacitâncias, Ambiente A<sub>IC</sub>, utilizando versão F.

<b>Versão F – Ambiente A<sub>IC</sub>, Capacitor 100 VDC</b>	
<b>Capacitância (pF)</b>	<b>Taxa de Falhas – (λp)</b>
1200	<b>0,078765</b> falhas/10 <sup>6</sup> horas
1500	<b>0,080722</b> falhas/10 <sup>6</sup> horas
1800	<b>0,082358</b> falhas/10 <sup>6</sup> horas
2200	<b>0,084196</b> falhas/10 <sup>6</sup> horas
2700	<b>0,086114</b> falhas/10 <sup>6</sup> horas
3300	<b>0,088036</b> falhas/10 <sup>6</sup> horas
3900	<b>0,089669</b> falhas/10 <sup>6</sup> horas
4700	<b>0,091528</b> falhas/10 <sup>6</sup> horas
5600	<b>0,093309</b> falhas/10 <sup>6</sup> horas
6800	<b>0,095323</b> falhas/10 <sup>6</sup> horas
8200	<b>0,097307</b> falhas/10 <sup>6</sup> horas
10000	<b>0,099454</b> falhas/10 <sup>6</sup> horas

**Segundo Caso:** Ambiente A<sub>IC</sub> **Condição C)** Tensão de 200 VDC

Environment Factor ( $\pi_E$ ) = 4

O valor da taxa básica de falhas e os valores dos demais fatores de correção para capacitores cerâmicos no ambiente A<sub>IC</sub> não diferem da Condição C para ambiente S<sub>F</sub>, usá-lo como referência.

Tabela A.6 - Taxas de falhas para Capacitor Cerâmico com 200 VDC para diferentes Capacitâncias, Ambiente A<sub>IC</sub>, utilizando versão F.

<b>Versão F – Ambiente A<sub>IC</sub>, Capacitor 200 VDC</b>	
<b>Capacitância (pF)</b>	<b>Taxa de Falhas – (<math>\lambda_p</math>)</b>
10	<b>0,046518</b> falhas/10 <sup>6</sup> horas
33	<b>0,053047</b> falhas/10 <sup>6</sup> horas
82	<b>0,058633</b> falhas/10 <sup>6</sup> horas
100	<b>0,059927</b> falhas/10 <sup>6</sup> horas
120	<b>0,061141</b> falhas/10 <sup>6</sup> horas
150	<b>0,06266</b> falhas/10 <sup>6</sup> horas
180	<b>0,06393</b> falhas/10 <sup>6</sup> horas
220	<b>0,065357</b> falhas/10 <sup>6</sup> horas
270	<b>0,066846</b> falhas/10 <sup>6</sup> horas
330	<b>0,068338</b> falhas/10 <sup>6</sup> horas
390	<b>0,069605</b> falhas/10 <sup>6</sup> horas
470	<b>0,071048</b> falhas/10 <sup>6</sup> horas
680	<b>0,073994</b> falhas/10 <sup>6</sup> horas
820	<b>0,075534</b> falhas/10 <sup>6</sup> horas
1000	<b>0,077201</b> falhas/10 <sup>6</sup> horas

**Terceiro Caso:** Ambiente G<sub>F</sub> **Condição A)** Tensão de 50 VDC

Environment Factor ( $\pi_E$ ) = 2

O valor da taxa básica de falhas e os valores dos demais fatores de correção para capacitores cerâmicos no ambiente G<sub>F</sub> não diferem da Condição A para ambiente S<sub>F</sub>, usá-lo como referência.

Tabela A.7 - Taxas de falhas para Capacitor Cerâmico com 50 VDC para diferentes Capacitâncias, Ambiente G<sub>F</sub>, utilizando versão F.

<b>Versão F - Ambiente G<sub>F</sub>, Capacitor 50 VDC</b>	
<b>Capacitância (pF)</b>	<b>Taxa de Falhas – (λp)</b>
12000	<b>0,050734</b> falhas/10 <sup>6</sup> horas
15000	<b>0,051995</b> falhas/10 <sup>6</sup> horas
18000	<b>0,053049</b> falhas/10 <sup>6</sup> horas
22000	<b>0,054233</b> falhas/10 <sup>6</sup> horas
27000	<b>0,055468</b> falhas/10 <sup>6</sup> horas
33000	<b>0,056706</b> falhas/10 <sup>6</sup> horas
39000	<b>0,057758</b> falhas/10 <sup>6</sup> horas
47000	<b>0,058955</b> falhas/10 <sup>6</sup> horas
56000	<b>0,060103</b> falhas/10 <sup>6</sup> horas
68000	<b>0,0614</b> falhas/10 <sup>6</sup> horas
82000	<b>0,062678</b> falhas/10 <sup>6</sup> horas
100000	<b>0,064061</b> falhas/10 <sup>6</sup> horas

**Terceiro Caso:** Ambiente G<sub>F</sub> **Condição B)** Tensão de 100 VDC

Environment Factor (π<sub>E</sub>) = 2

O valor da taxa básica de falhas e os valores dos demais fatores de correção para capacitores cerâmicos no ambiente G<sub>F</sub> não diferem da Condição B para ambiente S<sub>F</sub>, usá-lo como referência.

Tabela A.8 - Taxas de falhas para Capacitor Cerâmico com 100 VDC para diferentes Capacitâncias, Ambiente G<sub>F</sub>, utilizando versão F.

<b>Versão F – Ambiente G<sub>F</sub>, Capacitor 100 VDC</b>	
<b>Capacitância (pF)</b>	<b>Taxa de Falhas – (λp)</b>
1200	<b>0,039383</b> falhas/10 <sup>6</sup> horas
1500	<b>0,040361</b> falhas/10 <sup>6</sup> horas
1800	<b>0,041179</b> falhas/10 <sup>6</sup> horas
2200	<b>0,042098</b> falhas/10 <sup>6</sup> horas
2700	<b>0,043057</b> falhas/10 <sup>6</sup> horas
3300	<b>0,044018</b> falhas/10 <sup>6</sup> horas
3900	<b>0,044834</b> falhas/10 <sup>6</sup> horas
4700	<b>0,045764</b> falhas/10 <sup>6</sup> horas
5600	<b>0,046655</b> falhas/10 <sup>6</sup> horas
6800	<b>0,047662</b> falhas/10 <sup>6</sup> horas
8200	<b>0,048653</b> falhas/10 <sup>6</sup> horas
10000	<b>0,049727</b> falhas/10 <sup>6</sup> horas

**Terceiro Caso:** Ambiente G<sub>F</sub> **Condição C)** Tensão de 200 VDC

Environment Factor ( $\pi_E$ ) = 2

O valor da taxa básica de falhas e os valores dos demais fatores de correção para capacitores cerâmicos no ambiente G<sub>F</sub> não diferem da Condição C para ambiente S<sub>F</sub>, usá-lo como referência.

Tabela A.9 - Taxas de falhas para Capacitor Cerâmico com 200 VDC para diferentes Capacitâncias, Ambiente G<sub>F</sub>, utilizando versão F.

<b>Versão F – Ambiente G<sub>F</sub>, Capacitor 200 VDC</b>	
<b>Capacitância (pF)</b>	<b>Taxa de Falhas – (λp)</b>
10	<b>0,023259</b> falhas/10 <sup>6</sup> horas
33	<b>0,026523</b> falhas/10 <sup>6</sup> horas
82	<b>0,029317</b> falhas/10 <sup>6</sup> horas
100	<b>0,029964</b> falhas/10 <sup>6</sup> horas
120	<b>0,030571</b> falhas/10 <sup>6</sup> horas
150	<b>0,03133</b> falhas/10 <sup>6</sup> horas
180	<b>0,031965</b> falhas/10 <sup>6</sup> horas
220	<b>0,032678</b> falhas/10 <sup>6</sup> horas
270	<b>0,033423</b> falhas/10 <sup>6</sup> horas
330	<b>0,034169</b> falhas/10 <sup>6</sup> horas
390	<b>0,034803</b> falhas/10 <sup>6</sup> horas
4.70	<b>0,035524</b> falhas/10 <sup>6</sup> horas
6.80	<b>0,036997</b> falhas/10 <sup>6</sup> horas
8.20	<b>0,037767</b> falhas/10 <sup>6</sup> horas
1.000	<b>0,038601</b> falhas/10 <sup>6</sup> horas

**Quarto Caso:** Ambiente C<sub>L</sub> **Condição A)** Tensão de 50 VDC

Environment Factor ( $\pi_E$ ) = 610

O valor da taxa básica de falhas e os valores dos demais fatores de correção para capacitores cerâmicos no ambiente C<sub>L</sub> não diferem da Condição A para ambiente S<sub>F</sub>, usá-lo como referência.

Tabela A.10 - Taxas de falhas para Capacitor Cerâmico com 50 VDC para diferentes Capacitâncias, Ambiente C<sub>L</sub>, utilizando versão F.

<b>Versão F - Ambiente C<sub>L</sub>, Capacitor 50 VDC</b>	
<b>Capacitância (pF)</b>	<b>Taxa de Falhas – (λp)</b>
12.000	<b>15,47402</b> falhas/10 <sup>6</sup> horas
15.000	<b>15,85854</b> falhas/10 <sup>6</sup> horas
18.000	<b>16,1798</b> falhas/10 <sup>6</sup> horas
22.000	<b>16,54092</b> falhas/10 <sup>6</sup> horas
27.000	<b>16,91777</b> falhas/10 <sup>6</sup> horas
33.000	<b>17,29536</b> falhas/10 <sup>6</sup> horas
39.000	<b>17,61612</b> falhas/10 <sup>6</sup> horas
47.000	<b>17,98142</b> falhas/10 <sup>6</sup> horas
56.000	<b>18,33133</b> falhas/10 <sup>6</sup> horas
68.000	<b>18,72704</b> falhas/10 <sup>6</sup> horas
82.000	<b>19,11669</b> falhas/10 <sup>6</sup> horas
100.000	<b>19,53859</b> falhas/10 <sup>6</sup> horas

**Quarto Caso:** Ambiente C<sub>L</sub> **Condição B)** Tensão de 100 VDC

Environment Factor (π<sub>E</sub>) = 610

O valor da taxa básica de falhas e os valores dos demais fatores de correção para capacitores cerâmicos no ambiente C<sub>L</sub> não diferem da Condição B para ambiente S<sub>F</sub>, usá-lo como referência.

Tabela A.11 - Taxas de falhas para Capacitor Cerâmico com 100 VDC para diferentes Capacitâncias, Ambiente C<sub>L</sub>, utilizando versão F.

<b>Versão F – Ambiente C<sub>L</sub>, Capacitor 100 VDC</b>	
<b>Capacitância (pF)</b>	<b>Taxa de Falhas – (λp)</b>
1.200	<b>0,039383</b> falhas/10 <sup>6</sup> horas
1.500	<b>0,040361</b> falhas/10 <sup>6</sup> horas
1.800	<b>0,041179</b> falhas/10 <sup>6</sup> horas
2.200	<b>0,042098</b> falhas/10 <sup>6</sup> horas
2.700	<b>0,043057</b> falhas/10 <sup>6</sup> horas
3.300	<b>0,044018</b> falhas/10 <sup>6</sup> horas
3.900	<b>0,044834</b> falhas/10 <sup>6</sup> horas
4.700	<b>0,045764</b> falhas/10 <sup>6</sup> horas
5.600	<b>0,046655</b> falhas/10 <sup>6</sup> horas
6.800	<b>0,047662</b> falhas/10 <sup>6</sup> horas
8.200	<b>0,048653</b> falhas/10 <sup>6</sup> horas
10.000	<b>0,049727</b> falhas/10 <sup>6</sup> horas

**Quarto Caso:** Ambiente C<sub>L</sub> **Condição C** Tensão de 200 VDC

Environment Factor ( $\pi_E$ ) = 610

O valor da taxa básica de falhas e os valores dos demais fatores de correção para capacitores cerâmicos no ambiente C<sub>L</sub> não diferem da Condição C para ambiente S<sub>F</sub>, usá-lo como referência.

Tabela A.12 - Taxas de falhas para Capacitor Cerâmico com 200 VDC para diferentes Capacitâncias, Ambiente C<sub>L</sub>, utilizando versão F.

<b>Versão F – Ambiente C<sub>L</sub>, Capacitor 200 VDC</b>	
<b>Capacitância (pF)</b>	<b>Taxa de Falhas – (λ<sub>p</sub>)</b>
10	<b>7,094033</b> falhas/10 <sup>6</sup> horas
33	<b>8,08965</b> falhas/10 <sup>6</sup> horas
82	<b>8,941548</b> falhas/10 <sup>6</sup> horas
100	<b>9,138885</b> falhas/10 <sup>6</sup> horas
120	<b>9,324019</b> falhas/10 <sup>6</sup> horas
150	<b>9,555716</b> falhas/10 <sup>6</sup> horas
180	<b>9,749294</b> falhas/10 <sup>6</sup> horas
220	<b>9,966891</b> falhas/10 <sup>6</sup> horas
270	<b>10,19397</b> falhas/10 <sup>6</sup> horas
330	<b>10,42149</b> falhas/10 <sup>6</sup> horas
390	<b>10,61476</b> falhas/10 <sup>6</sup> horas
470	<b>10,83488</b> falhas/10 <sup>6</sup> horas
680	<b>11,28416</b> falhas/10 <sup>6</sup> horas
820	<b>11,51895</b> falhas/10 <sup>6</sup> horas
1.000	<b>11,77316</b> falhas/10 <sup>6</sup> horas

**A 2 - Capacitor Fixo, Eletrolítico, Tantão Não-Sólido (MIL HDBK 217 F – seção 10.13)**

$$\lambda_p = \lambda_b \cdot \pi_{CV} \cdot \pi_C \cdot \pi_Q \cdot \pi_E \text{ Failures}/10^6 \text{ hours} \quad (\text{A.2})$$

**Primeiro Caso:** Ambiente S<sub>F</sub>. **Condição A)** Tensão de 50 VDC

Base Failure Rate (λ<sub>b</sub>) = 0.097191359

Quality Factor (π<sub>Q</sub>) = 0.03

Construction Factor ( $\pi_c$ ) = 1

Environment Factor ( $\pi_E$ ) = 0.5

Capacitance Factor 5  $\mu\text{F}$  ( $\pi_{CV}$ ) = 0.91189718

Capacitance Factor 10  $\mu\text{F}$  ( $\pi_{CV}$ ) = 0.954583344

Capacitance Factor 25  $\mu\text{F}$  ( $\pi_{CV}$ ) = 1.014093252

Capacitance Factor 47  $\mu\text{F}$  ( $\pi_{CV}$ ) = 1.057236896

Capacitance Factor 60  $\mu\text{F}$  ( $\pi_{CV}$ ) = 1.074414436

Capacitance Factor 82  $\mu\text{F}$  ( $\pi_{CV}$ ) = 1.096795264

Capacitance Factor 160  $\mu\text{F}$  ( $\pi_{CV}$ ) = 1.146266951

Tabela A.13 - Taxas de falhas para Capacitor de Tântalo não Sólido com 50 VDC para diferentes Capacitâncias, ambiente  $S_F$ , utilizando versão F.

<b>Versão F – Capacitor Tântalo não Sólido 50 VDC – Ambiente <math>S_F</math></b>	
<b>Capacitância (<math>\mu\text{F}</math>)</b>	<b>Taxa de Falhas – (<math>\lambda_p</math>)</b>
5	<b>0,00132943</b> falhas/ $10^6$ horas
10	<b>0,00139166</b> falhas/ $10^6$ horas
25	<b>0,00147842</b> falhas/ $10^6$ horas
47	<b>0,00154131</b> falhas/ $10^6$ horas
60	<b>0,00156636</b> falhas/ $10^6$ horas
82	<b>0,00159899</b> falhas/ $10^6$ horas
160	<b>0,00167111</b> falhas/ $10^6$ horas

**Primeiro Caso:** Ambiente  $S_F$ . **Condição B)** Tensão de 60 VDC

Base Failure Rate ( $\lambda_b$ ) = 0.097191359

Quality Factor ( $\pi_Q$ ) = 0.03

Construction Factor ( $\pi_C$ ) = 1

Environment Factor ( $\pi_E$ ) = 0.5

Capacitance Factor 4  $\mu\text{F}$  ( $\pi_{CV}$ ) = 0.898565648

Capacitance Factor 8.2  $\mu\text{F}$  ( $\pi_{CV}$ ) = 0.942161962

Capacitance Factor 20  $\mu\text{F}$  ( $\pi_{CV}$ ) = 0.99926766

Capacitance Factor 39  $\mu\text{F}$  ( $\pi_{CV}$ ) = 1.044297207

Capacitance Factor 50  $\mu\text{F}$  ( $\pi_{CV}$ ) = 1.061563243

Capacitance Factor 68  $\mu\text{F}$  ( $\pi_{CV}$ ) = 1.083326684

Capacitance Factor 140  $\mu\text{F}$  ( $\pi_{CV}$ ) = 1.136209203

Tabela A.14 - Taxas de falhas para Capacitor de Tântalo não Sólido com 60 VDC para diferentes Capacitâncias, ambiente  $S_F$ , utilizando versão F.

<b>Versão F – Capacitor Tântalo não Sólido 60 VDC – Ambiente <math>S_F</math></b>	
<b>Capacitância (<math>\mu\text{F}</math>)</b>	<b>Taxa de Falhas – (<math>\lambda_p</math>)</b>
4	<b>0,00130999</b> falhas/ $10^6$ horas
8,2	<b>0,00137355</b> falhas/ $10^6$ horas
20	<b>0,0014568</b> falhas/ $10^6$ horas
39	<b>0,00152245</b> falhas/ $10^6$ horas
50	<b>0,00154762</b> falhas/ $10^6$ horas
68	<b>0,00157935</b> falhas/ $10^6$ horas
140	<b>0,00165645</b> falhas/ $10^6$ horas

**Primeiro Caso:** Ambiente  $S_F$ . **Condição C)** Tensão de 100 VDC

Base Failure Rate ( $\lambda_b$ ) = 0.097191359

Quality Factor ( $\pi_Q$ ) = 0.03

Construction Factor ( $\pi_C$ ) = 1

Environment Factor ( $\pi_E$ ) = 0.5

Capacitance Factor 2.5  $\mu\text{F}$  ( $\pi_{CV}$ ) = 0.871119816

Capacitance Factor 4.7  $\mu\text{F}$  ( $\pi_{CV}$ ) = 0.908180789

Capacitance Factor 11  $\mu\text{F}$  ( $\pi_{CV}$ ) = 0.96060705

Capacitance Factor 22  $\mu\text{F}$  ( $\pi_{CV}$ ) = 1.005573337

Capacitance Factor 30  $\mu\text{F}$  ( $\pi_{CV}$ ) = 1.026369777

Capacitance Factor 43  $\mu\text{F}$  ( $\pi_{CV}$ ) = 1.051048533

Capacitance Factor 86  $\mu\text{F}$  ( $\pi_{CV}$ ) = 1.100248411

Tabela A.15 - Taxas de falhas para Capacitor de Tântalo não Sólido com 100 VDC para diferentes Capacitâncias, ambiente  $S_F$ , utilizando versão F.

<b>Versão F – Capacitor Tântalo não Sólido 100 VDC – Ambiente <math>S_F</math></b>	
<b>Capacitância (<math>\mu\text{F}</math>)</b>	<b>Taxa de Falhas – (<math>\lambda_p</math>)</b>
2,5	<b>0,00126998</b> falhas/ $10^6$ horas
4,7	<b>0,00132401</b> falhas/ $10^6$ horas
11	<b>0,00140044</b> falhas/ $10^6$ horas
22	<b>0,001466</b> falhas/ $10^6$ horas
30	<b>0,00149631</b> falhas/ $10^6$ horas
43	<b>0,00153229</b> falhas/ $10^6$ horas
86	<b>0,00160402</b> falhas/ $10^6$ horas

**Segundo Caso:** Ambiente  $A_{IC}$ . **Condição A)** Tensão de 50 VDC

Environment Factor ( $\pi_E$ ) = 4

O valor da taxa básica de falhas e os valores dos demais fatores de correção para capacitores de tântalo não sólidos no ambiente A<sub>IC</sub> não diferem da Condição A para ambiente S<sub>F</sub>, usá-lo como referência.

Tabela A.16 - Taxas de falhas para Capacitor de Tântalo não Sólido com 50 VDC para diferentes Capacitâncias, ambiente A<sub>IC</sub>, utilizando versão F.

<b>Versão F – Capacitor Tântalo não Sólido 50 VDC – Ambiente A<sub>IC</sub></b>	
<b>Capacitância (μF)</b>	<b>Taxa de Falhas – (λp)</b>
5	<b>0,010635</b> falhas/10 <sup>6</sup> horas
10	<b>0,011133</b> falhas/10 <sup>6</sup> horas
25	<b>0,011827</b> falhas/10 <sup>6</sup> horas
47	<b>0,012331</b> falhas/10 <sup>6</sup> horas
60	<b>0,012531</b> falhas/10 <sup>6</sup> horas
82	<b>0,012792</b> falhas/10 <sup>6</sup> horas
160	<b>0,013369</b> falhas/10 <sup>6</sup> horas

**Segundo Caso:** Ambiente A<sub>IC</sub>. **Condição B)** Tensão de 60 VDC

Environment Factor (π<sub>E</sub>) = 4

O valor da taxa básica de falhas e os valores dos demais fatores de correção para capacitores de tântalo não sólidos no ambiente A<sub>IC</sub> não diferem da Condição B para ambiente S<sub>F</sub>, usá-lo como referência.

Tabela A.17- Taxas de falhas para Capacitor de Tântalo não Sólido com 60 VDC para diferentes Capacitâncias, ambiente A<sub>IC</sub>, utilizando versão F.

<b>Versão F – Capacitor Tântalo não Sólido 60 VDC – Ambiente A<sub>IC</sub></b>	
<b>Capacitância (μF)</b>	<b>Taxa de Falhas – (λp)</b>
4	<b>0,01048</b> falhas/10 <sup>6</sup> horas
8,2	<b>0,010988</b> falhas/10 <sup>6</sup> horas
20	<b>0,011654</b> falhas/10 <sup>6</sup> horas
39	<b>0,01218</b> falhas/10 <sup>6</sup> horas
50	<b>0,012381</b> falhas/10 <sup>6</sup> horas
68	<b>0,012635</b> falhas/10 <sup>6</sup> horas
140	<b>0,013252</b> falhas/10 <sup>6</sup> horas

**Segundo Caso:** Ambiente A<sub>IC</sub>. **Condição C)** Tensão de 100 VDC

Environment Factor ( $\pi_E$ ) = 4

O valor da taxa básica de falhas e os valores dos demais fatores de correção para capacitores de tântalo não sólidos no ambiente A<sub>IC</sub> não diferem da Condição C para ambiente S<sub>F</sub>, usá-lo como referência.

Tabela A.18 - Taxas de falhas para Capacitor de Tântalo não Sólido com 100 VDC para diferentes Capacitâncias, ambiente A<sub>IC</sub>, utilizando versão F.

<b>Versão F – Capacitor Tântalo não Sólido 100 VDC – Ambiente A<sub>IC</sub></b>	
<b>Capacitância (μF)</b>	<b>Taxa de Falhas – (λp)</b>
2,5	<b>1,015984</b> falhas/10 <sup>6</sup> horas
4,7	<b>1,059208</b> falhas/10 <sup>6</sup> horas
11	<b>1,120352</b> falhas/10 <sup>6</sup> horas
22	<b>1,172796</b> falhas/10 <sup>6</sup> horas
30	<b>1,197051</b> falhas/10 <sup>6</sup> horas
43	<b>1,225834</b> falhas/10 <sup>6</sup> horas
86	<b>1,283216</b> falhas/10 <sup>6</sup> horas

**Terceiro Caso:** Ambiente  $G_F$ . **Condição A)** Tensão de 50 VDC

Environment Factor ( $\pi_E$ ) = 2

O valor da taxa básica de falhas e os valores dos demais fatores de correção para capacitores de tântalo não sólidos no ambiente  $G_F$  não diferem da Condição A para ambiente  $S_F$ , usá-lo como referência.

Tabela A.19 - Taxas de falhas para Capacitor de Tântalo não Sólido com 50 VDC para diferentes Capacitâncias, ambiente  $G_F$ , utilizando versão F.

<b>Versão F – Capacitor Tântalo não Sólido 50 VDC – Ambiente <math>G_F</math></b>	
<b>Capacitância (<math>\mu F</math>)</b>	<b>Taxa de Falhas – (<math>\lambda_p</math>)</b>
5	<b>0,005318</b> falhas/ $10^6$ horas
10	<b>0,005567</b> falhas/ $10^6$ horas
25	<b>0,005914</b> falhas/ $10^6$ horas
47	<b>0,006165</b> falhas/ $10^6$ horas
60	<b>0,006265</b> falhas/ $10^6$ horas
82	<b>0,006396</b> falhas/ $10^6$ horas
160	<b>0,006684</b> falhas/ $10^6$ horas

**Terceiro Caso:** Ambiente  $G_F$ . **Condição B)** Tensão de 60 VDC

Environment Factor ( $\pi_E$ ) = 2

O valor da taxa básica de falhas e os valores dos demais fatores de correção para capacitores de tântalo não sólidos no ambiente  $G_F$  não diferem da Condição B para ambiente  $S_F$ , usá-lo como referência.

Tabela A.20 - Taxas de falhas para Capacitor de Tântalo não Sólido com 60 VDC para diferentes Capacitâncias, ambiente  $G_F$ , utilizando versão F.

<b>Versão F – Capacitor Tântalo não Sólido 60 VDC – Ambiente <math>G_F</math></b>	
<b>Capacitância (<math>\mu F</math>)</b>	<b>Taxa de Falhas – (<math>\lambda_p</math>)</b>
4	<b>0,00524</b> falhas/ $10^6$ horas
8,2	<b>0,005494</b> falhas/ $10^6$ horas
20	<b>0,005827</b> falhas/ $10^6$ horas
39	<b>0,00609</b> falhas/ $10^6$ horas
50	<b>0,00619</b> falhas/ $10^6$ horas
68	<b>0,006317</b> falhas/ $10^6$ horas
140	<b>0,006626</b> falhas/ $10^6$ horas

**Terceiro Caso:** Ambiente  $G_F$ . **Condição C)** Tensão de 100 VDC

Environment Factor ( $\pi_E$ ) = 2

O valor da taxa básica de falhas e os valores dos demais fatores de correção para capacitores de tântalo não sólidos no ambiente  $G_F$  não diferem da Condição C para ambiente  $S_F$ , usá-lo como referência.

Tabela A.21 - Taxas de falhas para Capacitor de Tântalo não Sólido com 100 VDC para diferentes Capacitâncias, ambiente  $G_F$ , utilizando versão F.

<b>Versão F – Capacitor Tântalo não Sólido 100 VDC – Ambiente <math>G_F</math></b>	
<b>Capacitância (<math>\mu F</math>)</b>	<b>Taxa de Falhas – (<math>\lambda_p</math>)</b>
2,5	<b>0,00508</b> falhas/ $10^6$ horas
4,7	<b>0,005296</b> falhas/ $10^6$ horas
11	<b>0,005602</b> falhas/ $10^6$ horas
22	<b>0,005864</b> falhas/ $10^6$ horas
30	<b>0,005985</b> falhas/ $10^6$ horas
43	<b>0,006129</b> falhas/ $10^6$ horas
86	<b>0,006416</b> falhas/ $10^6$ horas

**Quarto Caso:** Ambiente C<sub>L</sub>. **Condição A)** Tensão de 50 VDC

Environment Factor ( $\pi_E$ ) = 610

O valor da taxa básica de falhas e os valores dos demais fatores de correção para capacitores de tântalo não sólidos no ambiente G<sub>F</sub> não diferem da Condição A para ambiente S<sub>F</sub>, usá-lo como referência.

Tabela A.22 - Taxas de falhas para Capacitor de Tântalo não Sólido com 50 VDC para diferentes Capacitâncias, ambiente C<sub>L</sub>, utilizando versão F.

<b>Versão F – Capacitor Tântalo não Sólido 50 VDC – Ambiente C<sub>L</sub></b>	
<b>Capacitância (μF)</b>	<b>Taxa de Falhas – (λ<sub>p</sub>)</b>
5	<b>1,621902</b> falhas/10 <sup>6</sup> horas
10	<b>1,697824</b> falhas/10 <sup>6</sup> horas
25	<b>1,803668</b> falhas/10 <sup>6</sup> horas
47	<b>1,880404</b> falhas/10 <sup>6</sup> horas
60	<b>1,910956</b> falhas/10 <sup>6</sup> horas
82	<b>1,950762</b> falhas/10 <sup>6</sup> horas
160	<b>2,038753</b> falhas/10 <sup>6</sup> horas

**Quarto Caso:** Ambiente C<sub>L</sub>. **Condição B)** Tensão de 60 VDC

Environment Factor ( $\pi_E$ ) = 610

O valor da taxa básica de falhas e os valores dos demais fatores de correção para capacitores de tântalo não sólidos no ambiente G<sub>F</sub> não diferem da Condição B para ambiente S<sub>F</sub>, usá-lo como referência.

Tabela A.23 - Taxas de falhas para Capacitor de Tântalo não Sólido com 60 VDC para diferentes Capacitâncias, ambiente C<sub>L</sub>, utilizando versão F.

<b>Versão F – Capacitor Tântalo não Sólido 60 VDC – Ambiente C<sub>L</sub></b>	
<b>Capacitância (μF)</b>	<b>Taxa de Falhas – (λp)</b>
4	<b>1,598191</b> falhas/10 <sup>6</sup> horas
8,2	<b>1,675731</b> falhas/10 <sup>6</sup> horas
20	<b>1,777299</b> falhas/10 <sup>6</sup> horas
39	<b>1,857389</b> falhas/10 <sup>6</sup> horas
50	<b>1,888098</b> falhas/10 <sup>6</sup> horas
68	<b>1,926807</b> falhas/10 <sup>6</sup> horas
140	<b>2,020864</b> falhas/10 <sup>6</sup> horas

**Quarto Caso:** Ambiente C<sub>L</sub>. **Condição C)** Tensão de 100 VDC

Environment Factor (π<sub>E</sub>) = 610

O valor da taxa básica de falhas e os valores dos demais fatores de correção para capacitores de tântalo não sólidos no ambiente G<sub>F</sub> não diferem da Condição C para ambiente S<sub>F</sub>, usá-lo como referência.

Tabela A.24 - Taxas de falhas para Capacitor de Tântalo não Sólido com 100 VDC para diferentes Capacitâncias, ambiente C<sub>L</sub>, utilizando versão F.

<b>Versão F – Capacitor Tântalo não Sólido 100 VDC – Ambiente C<sub>L</sub></b>	
<b>Capacitância (μF)</b>	<b>Taxa de Falhas – (λp)</b>
2,5	<b>1,549375</b> falhas/10 <sup>6</sup> horas
4,7	<b>1,615292</b> falhas/10 <sup>6</sup> horas
11	<b>1,708537</b> falhas/10 <sup>6</sup> horas
22	<b>1,788515</b> falhas/10 <sup>6</sup> horas
30	<b>1,825503</b> falhas/10 <sup>6</sup> horas
43	<b>1,869397</b> falhas/10 <sup>6</sup> horas
86	<b>1,956904</b> falhas/10 <sup>6</sup> horas

**A 3 - Capacitor Fixo, Eletrolítico, Tantão, Sólido (MIL HDBK 217 F – seção 10.12)**

$$\lambda_p = \lambda_b \cdot \pi_{CV} \cdot \pi_{SR} \cdot \pi_Q \cdot \pi_E \text{ Failures}/10^6 \text{ hours} \quad (\text{A.3})$$

**Primeiro Caso:** Ambiente S<sub>F</sub>. **Condição A)** Tensão de 50 VDC

Base Failure Rate ( $\lambda_b$ ) = 0.044696945

Quality Factor ( $\pi_Q$ ) = 0.001

Construction Factor ( $\pi_{SR}$ ) = 0.1

Environment Factor ( $\pi_E$ ) = 0.4

Capacitance Factor 0.01  $\mu\text{F}$  ( $\pi_{CV}$ ) = 0.575439937

Capacitance Factor 0.022  $\mu\text{F}$  ( $\pi_{CV}$ ) = 0.632543972

Capacitance Factor 0.068  $\mu\text{F}$  ( $\pi_{CV}$ ) = 0.724270955

Capacitance Factor 0.15  $\mu\text{F}$  ( $\pi_{CV}$ ) = 0.796399449

Capacitance Factor 0.22  $\mu\text{F}$  ( $\pi_{CV}$ ) = 0.833855354

Capacitance Factor 0.68  $\mu\text{F}$  ( $\pi_{CV}$ ) = 0.954775067

Capacitance Factor 1  $\mu\text{F}$  ( $\pi_{CV}$ ) = 1

Capacitance Factor 1.5  $\mu\text{F}$  ( $\pi_{CV}$ ) = 1.049858941

Capacitance Factor 1.8  $\mu\text{F}$  ( $\pi_{CV}$ ) = 1.073081483

Capacitance Factor 2.7  $\mu\text{F}$  ( $\pi_{CV}$ ) = 1.126584189

Capacitance Factor 3.9  $\mu\text{F}$  ( $\pi_{CV}$ ) = 1.177410089

Capacitance Factor 4.7  $\mu\text{F}$  ( $\pi_{CV}$ ) = 1.20407002

Capacitance Factor 6.8  $\mu\text{F}$  ( $\pi_{CV}$ ) = 1.258638666

Capacitance Factor 8.2  $\mu\text{F}$  ( $\pi_{CV}$ ) = 1.287234474

Capacitance Factor 10  $\mu\text{F}$  ( $\pi_{CV}$ ) = 1.318256739

Tabela A.25 - Taxas de falhas para Capacitor de Tântalo Sólido com 50 VDC para diferentes Capacitâncias, ambiente  $S_F$ , utilizando versão F.

<b>Versão F – Capacitor Tântalo Sólido 50 VDC – Ambiente <math>S_F</math></b>	
<b>Capacitância (<math>\mu\text{F}</math>)</b>	<b>Taxa de Falhas – (<math>\lambda_p</math>)</b>
0,01	<b>1,02882E-06</b> falhas/ $10^6$ horas
0,022	<b>1,13091E-06</b> falhas/ $10^6$ horas
0,068	<b>1,29491E-06</b> falhas/ $10^6$ horas
0,15	<b>1,42386E-06</b> falhas/ $10^6$ horas
0,22	<b>1,49083E-06</b> falhas/ $10^6$ horas
0,68	<b>1,70702E-06</b> falhas/ $10^6$ horas
1	<b>1,78788E-06</b> falhas/ $10^6$ horas
1,5	<b>1,87702E-06</b> falhas/ $10^6$ horas
1,8	<b>1,91854E-06</b> falhas/ $10^6$ horas
2,7	<b>2,01419E-06</b> falhas/ $10^6$ horas
3,9	<b>2,10507E-06</b> falhas/ $10^6$ horas
4,7	<b>2,15273E-06</b> falhas/ $10^6$ horas
6,8	<b>2,25029E-06</b> falhas/ $10^6$ horas
8,2	<b>2,30142E-06</b> falhas/ $10^6$ horas
10	<b>2,35688E-06</b> falhas/ $10^6$ horas

**Primeiro Caso:** Ambiente  $S_F$ . **Condição B)** Tensão de 75 VDC

Base Failure Rate ( $\lambda_b$ ) = 0.044696945

Quality Factor ( $\pi_Q$ ) = 0.001

Construction Factor ( $\pi_{SR}$ ) = 0.1

Environment Factor ( $\pi_E$ ) = 0.4

Capacitance Factor 0.1  $\mu\text{F}$  ( $\pi_{CV}$ ) = 0.758577575

Capacitance Factor 0.15  $\mu\text{F}$  ( $\pi_{CV}$ ) = 0.796399449

Capacitance Factor 0.22  $\mu\text{F}$  ( $\pi_{CV}$ ) = 0.833855354

Capacitance Factor 0.33  $\mu\text{F}$  ( $\pi_{CV}$ ) = 0.875430499

Capacitance Factor 0.47  $\mu\text{F}$  ( $\pi_{CV}$ ) = 0.913380516

Capacitance Factor 0.56  $\mu\text{F}$  ( $\pi_{CV}$ ) = 0.932787168

Capacitance Factor 1  $\mu\text{F}$  ( $\pi_{CV}$ ) = 1

Capacitance Factor 1.5  $\mu\text{F}$  ( $\pi_{CV}$ ) = 1.049858941

Capacitance Factor 2.2  $\mu\text{F}$  ( $\pi_{CV}$ ) = 1.09923544

Capacitance Factor 3.3  $\mu\text{F}$  ( $\pi_{CV}$ ) = 1.154042154

Capacitance Factor 4.7  $\mu\text{F}$  ( $\pi_{CV}$ ) = 1.20407002

Capacitance Factor 6.8  $\mu\text{F}$  ( $\pi_{CV}$ ) = 1.258638666

Capacitance Factor 10  $\mu\text{F}$  ( $\pi_{CV}$ ) = 1.318256739

Capacitance Factor 12  $\mu\text{F}$  ( $\pi_{CV}$ ) = 1.347416153

Capacitance Factor 15  $\mu\text{F}$  ( $\pi_{CV}$ ) = 1.383983623

Tabela A.26 - Taxas de falhas para Capacitor de Tântalo Sólido com 75 VDC para diferentes Capacitâncias, ambiente S<sub>F</sub>, utilizando versão F.

<b>Versão F – Capacitor Tântalo Sólido 75 VDC – Ambiente S<sub>F</sub></b>	
<b>Capacitância (μF)</b>	<b>Taxa de Falhas – (λp)</b>
0,1	<b>6,78122E-06</b> falhas/10 <sup>6</sup> horas
0,15	<b>7,11932E-06</b> falhas/10 <sup>6</sup> horas
0,22	<b>7,45416E-06</b> falhas/10 <sup>6</sup> horas
0,33	<b>7,82581E-06</b> falhas/10 <sup>6</sup> horas
0,47	<b>8,16506E-06</b> falhas/10 <sup>6</sup> horas
0,56	<b>8,33855E-06</b> falhas/10 <sup>6</sup> horas
1	<b>8,93939E-06</b> falhas/10 <sup>6</sup> horas
1,5	<b>9,3851E-06</b> falhas/10 <sup>6</sup> horas
2,2	<b>9,82649E-06</b> falhas/10 <sup>6</sup> horas
3,3	<b>1,03164E-05</b> falhas/10 <sup>6</sup> horas
4,7	<b>1,07637E-05</b> falhas/10 <sup>6</sup> horas
6,8	<b>1,12515E-05</b> falhas/10 <sup>6</sup> horas
10	<b>1,17844E-05</b> falhas/10 <sup>6</sup> horas
12	<b>1,20451E-05</b> falhas/10 <sup>6</sup> horas
15	<b>1,2372E-05</b> falhas/10 <sup>6</sup> horas

**Primeiro Caso:** Ambiente S<sub>F</sub>. **Condição C)** Tensão de 100 VDC

Base Failure Rate (λ<sub>b</sub>) = 0.044696945

Quality Factor (π<sub>Q</sub>) = 0.001

Construction Factor (π<sub>SR</sub>) = 0.1

Environment Factor (π<sub>E</sub>) = 0.4

Capacitance Factor 0.0056 μF (π<sub>CV</sub>) = 0.53676299

Capacitance Factor 0.0082 μF (π<sub>CV</sub>) = 0.561898228

Capacitance Factor 0.012 μF (π<sub>CV</sub>) = 0.588168484

Capacitance Factor 0.015  $\mu\text{F}$  ( $\pi_{CV}$ ) = 0.604130763

Capacitance Factor 0.022  $\mu\text{F}$  ( $\pi_{CV}$ ) = 0.632543972

Capacitance Factor 0.27  $\mu\text{F}$  ( $\pi_{CV}$ ) = 0.854601502

Capacitance Factor 0.39  $\mu\text{F}$  ( $\pi_{CV}$ ) = 0.89315689

Capacitance Factor 0.56  $\mu\text{F}$  ( $\pi_{CV}$ ) = 0.932787168

Capacitance Factor 1  $\mu\text{F}$  ( $\pi_{CV}$ ) = 1

Capacitance Factor 1.2  $\mu\text{F}$  ( $\pi_{CV}$ ) = 1.022119678

Capacitance Factor 1.5  $\mu\text{F}$  ( $\pi_{CV}$ ) = 1.049858941

Capacitance Factor 2.2  $\mu\text{F}$  ( $\pi_{CV}$ ) = 1.09923544

Capacitance Factor 3.3  $\mu\text{F}$  ( $\pi_{CV}$ ) = 1.154042154

Capacitance Factor 4.7  $\mu\text{F}$  ( $\pi_{CV}$ ) = 1.20407002

Capacitance Factor 6.8  $\mu\text{F}$  ( $\pi_{CV}$ ) = 1.258638666

Tabela A.27 - Taxas de falhas para Capacitor de Tântalo Sólido com 100 VDC para diferentes Capacitâncias, ambiente S<sub>F</sub>, utilizando versão F.

<b>Versão F – Capacitor Tântalo Sólido 100 VDC – Ambiente S<sub>F</sub></b>	
<b>Capacitância (μF)</b>	<b>Taxa de Falha – (λp)</b>
0,0056	<b>4,79833E-06</b> falhas/10 <sup>6</sup> horas
0,0082	<b>5,02303E-06</b> falhas/10 <sup>6</sup> horas
0,012	<b>5,25787E-06</b> falhas/10 <sup>6</sup> horas
0,015	<b>5,40056E-06</b> falhas/10 <sup>6</sup> horas
0,022	<b>5,65456E-06</b> falhas/10 <sup>6</sup> horas
0,27	<b>7,63962E-06</b> falhas/10 <sup>6</sup> horas
0,39	<b>7,98428E-06</b> falhas/10 <sup>6</sup> horas
0,56	<b>8,33855E-06</b> falhas/10 <sup>6</sup> horas
1	<b>8,93939E-06</b> falhas/10 <sup>6</sup> horas
1,2	<b>9,13713E-06</b> falhas/10 <sup>6</sup> horas
1,5	<b>9,3851E-06</b> falhas/10 <sup>6</sup> horas
2,2	<b>9,82649E-06</b> falhas/10 <sup>6</sup> horas
3,3	<b>1,03164E-05</b> falhas/10 <sup>6</sup> horas
4,7	<b>1,07637E-05</b> falhas/10 <sup>6</sup> horas
6,8	<b>1,12515E-05</b> falhas/10 <sup>6</sup> horas

**Segundo Caso:** Ambiente A<sub>IC</sub>. **Condição A)** Tensão de 50 VDC

Environment Factor ( $\pi_E$ ) = 4

O valor da taxa básica de falhas e os valores dos demais fatores de correção para capacitores de tântalo sólidos no ambiente A<sub>IC</sub> não diferem da Condição A para ambiente S<sub>F</sub>, usá-lo como referência.

Tabela A.28 - Taxas de falhas para Capacitor de Tântalo Sólido com 50 VDC para diferentes Capacitâncias, ambiente A<sub>IC</sub>, utilizando versão F.

<b>Versão F – Capacitor Tântalo Sólido 50 VDC – Ambiente A<sub>IC</sub></b>	
<b>Capacitância (μF)</b>	<b>Taxa de Falhas – (λp)</b>
0,01	<b>1,02882E-05</b> falhas/10 <sup>6</sup> horas
0,022	<b>1,13091E-05</b> falhas/10 <sup>6</sup> horas
0,068	<b>1,29491E-05</b> falhas/10 <sup>6</sup> horas
0,15	<b>1,42386E-05</b> falhas/10 <sup>6</sup> horas
0,22	<b>1,49083E-05</b> falhas/10 <sup>6</sup> horas
0,68	<b>1,70702E-05</b> falhas/10 <sup>6</sup> horas
1	<b>1,78788E-05</b> falhas/10 <sup>6</sup> horas
1,5	<b>1,87702E-05</b> falhas/10 <sup>6</sup> horas
1,8	<b>1,91854E-05</b> falhas/10 <sup>6</sup> horas
2,7	<b>2,01419E-05</b> falhas/10 <sup>6</sup> horas
3,9	<b>2,10507E-05</b> falhas/10 <sup>6</sup> horas
4,7	<b>2,15273E-05</b> falhas/10 <sup>6</sup> horas
6,8	<b>2,25029E-05</b> falhas/10 <sup>6</sup> horas
8,2	<b>2,30142E-05</b> falhas/10 <sup>6</sup> horas
10	<b>2,35688E-05</b> falhas/10 <sup>6</sup> horas

**Segundo Caso:** Ambiente A<sub>IC</sub>. **Condição B)** Tensão de 75 VDC

Environment Factor ( $\pi_E$ ) = 4

O valor da taxa básica de falhas e os valores dos demais fatores de correção para capacitores de tântalo sólidos no ambiente A<sub>IC</sub> não diferem da Condição B para ambiente S<sub>F</sub>, usá-lo como referência.

Tabela A.29 - Taxas de falhas para Capacitor de Tântalo Sólido com 75 VDC para diferentes Capacitâncias, ambiente A<sub>IC</sub>, utilizando versão F.

<b>Versão F – Capacitor Tântalo Sólido 75 VDC – Ambiente A<sub>IC</sub></b>	
<b>Capacitância (μF)</b>	<b>Taxa de Falhas – (λp)</b>
0,1	<b>1,35624E-05</b> falhas/10 <sup>6</sup> horas
0,15	<b>1,42386E-05</b> falhas/10 <sup>6</sup> horas
0,22	<b>1,49083E-05</b> falhas/10 <sup>6</sup> horas
0,33	<b>1,56516E-05</b> falhas/10 <sup>6</sup> horas
0,47	<b>1,63301E-05</b> falhas/10 <sup>6</sup> horas
0,56	<b>1,66771E-05</b> falhas/10 <sup>6</sup> horas
1	<b>1,78788E-05</b> falhas/10 <sup>6</sup> horas
1,5	<b>1,87702E-05</b> falhas/10 <sup>6</sup> horas
2,2	<b>1,9653E-05</b> falhas/10 <sup>6</sup> horas
3,3	<b>2,06329E-05</b> falhas/10 <sup>6</sup> horas
4,7	<b>2,15273E-05</b> falhas/10 <sup>6</sup> horas
6,8	<b>2,25029E-05</b> falhas/10 <sup>6</sup> horas
10	<b>2,35688E-05</b> falhas/10 <sup>6</sup> horas
12	<b>2,40902E-05</b> falhas/10 <sup>6</sup> horas
15	<b>2,47439E-05</b> falhas/10 <sup>6</sup> horas

**Segundo Caso:** Ambiente A<sub>IC</sub>. **Condição C)** Tensão de 100 VDC

Environment Factor ( $\pi_E$ ) = 4

O valor da taxa básica de falhas e os valores dos demais fatores de correção para capacitores de tântalo sólidos no ambiente A<sub>IC</sub> não diferem da Condição C para ambiente S<sub>F</sub>, usá-lo como referência.

Tabela A.30 - Taxas de falhas para Capacitor de Tântalo Sólido com 100 VDC para diferentes Capacitâncias, ambiente A<sub>IC</sub>, utilizando versão F.

<b>Versão F – Capacitor Tântalo Sólido 100 VDC – Ambiente A<sub>IC</sub></b>	
<b>Capacitância (μF)</b>	<b>Taxa de Falhas – (λp)</b>
0,0056	<b>9,59667E-06</b> falhas/10 <sup>6</sup> horas
0,0082	<b>1,00461E-05</b> falhas/10 <sup>6</sup> horas
0,012	<b>1,05157E-05</b> falhas/10 <sup>6</sup> horas
0,015	<b>1,08011E-05</b> falhas/10 <sup>6</sup> horas
0,022	<b>1,13091E-05</b> falhas/10 <sup>6</sup> horas
0,27	<b>1,52792E-05</b> falhas/10 <sup>6</sup> horas
0,39	<b>1,59686E-05</b> falhas/10 <sup>6</sup> horas
0,56	<b>1,66771E-05</b> falhas/10 <sup>6</sup> horas
1	<b>1,78788E-05</b> falhas/10 <sup>6</sup> horas
1,2	<b>1,82743E-05</b> falhas/10 <sup>6</sup> horas
1,5	<b>1,87702E-05</b> falhas/10 <sup>6</sup> horas
2,2	<b>1,9653E-05</b> falhas/10 <sup>6</sup> horas
3,3	<b>2,06329E-05</b> falhas/10 <sup>6</sup> horas
4,7	<b>2,15273E-05</b> falhas/10 <sup>6</sup> horas
6,8	<b>2,25029E-05</b> falhas/10 <sup>6</sup> horas

**Terceiro Caso:** Ambiente G<sub>F</sub>. **Condição A)** Tensão de 50 VDC

Environment Factor (π<sub>E</sub>) = 2

O valor da taxa básica de falhas e os valores dos demais fatores de correção para capacitores de tântalo sólidos no ambiente G<sub>F</sub> não diferem da Condição A para ambiente S<sub>F</sub>, usá-lo como referência.

Tabela A.31 - Taxas de falhas para Capacitor de Tântalo Sólido com 50 VDC para diferentes Capacitâncias, ambiente  $G_F$ , utilizando versão F.

<b>Versão F – Capacitor Tântalo Sólido 50 VDC – Ambiente <math>G_F</math></b>	
<b>Capacitância (<math>\mu F</math>)</b>	<b>Taxa de Falhas – (<math>\lambda_p</math>)</b>
0,01	<b>5,14408E-06</b> falhas/ $10^6$ horas
0,022	<b>5,65456E-06</b> falhas/ $10^6$ horas
0,068	<b>6,47454E-06</b> falhas/ $10^6$ horas
0,15	<b>7,11932E-06</b> falhas/ $10^6$ horas
0,22	<b>7,45416E-06</b> falhas/ $10^6$ horas
0,68	<b>8,53511E-06</b> falhas/ $10^6$ horas
1	<b>8,93939E-06</b> falhas/ $10^6$ horas
1,5	<b>9,3851E-06</b> falhas/ $10^6$ horas
1,8	<b>9,59269E-06</b> falhas/ $10^6$ horas
2,7	<b>1,0071E-05</b> falhas/ $10^6$ horas
3,9	<b>1,05253E-05</b> falhas/ $10^6$ horas
4,7	<b>1,07637E-05</b> falhas/ $10^6$ horas
6,8	<b>1,12515E-05</b> falhas/ $10^6$ horas
8,2	<b>1,15071E-05</b> falhas/ $10^6$ horas
10	<b>1,17844E-05</b> falhas/ $10^6$ horas

**Terceiro Caso:** Ambiente  $G_F$ . **Condição B)** Tensão de 75 VDC

Environment Factor ( $\pi_E$ ) = 2

O valor da taxa básica de falhas e os valores dos demais fatores de correção para capacitores de tântalo sólidos no ambiente  $G_F$  não diferem da Condição B para ambiente  $S_F$ , usá-lo como referência.

Tabela A.32 - Taxas de falhas para Capacitor de Tântalo Sólido com 75 VDC para diferentes Capacitâncias, ambiente  $G_F$ , utilizando versão F.

<b>Versão F – Capacitor Tântalo Sólido 75 VDC – Ambiente <math>G_F</math></b>	
<b>Capacitância (<math>\mu F</math>)</b>	<b>Taxa de Falhas – (<math>\lambda_p</math>)</b>
0,1	<b>6,78122E-06</b> falhas/ $10^6$ horas
0,15	<b>7,11932E-06</b> falhas/ $10^6$ horas
0,22	<b>7,45416E-06</b> falhas/ $10^6$ horas
0,33	<b>7,82581E-06</b> falhas/ $10^6$ horas
0,47	<b>8,16506E-06</b> falhas/ $10^6$ horas
0,56	<b>8,33855E-06</b> falhas/ $10^6$ horas
1	<b>8,93939E-06</b> falhas/ $10^6$ horas
1,5	<b>9,3851E-06</b> falhas/ $10^6$ horas
2,2	<b>9,82649E-06</b> falhas/ $10^6$ horas
3,3	<b>1,03164E-05</b> falhas/ $10^6$ horas
4,7	<b>1,07637E-05</b> falhas/ $10^6$ horas
6,8	<b>1,12515E-05</b> falhas/ $10^6$ horas
10	<b>1,17844E-05</b> falhas/ $10^6$ horas
12	<b>1,20451E-05</b> falhas/ $10^6$ horas
15	<b>1,2372E-05</b> falhas/ $10^6$ horas

**Terceiro Caso:** Ambiente  $G_F$ . **Condição C)** Tensão de 100 VDC

Environment Factor ( $\pi_E$ ) = 2

O valor da taxa básica de falhas e os valores dos demais fatores de correção para capacitores de tântalo sólidos no ambiente  $G_F$  não diferem da Condição C para ambiente  $S_F$ , usá-lo como referência.

Tabela A.33 - Taxas de falhas para Capacitor de Tântalo Sólido com 100 VDC para diferentes Capacitâncias, ambiente  $G_F$ , utilizando versão F.

<b>Versão F – Capacitor Tântalo Sólido 100 VDC – Ambiente <math>G_F</math></b>	
<b>Capacitância (<math>\mu F</math>)</b>	<b>Taxa de Falhas – (<math>\lambda_p</math>)</b>
0,0056	<b>4,79833E-06</b> falhas/ $10^6$ horas
0,0082	<b>5,02303E-06</b> falhas/ $10^6$ horas
0,012	<b>5,25787E-06</b> falhas/ $10^6$ horas
0,015	<b>5,40056E-06</b> falhas/ $10^6$ horas
0,022	<b>5,65456E-06</b> falhas/ $10^6$ horas
0,27	<b>7,63962E-06</b> falhas/ $10^6$ horas
0,39	<b>7,98428E-06</b> falhas/ $10^6$ horas
0,56	<b>8,33855E-06</b> falhas/ $10^6$ horas
1	<b>8,93939E-06</b> falhas/ $10^6$ horas
1,2	<b>9,13713E-06</b> falhas/ $10^6$ horas
1,5	<b>9,3851E-06</b> falhas/ $10^6$ horas
2,2	<b>9,82649E-06</b> falhas/ $10^6$ horas
3,3	<b>1,03164E-05</b> falhas/ $10^6$ horas
4,7	<b>1,07637E-05</b> falhas/ $10^6$ horas
6,8	<b>1,12515E-05</b> falhas/ $10^6$ horas

**Quarto Caso:** Ambiente  $C_L$ . **Condição A)** Tensão de 50 VDC

Environment Factor ( $\pi_E$ ) = 530

O valor da taxa básica de falhas e os valores dos demais fatores de correção para capacitores de tântalo sólidos no ambiente  $C_L$  não diferem da Condição A para ambiente  $S_F$ , usá-lo como referência.

Tabela A.34 - Taxas de falhas para Capacitor de Tântalo Sólido com 50 VDC para diferentes Capacitâncias, ambiente C<sub>L</sub>, utilizando versão F.

<b>Versão F – Capacitor Tântalo Sólido 50 VDC – Ambiente C<sub>L</sub></b>	
<b>Capacitância (μF)</b>	<b>Taxa de Falhas – (λp)</b>
0,01	<b>0,001363182</b> falhas/10 <sup>6</sup> horas
0,022	<b>0,001498457</b> falhas/10 <sup>6</sup> horas
0,068	<b>0,001715753</b> falhas/10 <sup>6</sup> horas
0,15	<b>0,001886621</b> falhas/10 <sup>6</sup> horas
0,22	<b>0,001975352</b> falhas/10 <sup>6</sup> horas
0,68	<b>0,002261803</b> falhas/10 <sup>6</sup> horas
1	<b>0,002368938</b> falhas/10 <sup>6</sup> horas
1,5	<b>0,002487051</b> falhas/10 <sup>6</sup> horas
1,8	<b>0,002542064</b> falhas/10 <sup>6</sup> horas
2,7	<b>0,002668808</b> falhas/10 <sup>6</sup> horas
3,9	<b>0,002789212</b> falhas/10 <sup>6</sup> horas
4,7	<b>0,002852367</b> falhas/10 <sup>6</sup> horas
6,8	<b>0,002981637</b> falhas/10 <sup>6</sup> horas
8,2	<b>0,003049379</b> falhas/10 <sup>6</sup> horas
10	<b>0,003122869</b> falhas/10 <sup>6</sup> horas

**Quarto Caso:** Ambiente C<sub>L</sub>. **Condição B)** Tensão de 75 VDC

Environment Factor (π<sub>E</sub>) = 530

O valor da taxa básica de falhas e os valores dos demais fatores de correção para capacitores de tântalo sólidos no ambiente C<sub>L</sub> não diferem da Condição B para ambiente S<sub>F</sub>, usá-lo como referência.

Tabela A.35 - Taxas de falhas para Capacitor de Tântalo Sólido com 75 VDC para diferentes Capacitâncias, ambiente C<sub>L</sub>, utilizando versão F.

<b>Versão F – Capacitor Tântalo Sólido 75 VDC – Ambiente C<sub>L</sub></b>	
<b>Capacitância (μF)</b>	<b>Taxa de Falhas – (λp)</b>
0,1	<b>0,001797023</b> falhas/10 <sup>6</sup> horas
0,15	<b>0,001886621</b> falhas/10 <sup>6</sup> horas
0,22	<b>0,001975352</b> falhas/10 <sup>6</sup> horas
0,33	<b>0,002073841</b> falhas/10 <sup>6</sup> horas
0,47	<b>0,002163742</b> falhas/10 <sup>6</sup> horas
0,56	<b>0,002209715</b> falhas/10 <sup>6</sup> horas
1	<b>0,002368938</b> falhas/10 <sup>6</sup> horas
1,5	<b>0,002487051</b> falhas/10 <sup>6</sup> horas
2,2	<b>0,002604021</b> falhas/10 <sup>6</sup> horas
3,3	<b>0,002733854</b> falhas/10 <sup>6</sup> horas
4,7	<b>0,002852367</b> falhas/10 <sup>6</sup> horas
6,8	<b>0,002981637</b> falhas/10 <sup>6</sup> horas
10	<b>0,003122869</b> falhas/10 <sup>6</sup> horas
12	<b>0,003191945</b> falhas/10 <sup>6</sup> horas
15	<b>0,003278571</b> falhas/10 <sup>6</sup> horas

**Quarto Caso:** Ambiente C<sub>L</sub>. **Condição C)** Tensão de 100 VDC

Environment Factor (π<sub>E</sub>) = 530

O valor da taxa básica de falhas e os valores dos demais fatores de correção para capacitores de tântalo sólidos no ambiente C<sub>L</sub> não diferem da Condição C para ambiente S<sub>F</sub>, usá-lo como referência.

Tabela A.36 - Taxas de falhas para Capacitor de Tântalo Sólido com 100 VDC para diferentes Capacitâncias, ambiente C<sub>L</sub>, utilizando versão F.

<b>Versão F – Capacitor Tântalo Sólido 100 VDC – Ambiente C<sub>L</sub></b>	
<b>Capacitância (μF)</b>	<b>Taxa de Falhas – (λ<sub>p</sub>)</b>
0,0056	<b>0,001271558</b> falhas/10 <sup>6</sup> horas
0,0082	<b>0,001331102</b> falhas/10 <sup>6</sup> horas
0,012	<b>0,001393335</b> falhas/10 <sup>6</sup> horas
0,015	<b>0,001431148</b> falhas/10 <sup>6</sup> horas
0,022	<b>0,001498457</b> falhas/10 <sup>6</sup> horas
0,27	<b>0,002024498</b> falhas/10 <sup>6</sup> horas
0,39	<b>0,002115833</b> falhas/10 <sup>6</sup> horas
0,56	<b>0,002209715</b> falhas/10 <sup>6</sup> horas
1	<b>0,002368938</b> falhas/10 <sup>6</sup> horas
1,2	<b>0,002421338</b> falhas/10 <sup>6</sup> horas
1,5	<b>0,002487051</b> falhas/10 <sup>6</sup> horas
2,2	<b>0,002604021</b> falhas/10 <sup>6</sup> horas
3,3	<b>0,002733854</b> falhas/10 <sup>6</sup> horas
4,7	<b>0,002852367</b> falhas/10 <sup>6</sup> horas
6,8	<b>0,002981637</b> falhas/10 <sup>6</sup> horas

#### A 4 - Capacitor Fixo de Vidro (MIL HDBK 217 F – seção 10.9)

$$\lambda_p = \lambda_b \cdot \pi_{CV} \cdot \pi_Q \cdot \pi_E \text{ Failures}/10^6 \text{ hours} \quad (\text{A.4})$$

##### **Primeiro Caso:** Ambiente S<sub>F</sub>. **Condição A)**

Base Failure Rate (λ<sub>b</sub>) = 0.004649594

Quality Factor (π<sub>Q</sub>) = 0.03

Environment Factor (π<sub>E</sub>) = 0.5

Capacitance Factor 3 pF (π<sub>CV</sub>) = 0.723083856

Capacitance Factor 10 pF ( $\pi_{CV}$ ) = 0.855838244

Capacitance Factor 20 pF ( $\pi_{CV}$ ) = 0.943052539

Capacitance Factor 30 pF ( $\pi_{CV}$ ) = 0.998133576

Capacitance Factor 43 pF ( $\pi_{CV}$ ) = 1.049729189

Capacitance Factor 51 pF ( $\pi_{CV}$ ) = 1.075106566

Capacitance Factor 62 pF ( $\pi_{CV}$ ) = 1.104909038

Capacitance Factor 82 pF ( $\pi_{CV}$ ) = 1.149014816

Capacitance Factor 91 pF ( $\pi_{CV}$ ) = 1.16589

Capacitance Factor 100 pF ( $\pi_{CV}$ ) = 1.181385645

Capacitance Factor 150 pF ( $\pi_{CV}$ ) = 1.250387046

Capacitance Factor 200 pF ( $\pi_{CV}$ ) = 1.301774886

Capacitance Factor 240 pF ( $\pi_{CV}$ ) = 1.335430415

Capacitance Factor 300 pF ( $\pi_{CV}$ ) = 1.377807883

Capacitance Factor 360 pF ( $\pi_{CV}$ ) = 1.413429136

Capacitance Factor 470 pF ( $\pi_{CV}$ ) = 1.467186727

Capacitance Factor 560 pF ( $\pi_{CV}$ ) = 1.503619721

Capacitance Factor 620 pF ( $\pi_{CV}$ ) = 1.52519905

Capacitance Factor 820 pF ( $\pi_{CV}$ ) = 1.586081972

Capacitance Factor 1000 pF ( $\pi_{CV}$ ) = 1.630766155

Capacitance Factor 1200 pF ( $\pi_{CV}$ ) = 1.672927283

Capacitance Factor 1300 pF ( $\pi_{CV}$ ) = 1.691779503

Capacitance Factor 1600 pF ( $\pi_{CV}$ ) = 1.74168049

Capacitance Factor 2000 pF ( $\pi_{CV}$ ) = 1.796949569

Tabela A.37 - Taxas de falhas para Capacitor de vidro com 300 VDC para diferentes Capacitâncias, ambiente  $S_F$ , utilizando versão F.

<b>Versão F – Capacitor Vidro 300 VDC – Ambiente <math>S_F</math></b>	
<b>Capacitância (pF)</b>	<b>Taxa de Falhas – (<math>\lambda_p</math>)</b>
3	<b>5,04E-05</b> falhas/10 <sup>6</sup> horas
10	<b>5,97E-05</b> falhas/10 <sup>6</sup> horas
20	<b>6,58E-05</b> falhas/10 <sup>6</sup> horas
30	<b>6,96E-05</b> falhas/10 <sup>6</sup> horas
43	<b>7,32E-05</b> falhas/10 <sup>6</sup> horas
51	<b>7,5E-05</b> falhas/10 <sup>6</sup> horas
62	<b>7,71E-05</b> falhas/10 <sup>6</sup> horas
82	<b>8,01E-05</b> falhas/10 <sup>6</sup> horas
91	<b>8,13E-05</b> falhas/10 <sup>6</sup> horas
100	<b>8,24E-05</b> falhas/10 <sup>6</sup> horas
150	<b>8,72E-05</b> falhas/10 <sup>6</sup> horas
200	<b>9,08E-05</b> falhas/10 <sup>6</sup> horas
240	<b>9,31E-05</b> falhas/10 <sup>6</sup> horas
300	<b>9,61E-05</b> falhas/10 <sup>6</sup> horas
360	<b>9,86E-05</b> falhas/10 <sup>6</sup> horas
470	<b>0,000102</b> falhas/10 <sup>6</sup> horas
560	<b>0,000105</b> falhas/10 <sup>6</sup> horas
620	<b>0,000106</b> falhas/10 <sup>6</sup> horas
820	<b>0,000111</b> falhas/10 <sup>6</sup> horas
1000	<b>0,000114</b> falhas/10 <sup>6</sup> horas
1200	<b>0,000117</b> falhas/10 <sup>6</sup> horas
1300	<b>0,000118</b> falhas/10 <sup>6</sup> horas
1600	<b>0,000121</b> falhas/10 <sup>6</sup> horas
2000	<b>0,000125</b> falhas/10 <sup>6</sup> horas

**Segundo Caso: Ambiente A<sub>IC</sub>. Condição A)**

Environment Factor ( $\pi_E$ ) = 5

O valor da taxa básica de falhas e os valores dos demais fatores de correção para capacitores de vidro no ambiente A<sub>IC</sub> não diferem do Primeiro Caso.

Tabela A.38- Taxas de falhas para Capacitor de vidro com 300 VDC para diferentes Capacitâncias, ambiente A<sub>IC</sub>, utilizando versão F.

<b>Versão F – Capacitor Vidro 300 VDC – Ambiente A<sub>IC</sub></b>	
<b>Capacitância (pF)</b>	<b>Taxa de Falhas – (<math>\lambda_p</math>)</b>
3	<b>0,000504</b> falhas/10 <sup>6</sup> horas
10	<b>0,000597</b> falhas/10 <sup>6</sup> horas
20	<b>0,000658</b> falhas/10 <sup>6</sup> horas
30	<b>0,000696</b> falhas/10 <sup>6</sup> horas
43	<b>0,000732</b> falhas/10 <sup>6</sup> horas
51	<b>0,00075</b> falhas/10 <sup>6</sup> horas
62	<b>0,000771</b> falhas/10 <sup>6</sup> horas
82	<b>0,000801</b> falhas/10 <sup>6</sup> horas
91	<b>0,000813</b> falhas/10 <sup>6</sup> horas
100	<b>0,000824</b> falhas/10 <sup>6</sup> horas
150	<b>0,000872</b> falhas/10 <sup>6</sup> horas
200	<b>0,000908</b> falhas/10 <sup>6</sup> horas
240	<b>0,000931</b> falhas/10 <sup>6</sup> horas
300	<b>0,000961</b> falhas/10 <sup>6</sup> horas
360	<b>0,000986</b> falhas/10 <sup>6</sup> horas
470	<b>0,001023</b> falhas/10 <sup>6</sup> horas
560	<b>0,001049</b> falhas/10 <sup>6</sup> horas
620	<b>0,001064</b> falhas/10 <sup>6</sup> horas
820	<b>0,001106</b> falhas/10 <sup>6</sup> horas
1000	<b>0,001137</b> falhas/10 <sup>6</sup> horas
1200	<b>0,001167</b> falhas/10 <sup>6</sup> horas
1300	<b>0,00118</b> falhas/10 <sup>6</sup> horas
1600	<b>0,001215</b> falhas/10 <sup>6</sup> horas
2000	<b>0,001253</b> falhas/10 <sup>6</sup> horas

**Terceiro Caso:** Ambiente G<sub>F</sub>. **Condição A)**

$$\lambda_p = \lambda_b \cdot \pi_{CV} \cdot \pi_Q \cdot \pi_E \text{ Failures}/10^6 \text{ hours}$$

Environment Factor ( $\pi_E$ ) = 2

O valor da taxa básica de falhas e os valores dos demais fatores de correção para capacitores de vidro no ambiente A<sub>IC</sub> não diferem do Primeiro Caso.

Tabela A.39 - Taxas de falhas para Capacitor de vidro com 300 VDC para diferentes Capacitâncias, ambiente G<sub>F</sub>, utilizando versão F.

<b>Versão F – Capacitor Vidro 300 VDC – Ambiente G<sub>F</sub></b>	
<b>Capacitância (pF)</b>	<b>Taxa de Falhas – (<math>\lambda_p</math>)</b>
3	<b>0,000202</b> falhas/10 <sup>6</sup> horas
10	<b>0,000239</b> falhas/10 <sup>6</sup> horas
20	<b>0,000263</b> falhas/10 <sup>6</sup> horas
30	<b>0,000278</b> falhas/10 <sup>6</sup> horas
43	<b>0,000293</b> falhas/10 <sup>6</sup> horas
51	<b>0,0003</b> falhas/10 <sup>6</sup> horas
62	<b>0,000308</b> falhas/10 <sup>6</sup> horas
82	<b>0,000321</b> falhas/10 <sup>6</sup> horas
91	<b>0,000325</b> falhas/10 <sup>6</sup> horas
100	<b>0,00033</b> falhas/10 <sup>6</sup> horas
150	<b>0,000349</b> falhas/10 <sup>6</sup> horas
200	<b>0,000363</b> falhas/10 <sup>6</sup> horas
240	<b>0,000373</b> falhas/10 <sup>6</sup> horas
300	<b>0,000384</b> falhas/10 <sup>6</sup> horas
360	<b>0,000394</b> falhas/10 <sup>6</sup> horas
470	<b>0,000409</b> falhas/10 <sup>6</sup> horas
560	<b>0,000419</b> falhas/10 <sup>6</sup> horas
620	<b>0,000425</b> falhas/10 <sup>6</sup> horas
820	<b>0,000442</b> falhas/10 <sup>6</sup> horas
1000	<b>0,000455</b> falhas/10 <sup>6</sup> horas
1200	<b>0,000467</b> falhas/10 <sup>6</sup> horas
1300	<b>0,000472</b> falhas/10 <sup>6</sup> horas
1600	<b>0,000486</b> falhas/10 <sup>6</sup> horas
2000	<b>0,000501</b> falhas/10 <sup>6</sup> horas

**Quarto Caso:** Ambiente C<sub>L</sub>. **Condição A)**

Environment Factor ( $\pi_E$ ) = 610

O valor da taxa básica de falhas e os valores dos demais fatores de correção para capacitores de vidro no ambiente A<sub>IC</sub> não diferem do Primeiro Caso.

Tabela A.40 - Taxas de falhas para Capacitor de vidro com 300 VDC para diferentes Capacitâncias, ambiente C<sub>L</sub>, utilizando versão F.

<b>Versão F – Capacitor Vidro 300 VDC – Ambiente C<sub>L</sub></b>	
<b>Capacitância (pF)</b>	<b>Taxa de Falhas – (<math>\lambda_p</math>)</b>
3	<b>0,061525</b> falhas/10 <sup>6</sup> horas
10	<b>0,072821</b> falhas/10 <sup>6</sup> horas
20	<b>0,080242</b> falhas/10 <sup>6</sup> horas
30	<b>0,084929</b> falhas/10 <sup>6</sup> horas
43	<b>0,089319</b> falhas/10 <sup>6</sup> horas
51	<b>0,091478</b> falhas/10 <sup>6</sup> horas
62	<b>0,094014</b> falhas/10 <sup>6</sup> horas
82	<b>0,097767</b> falhas/10 <sup>6</sup> horas
91	<b>0,099203</b> falhas/10 <sup>6</sup> horas
100	<b>0,100521</b> falhas/10 <sup>6</sup> horas
150	<b>0,106392</b> falhas/10 <sup>6</sup> horas
200	<b>0,110765</b> falhas/10 <sup>6</sup> horas
240	<b>0,113629</b> falhas/10 <sup>6</sup> horas
300	<b>0,117234</b> falhas/10 <sup>6</sup> horas
360	<b>0,120265</b> falhas/10 <sup>6</sup> horas
470	<b>0,124839</b> falhas/10 <sup>6</sup> horas
560	<b>0,127939</b> falhas/10 <sup>6</sup> horas
620	<b>0,129775</b> falhas/10 <sup>6</sup> horas
820	<b>0,134956</b> falhas/10 <sup>6</sup> horas
1000	<b>0,138758</b> falhas/10 <sup>6</sup> horas
1200	<b>0,142345</b> falhas/10 <sup>6</sup> horas
1300	<b>0,143949</b> falhas/10 <sup>6</sup> horas
1600	<b>0,148195</b> falhas/10 <sup>6</sup> horas
2000	<b>0,152898</b> falhas/10 <sup>6</sup> horas

## A 5 - Resistor Fixo de Filme (MIL HDBK 217 F – seção 9.2)

$$\lambda_p = \lambda_b \cdot \pi_R \cdot \pi_Q \cdot \pi_E \text{ Failures}/10^6 \text{ hours} \quad (\text{A.5})$$

**Primeiro Caso:** Ambiente S<sub>F</sub>.

### **Resistor RN50 (C)**

Base Failure Rate ( $\lambda_b$ ) = 0.003432214

Resistance Factor ( $\pi_R$ ) = 1

Quality Factor ( $\pi_Q$ ) = 0.03

Environment Factor ( $\pi_E$ ) = 0.2

### **Resistor RN65 (C)**

Base Failure Rate ( $\lambda_b$ ) = 0.003432214

Resistance Factor ( $\pi_R$ ) = 1.1

Quality Factor ( $\pi_Q$ ) = 0.03

Environment Factor ( $\pi_E$ ) = 0.2

### **Resistor RN70 (D)**

Base Failure Rate ( $\lambda_b$ ) = 0.003432214

Resistance Factor ( $\pi_R$ ) = 1.6

Quality Factor ( $\pi_Q$ ) = 0.03

Environment Factor ( $\pi_E$ ) = 0.2

Tabela A.41 - Taxas de falhas para resistores de filme, fixo, ambiente S<sub>F</sub>, utilizando versão F.

<b>Versão F – Resistor, fixo, metal, filme– Ambiente S<sub>F</sub></b>	
<b>Estilo</b>	<b>Taxa de Falhas – (<math>\lambda_p</math>)</b>
RN50 (C)	<b>2,05933E-05</b> falhas/10 <sup>6</sup> horas
RN65 (D)	<b>3,29493E-05</b> falhas/10 <sup>6</sup> horas
RN70 (C)	<b>2,26526E-05</b> falhas/10 <sup>6</sup> horas

**Segundo Caso:** Ambiente A<sub>IC</sub>.

### **Resistor RN50**

Base Failure Rate ( $\lambda_b$ ) = 0.003432214

Resistance Factor ( $\pi_R$ ) = 1

Quality Factor ( $\pi_Q$ ) = 0.03

Environment Factor ( $\pi_E$ ) = 4

### **Resistor RN65 (C)**

Base Failure Rate ( $\lambda_b$ ) = 0.003432214

Resistance Factor ( $\pi_R$ ) = 1.1

Quality Factor ( $\pi_Q$ ) = 0.03

Environment Factor ( $\pi_E$ ) = 4

### **Resistor RN70 (D)**

Base Failure Rate ( $\lambda_b$ ) = 0.003432214

Resistance Factor ( $\pi_R$ ) = 1.6

Quality Factor ( $\pi_Q$ ) = 0.03

Environment Factor ( $\pi_E$ ) = 4

Tabela A.42 - Taxas de falhas para resistores de filme, fixo, ambiente A<sub>IC</sub>, utilizando versão F.

<b>Versão F – Resistor, fixo, metal, filme– Ambiente A<sub>IC</sub></b>	
<b>Estilo</b>	<b>Taxa de Falhas – (<math>\lambda_p</math>)</b>
RN50 (C)	<b>0,000411866</b> falhas/10 <sup>6</sup> horas
RN65 (C)	<b>0,000453052</b> falhas/10 <sup>6</sup> horas
RN70 (D)	<b>0,000658985</b> falhas/10 <sup>6</sup> horas

**Terceiro Caso:** Ambiente G<sub>F</sub>.

### **Resistor RN50**

Base Failure Rate ( $\lambda_b$ ) = 0.003432214

Resistance Factor ( $\pi_R$ ) = 1

Quality Factor ( $\pi_Q$ ) = 0.03

Environment Factor ( $\pi_E$ ) = 2

### Resistor RN65 (C)

Base Failure Rate ( $\lambda_b$ ) = 0.003432214

Resistance Factor ( $\pi_R$ ) = 1.1

Quality Factor ( $\pi_Q$ ) = 0.03

Environment Factor ( $\pi_E$ ) = 2

### Resistor RN70 (D)

Base Failure Rate ( $\lambda_b$ ) = 0.003432214

Resistance Factor ( $\pi_R$ ) = 1.6

Quality Factor ( $\pi_Q$ ) = 0.03

Environment Factor ( $\pi_E$ ) = 2

Tabela A.43 - Taxas de falhas para resistores de filme, fixo, ambiente  $G_F$ , utilizando versão F.

<b>Versão F – Resistor, fixo, metal, filme– Ambiente <math>G_F</math></b>	
<b>Estilo</b>	<b>Taxa de Falhas – (<math>\lambda_p</math>)</b>
RN50 (C)	<b>0,000205933</b> falhas/ $10^6$ horas
RN65 (C)	<b>0,000226526</b> falhas/ $10^6$ horas
RN70 (D)	<b>0,000329493</b> falhas/ $10^6$ horas

**Quarto Caso:** Ambiente CL.

**Resistor RN50**

Base Failure Rate ( $\lambda_b$ ) = 0.003432214

Resistance Factor ( $\pi_R$ ) = 1

Quality Factor ( $\pi_Q$ ) = 0.03

Environment Factor ( $\pi_E$ ) = 510

**Resistor RN65 (C)**

Base Failure Rate ( $\lambda_b$ ) = 0.003432214

Resistance Factor ( $\pi_R$ ) = 1.1

Quality Factor ( $\pi_Q$ ) = 0.03

Environment Factor ( $\pi_E$ ) = 510

**Resistor RN70 (D)**

Base Failure Rate ( $\lambda_b$ ) = 0.003432214

Resistance Factor ( $\pi_R$ ) = 1.6

Quality Factor ( $\pi_Q$ ) = 0.03

Environment Factor ( $\pi_E$ ) = 510

Tabela A.44 - Taxas de falhas para resistores de filme, fixo, ambiente C<sub>L</sub>, utilizando versão F.

<b>Versão F – Resistor, fixo, metal, filme– Ambiente C<sub>L</sub></b>	
<b>Estilo</b>	<b>Taxa de Falhas – (λ<sub>p</sub>)</b>
RN50 (C)	<b>0,05251287</b> falhas/10 <sup>6</sup> horas
RN65 (C)	<b>0,057764157</b> falhas/10 <sup>6</sup> horas
RN70 (D)	<b>0,084020592</b> falhas/10 <sup>6</sup> horas

**A 6 - Rede de Resistores Tipo Filme Fixo (MIL HDBK 217 F – seção 9.4)**

$$\lambda_p = 0,00006 \cdot \pi_T \cdot \pi_N \cdot \pi_Q \cdot \pi_E \text{ Failures}/10^6 \text{ hours} \quad (\text{A.6})$$

**Primeiro Caso:** Ambiente S<sub>F</sub>.

**PERFIL A = PERFIL C**

Temperature Factor (π<sub>T</sub>) = 5.963546585

Quality Factor (π<sub>Q</sub>) = 1

Environment Factor (π<sub>E</sub>) = 0.5

Number of Resistors Factor (π<sub>NR</sub>) = 3

Number of Resistors Factor (π<sub>NR</sub>) = 4

Number of Resistors Factor (π<sub>NR</sub>) = 5

Tabela A.45 - Taxas de falhas para resistores network de filme, fixo, ambiente S<sub>F</sub>, utilizando versão F.

<b>Versão F – Resistor, Network, fixo, metal, filme– Ambiente S<sub>F</sub></b>	
<b>Número de resistores de filme em uso</b>	<b>Taxa de Falhas – (<math>\lambda_p</math>)</b>
3	<b>0,000536719</b> falhas/10 <sup>6</sup> horas
4	<b>0,000715626</b> falhas/10 <sup>6</sup> horas
5	<b>0,000894532</b> falhas/10 <sup>6</sup> horas

**Segundo Caso:** Ambiente A<sub>IC</sub>.

**PERFIL A = PERFIL C**

Environment Factor ( $\pi_E$ ) = 4

Os valores dos demais fatores de correção para resistores network de filme em ambiente A<sub>IC</sub> não diferem dos valores declarados no Primeiro Caso.

Tabela A.46 - Taxas de falhas para resistores network de filme, fixo, ambiente A<sub>IC</sub>, utilizando versão F.

<b>Versão F – Resistor, Network, fixo, metal, filme– Ambiente A<sub>IC</sub></b>	
<b>Número de resistores de filme em uso</b>	<b>Taxa de Falhas – (<math>\lambda_p</math>)</b>
3	<b>0,004293754</b> falhas/10 <sup>6</sup> horas
4	<b>0,005725005</b> falhas/10 <sup>6</sup> horas
5	<b>0,007156256</b> falhas/10 <sup>6</sup> horas

**Terceiro Caso:** Ambiente G<sub>F</sub>.

**PERFIL A = PERFIL C**

Environment Factor ( $\pi_E$ ) = 2

Os valores dos demais fatores de correção para resistores network de filme em ambiente G<sub>F</sub> não diferem dos valores declarados no Primeiro Caso.

Tabela A.47 - Taxas de falhas para resistores network de filme, fixo, ambiente G<sub>F</sub>, utilizando versão

<b>Versão F – Resistor, Network, fixo, metal, filme– Ambiente G<sub>F</sub></b>	
<b>Número de resistores de filme em uso</b>	<b>Taxa de Falhas – (<math>\lambda_p</math>)</b>
3	<b>0,002146877</b> falhas/10 <sup>6</sup> horas
4	<b>0,002862502</b> falhas/10 <sup>6</sup> horas
5	<b>0,003578128</b> falhas/10 <sup>6</sup> horas

**Quarto Caso:** Ambiente C<sub>L</sub>.

**PERFIL A = PERFIL C**

Environment Factor ( $\pi_E$ ) = 510

Os valores dos demais fatores de correção para resistores network de filme em ambiente C<sub>L</sub> não diferem dos valores declarados no Primeiro Caso.

Tabela A.48 - Taxas de falhas para resistores network de filme, fixo, ambiente C<sub>L</sub>, utilizando versão

<b>Versão F – Resistor, Network, fixo, metal, filme– Ambiente C<sub>L</sub></b>	
<b>Número de resistores de filme em uso</b>	<b>Taxa de Falhas – (λ<sub>p</sub>)</b>
3	<b>0,547453577</b> falhas/10 <sup>6</sup> horas
4	<b>0,729938102</b> falhas/10 <sup>6</sup> horas
5	<b>0,912422628</b> falhas/10 <sup>6</sup> horas

**A 7 – Conector do Tipo “*Rack and Panel*” (MIL HDBK 217 F – seção 15.1)**

$$\lambda_p = \lambda_b \cdot \pi_K \cdot \pi_P \cdot \pi_E \text{ Failures}/10^6 \text{ hours} \quad (\text{A.7})$$

**Primeiro Caso:** em ambiente S<sub>F</sub>

Base Failure Rate (λ<sub>b</sub>) = 0.002596

Mating/Unmating Cycles Factor (π<sub>K</sub>) = 1

Environment Factor (π<sub>E</sub>) = 0.5

Active Pins Factor (π<sub>P</sub> – 10 pins) = 2.6

Active Pins Factor (π<sub>P</sub> – 25 pins) = 4.8

Active Pins Factor (π<sub>P</sub> – 50 pins) = 9.5

Active Pins Factor (π<sub>P</sub> – 75 pins) = 16

Active Pins Factor (π<sub>P</sub> – 100 pins) = 25

Active Pins Factor ( $\pi_P - 125$  pins) = 37

Active Pins Factor ( $\pi_P - 150$  pins) = 53

Active Pins Factor ( $\pi_P - 175$  pins) = 74

Active Pins Factor ( $\pi_P - 200$  pins) = 100

Tabela A.49 - Taxas de falhas para conectores do tipo "Rack and Panel" em ambiente  $S_F$ , utilizando versão F.

<b>Ambiente <math>S_F</math></b>	
<b>Quantidade Pinos</b>	<b>Taxa de falhas (<math>\lambda_p</math>)</b>
10 pinos ativos	<b>0,003374</b> falhas/ $10^6$ horas
25 pinos ativos	<b>0,006229</b> falhas/ $10^6$ horas
50 pinos ativos	<b>0,012329</b> falhas/ $10^6$ horas
75 pinos ativos	<b>0,020765</b> falhas/ $10^6$ horas
100 pinos ativos	<b>0,032446</b> falhas/ $10^6$ horas
125 pinos ativos	<b>0,048020</b> falhas/ $10^6$ horas
150 pinos ativos	<b>0,068785</b> falhas/ $10^6$ horas
175 pinos ativos	<b>0,096040</b> falhas/ $10^6$ horas
200 pinos ativos	<b>0,129784</b> falhas/ $10^6$ horas

**Segundo Caso:** em ambiente  $A_{IC}$

Environment Factor ( $\pi_E$ ) = 3

Tabela A.50- Taxas de falhas para conectores do tipo "Rack and Panel" em ambiente  $A_{IC}$ , utilizando versão F.

<b>Ambiente <math>A_{IC}</math></b>	
<b>Quantidade Pinos</b>	<b>Taxa de falhas (<math>\lambda_p</math>)</b>
10 pinos ativos	<b>0,020246</b> falhas/ $10^6$ horas
25 pinos ativos	<b>0,037377</b> falhas/ $10^6$ horas
50 pinos ativos	<b>0,073977</b> falhas/ $10^6$ horas
75 pinos ativos	<b>0,124592</b> falhas/ $10^6$ horas
100 pinos ativos	<b>0,194676</b> falhas/ $10^6$ horas
125 pinos ativos	<b>0,288120</b> falhas/ $10^6$ horas
150 pinos ativos	<b>0,412713</b> falhas/ $10^6$ horas
175 pinos ativos	<b>0,5762405</b> falhas/ $10^6$ horas
200 pinos ativos	<b>0,778703</b> falhas/ $10^6$ horas

**Terceiro Caso:** em ambiente  $G_F$

Environment Factor ( $\pi_E$ ) = 1

Tabela A.51 - Taxas de falhas para conectores do tipo "Rack and Panel" em ambiente  $G_F$ , utilizando versão F.

<b>Ambiente <math>G_F</math></b>	
<b>Quantidade Pinos</b>	<b>Taxa de falhas (<math>\lambda_p</math>)</b>
10 pinos ativos	<b>0,00337</b> falhas/ $10^6$ horas
25 pinos ativos	<b>0,00623</b> falhas/ $10^6$ horas
50 pinos ativos	<b>0,01233</b> falhas/ $10^6$ horas
75 pinos ativos	<b>0,02077</b> falhas/ $10^6$ horas
100 pinos ativos	<b>0,03245</b> falhas/ $10^6$ horas
125 pinos ativos	<b>0,04802</b> falhas/ $10^6$ horas
150 pinos ativos	<b>0,06879</b> falhas/ $10^6$ horas
175 pinos ativos	<b>0,09604</b> falhas/ $10^6$ horas
200 pinos ativos	<b>0,12978</b> falhas/ $10^6$ horas

**Quarto Caso:** em ambiente C<sub>L</sub>

Environment Factor ( $\pi_E$ ) = 490

Tabela A.52 - Taxas de falhas para conectores do tipo "Rack and Panel" em ambiente C<sub>L</sub>, utilizando versão F.

<b>Ambiente C<sub>L</sub></b>	
<b>Quantidade Pinos</b>	<b>Taxa de falhas (<math>\lambda_p</math>)</b>
10 pinos ativos	<b>0,02025</b> falhas/10 <sup>6</sup> horas
25 pinos ativos	<b>0,03738</b> falhas/10 <sup>6</sup> horas
50 pinos ativos	<b>0,07398</b> falhas/10 <sup>6</sup> horas
75 pinos ativos	<b>0,12459</b> falhas/10 <sup>6</sup> horas
100 pinos ativos	<b>0,19468</b> falhas/10 <sup>6</sup> horas
125 pinos ativos	<b>0,28812</b> falhas/10 <sup>6</sup> horas
150 pinos ativos	<b>0,41271</b> falhas/10 <sup>6</sup> horas
175 pinos ativos	<b>0,57624</b> falhas/10 <sup>6</sup> horas
200 pinos ativos	<b>0,7787</b> falhas/10 <sup>6</sup> horas

O valor da taxa básica de falhas e os valores dos demais fatores de correção para conectores "Rack and Panel" não se alteram para o segundo, terceiro e quarto caso. Usar como referência os valores mencionados no primeiro caso.

#### **A 8 - Conector do Tipo Circular (MIL HDBK 217 F – seção 15.1)**

$$\lambda_p = \lambda_b \cdot \pi_K \cdot \pi_P \cdot \pi_E \text{ Failures}/10^6 \text{ hours} \quad (\text{A.8})$$

**Primeiro Caso:** em ambiente S<sub>F</sub>

Base Failure Rate ( $\lambda_b$ ) = 0.0034303

Mating/Unmating Cycles Factor ( $\pi_K$ ) = 1

Environment Factor ( $\pi_E$ ) = 0.5

Active Pins Factor ( $\pi_P$  – 10 pins) = 2.6

Active Pins Factor ( $\pi_P$  – 25 pins) = 4.8

Active Pins Factor ( $\pi_P$  – 50 pins) = 9.5

Active Pins Factor ( $\pi_P$  – 75 pins) = 16

Active Pins Factor ( $\pi_P$  – 100 pins) = 25

Active Pins Factor ( $\pi_P$  – 125 pins) = 37

Active Pins Factor ( $\pi_P$  – 150 pins) = 53

Active Pins Factor ( $\pi_P$  – para 175 pinos) = 74

Active Pins Factor ( $\pi_P$  – para 200 pinos) = 100

Tabela A.53 - Taxas de falhas para conectores do tipo "Circular" em ambiente  $S_F$ , utilizando versão F.

<b>Ambiente <math>S_F</math></b>	
<b>Quantidade Pinos</b>	<b>Taxa de falhas (<math>\lambda_p</math>)</b>
10 pinos ativos	<b>0,004459</b> falhas/ $10^6$ horas
25 pinos ativos	<b>0,008233</b> falhas/ $10^6$ horas
50 pinos ativos	<b>0,016294</b> falhas/ $10^6$ horas
75 pinos ativos	<b>0,027443</b> falhas/ $10^6$ horas
100 pinos ativos	<b>0,042879</b> falhas/ $10^6$ horas
125 pinos ativos	<b>0,063461</b> falhas/ $10^6$ horas
150 pinos ativos	<b>0,090904</b> falhas/ $10^6$ horas
175 pinos ativos	<b>0,126923</b> falhas/ $10^6$ horas
200 pinos ativos	<b>0,171517</b> falhas/ $10^6$ horas

**Segundo Caso:** em ambiente A<sub>IC</sub>

Environment Factor ( $\pi_E$ ) = 3

Tabela A.54 - Taxas de falhas para conectores do tipo "Circular" em ambiente A<sub>IC</sub>, utilizando versão F.

<b>Ambiente A<sub>IC</sub></b>	
<b>Quantidade Pinos</b>	<b>Taxa de falhas (<math>\lambda_p</math>)</b>
10 pinos ativos	<b>0,026757</b> falhas/10 <sup>6</sup> horas
25 pinos ativos	<b>0,049397</b> falhas/10 <sup>6</sup> horas
50 pinos ativos	<b>0,097765</b> falhas/10 <sup>6</sup> horas
75 pinos ativos	<b>0,164656</b> falhas/10 <sup>6</sup> horas
100 pinos ativos	<b>0,257275</b> falhas/10 <sup>6</sup> horas
125 pinos ativos	<b>0,380768</b> falhas/10 <sup>6</sup> horas
150 pinos ativos	<b>0,545424</b> falhas/10 <sup>6</sup> horas
175 pinos ativos	<b>0,761535</b> falhas/10 <sup>6</sup> horas
200 pinos ativos	<b>1,029102</b> falhas/10 <sup>6</sup> horas

**Terceiro Caso:** em ambiente G<sub>F</sub>

Environment Factor ( $\pi_E$ ) = 1

Tabela A.55 - Taxas de falhas para conectores do tipo "Circular" em ambiente  $G_F$ , utilizando versão F.

<b>Ambiente <math>G_F</math></b>	
<b>Quantidade Pinos</b>	<b>Taxa de falhas (<math>\lambda_p</math>)</b>
10 pinos ativos	<b>0,008919</b> falhas/ $10^6$ horas
25 pinos ativos	<b>0,016466</b> falhas/ $10^6$ horas
50 pinos ativos	<b>0,032588</b> falhas/ $10^6$ horas
75 pinos ativos	<b>0,054885</b> falhas/ $10^6$ horas
100 pinos ativos	<b>0,085758</b> falhas/ $10^6$ horas
125 pinos ativos	<b>0,126923</b> falhas/ $10^6$ horas
150 pinos ativos	<b>0,181808</b> falhas/ $10^6$ horas
175 pinos ativos	<b>0,253845</b> falhas/ $10^6$ horas
200 pinos ativos	<b>0,343034</b> falhas/ $10^6$ horas

**Quarto Caso:** em ambiente  $C_L$

Environment Factor ( $\pi_E$ ) = 490

Tabela A.56 - Taxas de falhas para conectores do tipo "Circular" em ambiente  $C_L$ , utilizando versão F.

<b>Ambiente <math>C_L</math></b>	
<b>Quantidade Pinos</b>	<b>Taxa de falhas (<math>\lambda_p</math>)</b>
10 pinos ativos	<b>4,370251</b> falhas/ $10^6$ horas
25 pinos ativos	<b>8,068156</b> falhas/ $10^6$ horas
50 pinos ativos	<b>15,96823</b> falhas/ $10^6$ horas
75 pinos ativos	<b>26,89385</b> falhas/ $10^6$ horas
100 pinos ativos	<b>42,02165</b> falhas/ $10^6$ horas
125 pinos ativos	<b>62,19204</b> falhas/ $10^6$ horas
150 pinos ativos	<b>89,08589</b> falhas/ $10^6$ horas
175 pinos ativos	<b>124,3841</b> falhas/ $10^6$ horas
200 pinos ativos	<b>168,0866</b> falhas/ $10^6$ horas

O valor da taxa básica de falhas e os valores dos demais fatores de correção para conectores do tipo “Circular” não se alteram para o segundo, terceiro e quarto caso. Usar como referência os valores mencionados no primeiro caso.

#### **A 9 - Conector do Tipo “Power” (MIL HDBK 217 F – seção 15.1)**

$$\lambda_p = \lambda_b \cdot \pi_K \cdot \pi_P \cdot \pi_E \text{ Failures}/10^6 \text{ hours} \quad (\text{A.9})$$

**Tipo B** - *Diallyl phthalate, melamine, fluorosilicone rubber, polysulfone, epoxy resin.*

Tem os mesmos valores encontrados para conectores do tipo “Rack and Panel”.

**Type D** – *Polyamide (Nylon), Polychloroprene (Neoprene), Polyethylene*

**Primeiro Caso:** em ambiente S<sub>F</sub>

Base Failure Rate ( $\lambda_b$ ) = 0.037747219

Mating/Unmating Cycles Factor ( $\pi_K$ ) = 1

Environment Factor ( $\pi_E$ ) = 0.5

Active Pins Factor ( $\pi_P$  – 10 pins) = 2.6

Active Pins Factor ( $\pi_P$  – 25 pins) = 4.8

Active Pins Factor ( $\pi_P$  – 50 pins) = 9.5

Active Pins Factor ( $\pi_P$  – 75 pins) = 16

Active Pins Factor ( $\pi_P$  – 100 pins) = 25

Active Pins Factor ( $\pi_P$  – 125 pins) = 37

Active Pins Factor ( $\pi_P$  – 150 pins) = 53

Active Pins Factor ( $\pi_P$  – 175 pins) = 74

Active Pins Factor ( $\pi_P$  – 200 pins) = 100

Tabela A.57 - Taxas de falhas para conectores do tipo "Power" em ambiente  $S_F$ , utilizando versão F.

<b>Ambiente <math>S_F</math></b>	
<b>Quantidade Pinos</b>	<b>Taxa de falhas (<math>\lambda_p</math>)</b>
10 pinos ativos	<b>0,04907</b> falhas/ $10^6$ horas
25 pinos ativos	<b>0,09059</b> falhas/ $10^6$ horas
50 pinos ativos	<b>0,1793</b> falhas/ $10^6$ horas
75 pinos ativos	<b>0,30198</b> falhas/ $10^6$ horas
100 pinos ativos	<b>0,47184</b> falhas/ $10^6$ horas
125 pinos ativos	<b>0,69832</b> falhas/ $10^6$ horas
150 pinos ativos	<b>1,0003</b> falhas/ $10^6$ horas
175 pinos ativos	<b>1,39665</b> falhas/ $10^6$ horas
200 pinos ativos	<b>1,88736</b> falhas/ $10^6$ horas

**Segundo Caso:** em ambiente  $A_{IC}$

Environment Factor ( $\pi_E$ ) = 3

Tabela A.58 - Taxas de falhas para conectores do tipo "Power" em ambiente A<sub>IC</sub>, utilizando versão F.

<b>Ambiente A<sub>IC</sub></b>	
<b>Quantidade Pinos</b>	<b>Taxa de falhas (<math>\lambda_p</math>)</b>
10 pinos ativos	<b>0,29443</b> falhas/10 <sup>6</sup> horas
25 pinos ativos	<b>0,54356</b> falhas/10 <sup>6</sup> horas
50 pinos ativos	<b>1,0758</b> falhas/10 <sup>6</sup> horas
75 pinos ativos	<b>1,81187</b> falhas/10 <sup>6</sup> horas
100 pinos ativos	<b>2,83104</b> falhas/10 <sup>6</sup> horas
125 pinos ativos	<b>4,18994</b> falhas/10 <sup>6</sup> horas
150 pinos ativos	<b>6,00181</b> falhas/10 <sup>6</sup> horas
175 pinos ativos	<b>8,37988</b> falhas/10 <sup>6</sup> horas
200 pinos ativos	<b>11,3242</b> falhas/10 <sup>6</sup> horas

**Terceiro Caso:** em ambiente G<sub>F</sub>

Environment Factor ( $\pi_E$ ) = 1

Tabela A.59 - Taxas de falhas para conectores do tipo "Power" em ambiente G<sub>F</sub>, utilizando versão F.

<b>Ambiente G<sub>F</sub></b>	
<b>Quantidade Pinos</b>	<b>Taxa de falhas (<math>\lambda_p</math>)</b>
10 pinos ativos	<b>0,09814</b> falhas/10 <sup>6</sup> horas
25 pinos ativos	<b>0,18119</b> falhas/10 <sup>6</sup> horas
50 pinos ativos	<b>0,3586</b> falhas/10 <sup>6</sup> horas
75 pinos ativos	<b>0,60396</b> falhas/10 <sup>6</sup> horas
100 pinos ativos	<b>0,94368</b> falhas/10 <sup>6</sup> horas
125 pinos ativos	<b>1,39665</b> falhas/10 <sup>6</sup> horas
150 pinos ativos	<b>2,0006</b> falhas/10 <sup>6</sup> horas
175 pinos ativos	<b>2,79329</b> falhas/10 <sup>6</sup> horas
200 pinos ativos	<b>3,77472</b> falhas/10 <sup>6</sup> horas

**Quarto Caso:** em ambiente C<sub>L</sub>

Environment Factor ( $\pi_E$ ) = 490

Tabela A.60 - Taxas de falhas para conectores do tipo "Power" em ambiente  $C_L$ , utilizando versão F.

Ambiente $C_L$	
Quantidade Pinos	Taxa de falhas ( $\lambda_p$ )
10 pinos ativos	48,09 falhas/ $10^6$ horas
25 pinos ativos	88,7815 falhas/ $10^6$ horas
50 pinos ativos	175,713 falhas/ $10^6$ horas
75 pinos ativos	295,938 falhas/ $10^6$ horas
100 pinos ativos	462,403 falhas/ $10^6$ horas
125 pinos ativos	684,357 falhas/ $10^6$ horas
150 pinos ativos	980,295 falhas/ $10^6$ horas
175 pinos ativos	1368,71 falhas/ $10^6$ horas
200 pinos ativos	1849,61 falhas/ $10^6$ horas

O valor da taxa básica de falhas e os valores dos demais fatores de correção para conectores do tipo "Power" não se alteram para o segundo, terceiro e quarto caso. Usar como referência os valores mencionados no primeiro caso.

#### A 10 – Semicondutores – Diodos, Baixa Frequência (MIL HDBK 217 F – seção 6.1)

$$\lambda_p = \lambda_b \cdot \pi_T \cdot \pi_S \cdot \pi_C \cdot \pi_Q \cdot \pi_E \text{ Failures}/10^6 \text{ hours} \quad (\text{A.10})$$

**Tipo:** Zener (voltage Regulator) Regulador de tensão sobre uma ampla corrente de operação e faixa de temperatura.

Base Failure Rate ( $\lambda_b$ ) = 0.002

Electrical Stress Factor ( $\pi_S$ ) = 1

Contact Construction Factor ( $\pi_c$ ) = 2

Quality Factor ( $\pi_Q$ ) = 0.7

Temperature Factor ( $\pi_T - 60^\circ\text{C}$ ) = 1.971807753

Temperature Factor ( $\pi_T - 70^\circ\text{C}$ ) = 2.333773874

Temperature Factor ( $\pi_T - 80^\circ\text{C}$ ) = 2.735936398

Temperature Factor ( $\pi_T - 90^\circ\text{C}$ ) = 3.179427791

Temperature Factor ( $\pi_T - 100^\circ\text{C}$ ) = 3.665166026

Temperature Factor ( $\pi_T - 110^\circ\text{C}$ ) = 4.193861393

Environment Factor ( $\pi_E - S_F$ ) = 0.5

Environment Factor ( $\pi_E - G_F$ ) = 6

Environment Factor ( $\pi_E - A_{IC}$ ) = 13

Environment Factor ( $\pi_E - C_L$ ) = 320

Tabela A.61 - Taxas de falhas para Diodo (Zener) de baixa frequência.

<b>Diodo (zener), baixa frequência</b>				
<b>Temperatura (°C)</b>	<b>Taxa de Falhas – (<math>\lambda_p</math>) - falhas/10<sup>6</sup> horas</b>			
	<b>Amb. S<sub>F</sub></b>	<b>Amb. G<sub>F</sub></b>	<b>Amb. A<sub>IC</sub></b>	<b>Amb. C<sub>L</sub></b>
60	0,002760531	0,03312637	0,071773802	1,766739746
70	0,003267283	0,039207401	0,084949369	2,091061391
80	0,003830311	0,045963731	0,099588085	2,451399013
90	0,004451199	0,053414387	0,115731172	2,848767301
100	0,005131232	0,061574789	0,133412043	3,283988759
110	0,005871406	0,070456871	0,152656555	3,757699808

**Tipo:** Alternador (*Switching*)

Base Failure Rate ( $\lambda_b$ ) = 0.001

Electrical Stress Factor ( $\pi_s$ ) = 0.58

Contact Construction Factor ( $\pi_c$ ) = 1

Quality Factor ( $\pi_q$ ) = 0.7

Temperature Factor ( $\pi_T - 60^\circ\text{C}$ ) = 2.974871781

Temperature Factor ( $\pi_T - 70^\circ\text{C}$ ) = 3.899395004

Temperature Factor ( $\pi_T - 80^\circ\text{C}$ ) = 5.033468373

Temperature Factor ( $\pi_T - 90^\circ\text{C}$ ) = 6.406619203

Temperature Factor ( $\pi_T - 100^\circ\text{C}$ ) = 8.049580278

Temperature Factor ( $\pi_T - 110^\circ\text{C}$ ) = 9.994022237

Environment Factor ( $\pi_E - S_F$ ) = 0.5

Environment Factor ( $\pi_E - G_F$ ) = 6

Environment Factor ( $\pi_E - A_{IC}$ ) = 13

Environment Factor ( $\pi_E - C_L$ ) = 320

Tabela A.62 - Taxas de falhas para Diodo (Switching) de baixa frequência.

<b>Diodo (Switching), baixa frequência</b>				
<b>Temperatura (°C)</b>	Taxa de Falhas – ( $\lambda_p$ ) - falhas/10 <sup>6</sup> horas			
	<b>Amb. S<sub>F</sub></b>	<b>Amb. G<sub>F</sub></b>	<b>Amb. A<sub>IC</sub></b>	<b>Amb. C<sub>L</sub></b>
60	0,000603899	0,007246788	0,015701373	0,386495342
70	0,000791577	0,009498926	0,020581007	0,506609399
80	0,001021794	0,012261529	0,026566646	0,653948211
90	0,001300544	0,015606524	0,033814136	0,832347967
100	0,001634065	0,019608778	0,042485685	1,04580147
110	0,002028787	0,024345438	0,052748449	1,298423369

**A 11 – Semicondutores – Diodos, Alta Frequência (Microwave, RF) - (MIL HDBK 217 F – seção 6.2)**

$$\lambda_p = \lambda_b \cdot \pi_T \cdot \pi_A \cdot \pi_R \cdot \pi_Q \cdot \pi_E \text{ Failures}/10^6 \text{ hours} \quad (\text{A.11})$$

Tipo: Schottky

Base Failure Rate ( $\lambda_b$ ) = 0.27

Power Rating Factor ( $\pi_R$ ) = 1

Application Factor ( $\pi_C$ ) = 1

Quality Factor ( $\pi_Q$ ) = 0.5

Temperature Factor ( $\pi_T - 60^\circ\text{C}$ ) = 2.097347727

Temperature Factor ( $\pi_T - 70^\circ\text{C}$ ) = 2.520685495

Temperature Factor ( $\pi_T - 80^\circ\text{C}$ ) = 2.998077852

Temperature Factor ( $\pi_T - 90^\circ\text{C}$ ) = 3.531970388

Temperature Factor ( $\pi_T - 100^\circ\text{C}$ ) = 4.124534051

Temperature Factor ( $\pi_T - 110^\circ\text{C}$ ) = 4.777661234

Environment Factor ( $\pi_E - S_F$ ) = 0.5

Environment Factor ( $\pi_E - G_F$ ) = 2

Environment Factor ( $\pi_E - A_{IC}$ ) = 4

Environment Factor ( $\pi_E - C_L$ ) = 250

Tabela A.63 - Taxas de falhas para Diodo (Schottky) de baixa frequência.

<b>Diodo (Schottky), alta frequência</b>				
<b>Temperatura (°C)</b>	<b>Taxa de Falhas – (<math>\lambda_p</math>) - falhas/10<sup>6</sup> horas</b>			
	<b>Amb. SF</b>	<b>Amb. GF</b>	<b>Amb. AIC</b>	<b>Amb. CL</b>
60	0,141570972	0,566283886	1,132567773	70,78548579
70	0,170146271	0,680585084	1,361170167	85,07313544
80	0,202370255	0,80948102	1,61896204	101,1851275
90	0,238408001	0,953632005	1,90726401	119,2040006
100	0,278406048	1,113624194	2,227248388	139,2030242
110	0,322492133	1,289968533	2,579937066	161,2460666

**A 12 – Semicondutores – Transistor, Baixa Frequência, Bipolar (MIL HDBK 217 F – seção 6.3 )**

$$\lambda_p = \lambda_b \cdot \pi_T \cdot \pi_A \cdot \pi_R \cdot \pi_S \cdot \pi_Q \cdot \pi_E \text{ Failures}/10^6 \text{ hours} \quad (\text{A.12})$$

Base Failure Rate ( $\lambda_b$ ) = 0,00074

Application Factor ( $\pi_A$ ) = 0,7

Voltage Stress Factor ( $\pi_S$ ) = 1

Quality Factor ( $\pi_Q$ ) = 0,7

Power Rating Factor ( $\pi_R - 60^\circ\text{C}$ ) = 1,522012409

Temperature Factor ( $\pi_T - 60^\circ\text{C}$ ) = 2,107729672

Power Rating Factor ( $\pi_R - 70^\circ\text{C}$ ) = 1,548096628

Temperature Factor ( $\pi_T - 70^\circ\text{C}$ ) = 2,536269816

Power Rating Factor ( $\pi_R - 80^\circ\text{C}$ ) = 1,573453219

Temperature Factor ( $\pi_T - 80^\circ\text{C}$ ) = 3,020103723

Power Rating Factor ( $\pi_R - 90^\circ\text{C}$ ) = 1,598132481

Temperature Factor ( $\pi_T - 90^\circ\text{C}$ ) = 3,561807966

Power Rating Factor ( $\pi_R - 100^\circ\text{C}$ ) = 1,622179331

Temperature Factor ( $\pi_T - 100^\circ\text{C}$ ) = 4,163680463

Power Rating Factor ( $\pi_R - 110^\circ\text{C}$ ) = 1,645634065

Temperature Factor ( $\pi_T - 110^\circ\text{C}$ ) = 4,82773535

Environment Factor ( $\pi_E - S_F$ ) = 0,5

Environment Factor ( $\pi_E - G_F$ ) = 6

Environment Factor ( $\pi_E - A_{IC}$ ) = 13

Environment Factor ( $\pi_E - C_L$ ) = 320

Tabela A.63 - Taxas de falhas para Transistor bipolar de baixa frequência.

<b>Transistor Bipolar de baixa frequência</b>				
<b>Temperatura (°C)</b>	<b>Taxa de Falhas – (<math>\lambda_p</math>) - falhas/10<sup>6</sup> horas</b>			
	<b>Amb. S<sub>F</sub></b>	<b>Amb. G<sub>F</sub></b>	<b>Amb. A<sub>IC</sub></b>	<b>Amb. C<sub>L</sub></b>
60	0,000581609	0,006979305	0,01512183	0,37222958
70	0,000711855	0,008542256	0,01850822	0,45558697
80	0,000861536	0,010338434	0,02239994	0,55138313
90	0,001032003	0,01238404	0,02683209	0,66048211
100	0,001224543	0,014694517	0,03183812	0,78370756
110	0,001440372	0,017284458	0,03744966	0,92183778

**A 13 – Semicondutores – Transistor, Baixa Frequência, SI FET (MIL HDBK 217 F – seção 6.4)**

$$\lambda_p = \lambda_b \cdot \pi_T \cdot \pi_A \cdot \pi_Q \cdot \pi_E \text{ Failures}/10^6 \text{ hours} \quad (\text{A.13})$$

Base Failure Rate ( $\lambda_b$ ) = 0,012

Application Factor ( $\pi_A$ ) = 8

Quality Factor ( $\pi_Q$ ) = 0,7

Temperature Factor ( $\pi_T - 60^\circ\text{C}$ ) = 1,971807753

Temperature Factor ( $\pi_T - 70^\circ\text{C}$ ) = 2,333773874

Temperature Factor ( $\pi_T - 80^\circ\text{C}$ ) = 2,735936398

Temperature Factor ( $\pi_T - 90^\circ\text{C}$ ) = 3,179427791

Temperature Factor ( $\pi_T - 100^\circ\text{C}$ ) = 3,665166026

Temperature Factor ( $\pi_T - 110^\circ\text{C}$ ) = 4,193861393

Environment Factor ( $\pi_E - S_F$ ) = 0,5

Environment Factor ( $\pi_E - G_F$ ) = 6

Environment Factor ( $\pi_E - A_{IC}$ ) = 13

Environment Factor ( $\pi_E - C_L$ ) = 320

Tabela A.64 - Taxas de falhas para Transistor mosfet de baixa frequência.

<b>Transistor MOSFET de baixa frequência</b>				
<b>Temperatura (°C)</b>	<b>Taxa de Falhas – (<math>\lambda_p</math>) - falhas/10<sup>6</sup> horas</b>			
	<b>Amb. S<sub>F</sub></b>	<b>Amb. G<sub>F</sub></b>	<b>Amb. A<sub>IC</sub></b>	<b>Amb. C<sub>L</sub></b>
60	0,06625	0,79503	1,72257	42,40175
70	0,07841	0,94098	2,03878	50,18547
80	0,09193	1,10313	2,39011	58,83358
90	0,10683	1,28195	2,77755	68,37042
100	0,12315	1,47779	3,20189	78,81573
110	0,14091	1,69096	3,66376	90,1848

**A 14 – Semicondutores – Transistor, Baixo Ruído, Alta Frequência, Bipolar (MIL HDBK 217 F – seção 6.6)**

$$\lambda_p = \lambda_b \cdot \pi_T \cdot \pi_R \cdot \pi_S \cdot \pi_Q \cdot \pi_E \text{ Failures}/10^6 \text{ hours} \quad (\text{A.14})$$

Base Failure Rate ( $\lambda_b$ ) = 0,18

Quality Factor ( $\pi_Q$ ) = 0,5

Power Rating Factor ( $\pi_R$ – 60°C) = 0,470500686

Temperature Factor ( $\pi_T$  – 60°C) = 2,107729672

Power Rating Factor ( $\pi_R$ – 70°C) = 0,497787618

Temperature Factor ( $\pi_T$  – 70°C) = 2,536269816

Power Rating Factor ( $\pi_R$ – 80°C) = 0,522740213

Temperature Factor ( $\pi_T$  – 80°C) = 3,020103723

Power Rating Factor ( $\pi_R$ – 90°C) = 0,545814122

Temperature Factor ( $\pi_T$  – 90°C) = 3,561807966

Power Rating Factor ( $\pi_R$ – 100°C) = 0,567336666

Temperature Factor ( $\pi_T$  – 100°C) = 4,163680463

Power Rating Factor ( $\pi_R$ – 110°C) = 0,587551951

Temperature Factor ( $\pi_T$  – 110°C) = 4,82773535

Environment Factor ( $\pi_E - S_F$ ) = 0,5

Environment Factor ( $\pi_E - G_F$ ) = 2

Environment Factor ( $\pi_E - A_{IC}$ ) = 4

Environment Factor ( $\pi_E - C_L$ ) = 250

Tabela A.65 - Taxas de falhas para Transistor bipolar de alta frequência.

<b>Transistor Bipolar de alta frequência</b>				
<b>Temperatura (°C)</b>	<b>Taxa de Falhas – (<math>\lambda_p</math>) - falhas/10<sup>6</sup> horas</b>			
	<b>Amb. S<sub>F</sub></b>	<b>Amb. G<sub>F</sub></b>	<b>Amb. A<sub>IC</sub></b>	<b>Amb. C<sub>L</sub></b>
60	0,012941532	0,051766127	0,103532254	6,47076588
70	0,016475934	0,065903738	0,131807475	8,237967204
80	0,020602422	0,082409689	0,164819377	10,30121107
90	0,02537031	0,101481242	0,202962483	12,68515519
100	0,030826822	0,123307289	0,246614577	15,41341107
110	0,037016917	0,148067666	0,296135332	18,50845825



**APENDICE B - CÁLCULOS DAS TAXAS DE FALHAS DE COMPONENTES  
PELA VERSÃO MIL HDBK 217 F N2**

**B 1 – Capacitor Cerâmico (MIL HDBK 217 F N2 - seção 10.1)**

$$\lambda_p = \lambda_b \cdot \pi_T \cdot \pi_C \cdot \pi_{SR} \cdot \pi_Q \cdot \pi_E \text{ Failures}/10^6 \text{ hours} \quad (\text{B.1})$$

**Primeiro Caso:** Ambiente S<sub>F</sub> **Condição A)** Tensão de 50 VDC

Base Failure Rate ( $\lambda_b$ ) = 0.00099

Temperature Factor ( $\pi_T$ ) = 0.287030151

Quality Factor ( $\pi_Q$ ) = 3

Environment Factor ( $\pi_E$ ) = 0.5

Voltage Stress Factor ( $\pi_V$ ) = 2

Series Resitance Factor ( $\pi_{SR}$ ) = 1

Capacitance Factor 12000 pF ( $\pi_{CV}$ ) = 0.671624

Capacitance Factor 15000 pF ( $\pi_{CV}$ ) = 0.685249

Capacitance Factor 18000 pF ( $\pi_{CV}$ ) = 0.696585653

Capacitance Factor 22000 pF ( $\pi_{CV}$ ) = 0.709281

Capacitance Factor 27000 pF ( $\pi_{CV}$ ) = 0.722475

Capacitance Factor 33000 pF ( $\pi_{CV}$ ) = 0.735642

Capacitance Factor 39000 pF ( $\pi_{CV}$ ) = 0.746785393

Capacitance Factor 47000 pF ( $\pi_{CV}$ ) = 0.759432

Capacitance Factor 56000 pF ( $\pi_{CV}$ ) = 0.771502

Capacitance Factor 68000 pF ( $\pi_{CV}$ ) = 0.785101

Capacitance Factor 82000 pF ( $\pi_{CV}$ ) = 0.798441766

Capacitance Factor 100000 pF ( $\pi_{CV}$ ) = 0.812831

Tabela B.1 - Taxas de falhas para Capacitor Cerâmico com 50 VDC para diferentes Capacitâncias, Ambiente S<sub>F</sub>, utilizando versão N2.

<b>Versão N2 – Ambiente S<sub>F</sub>, Capacitor 50 VDC</b>	
<b>Capacitância (pF)</b>	<b>Taxa de Falhas – (<math>\lambda_p</math>)</b>
12.000	<b>0,000572546</b> falhas/10 <sup>6</sup> horas
15.000	<b>0,00058416</b> falhas/10 <sup>6</sup> horas
18.000	<b>0,000593825</b> falhas/10 <sup>6</sup> horas
22.000	<b>0,000604647</b> falhas/10 <sup>6</sup> horas
27.000	<b>0,000615895</b> falhas/10 <sup>6</sup> horas
33.000	<b>0,000627119</b> falhas/10 <sup>6</sup> horas
39.000	<b>0,000636619</b> falhas/10 <sup>6</sup> horas
47.000	<b>0,0006474</b> falhas/10 <sup>6</sup> horas
56.000	<b>0,000657689</b> falhas/10 <sup>6</sup> horas
68.000	<b>0,000669283</b> falhas/10 <sup>6</sup> horas
82.000	<b>0,000680655</b> falhas/10 <sup>6</sup> horas
100.000	<b>0,000692921</b> falhas/10 <sup>6</sup> horas

**Primeiro Caso:** Ambiente S<sub>F</sub> **Condição B)** Tensão de 100 VDC

Base Failure Rate ( $\lambda_b$ ) = 0.00099

Temperature Factor ( $\pi_T$ ) = 0.287030151

Quality Factor ( $\pi_Q$ ) = 3

Environment Factor ( $\pi_E$ ) = 0.5

Voltage Stress Factor ( $\pi_V$ ) = 2

Series Resitance Factor ( $\pi_{SR}$ ) = 1

Capacitance Factor 1200 pF ( $\pi_{CV}$ ) = 0.545916615

Capacitance Factor 1500 pF ( $\pi_{CV}$ ) = 0.556991046

Capacitance Factor 1800 pF ( $\pi_{CV}$ ) = 0.566206076

Capacitance Factor 2200 pF ( $\pi_{CV}$ ) = 0.576524863

Capacitance Factor 2700 pF ( $\pi_{CV}$ ) = 0.587249612

Capacitance Factor 3300 pF ( $\pi_{CV}$ ) = 0.597951906

Capacitance Factor 3900 pF ( $\pi_{CV}$ ) = 0.607009956

Capacitance Factor 4700 pF ( $\pi_{CV}$ ) = 0.617289383

Capacitance Factor 5600 pF ( $\pi_{CV}$ ) = 0.627100176

Capacitance Factor 6800 pF ( $\pi_{CV}$ ) = 0.63815445

Capacitance Factor 8200 pF ( $\pi_{CV}$ ) = 0.648997833

Capacitance Factor 10000 pF ( $\pi_{CV}$ ) = 0.660693448

Tabela B.2- Taxas de falhas para Capacitor Cerâmico com 100 VDC para diferentes Capacitâncias, Ambiente S<sub>F</sub>, utilizando versão N2.

<b>Versão N2 – Ambiente S<sub>F</sub>, Capacitor 100 VDC</b>	
<b>Capacitância (pF)</b>	<b>Taxa de Falhas – (λp)</b>
1.200	<b>0,000465383</b> falhas/10 <sup>6</sup> horas
1.500	<b>0,000474823</b> falhas/10 <sup>6</sup> horas
1.800	<b>0,000482679</b> falhas/10 <sup>6</sup> horas
2.200	<b>0,000491476</b> falhas/10 <sup>6</sup> horas
2.700	<b>0,000500618</b> falhas/10 <sup>6</sup> horas
3.300	<b>0,000509742</b> falhas/10 <sup>6</sup> horas
3.900	<b>0,000517464</b> falhas/10 <sup>6</sup> horas
4.700	<b>0,000526227</b> falhas/10 <sup>6</sup> horas
5.600	<b>0,00053459</b> falhas/10 <sup>6</sup> horas
6.800	<b>0,000544014</b> falhas/10 <sup>6</sup> horas
8.200	<b>0,000553257</b> falhas/10 <sup>6</sup> horas
10.000	<b>0,000563228</b> falhas/10 <sup>6</sup> horas

**Primeiro Caso:** Ambiente S<sub>F</sub> **Condição C)** Tensão de 200 VDC

Base Failure Rate (λ<sub>b</sub>) = 0.00099

Temperature Factor (π<sub>T</sub>) = 0.287030151

Quality Factor (π<sub>Q</sub>) = 3

Environment Factor (π<sub>E</sub>) = 0.5

Voltage Stress Factor (π<sub>V</sub>) = 2

Series Resitance Factor (π<sub>SR</sub>) = 1

Capacitance Factor 10 pF (π<sub>CV</sub>) = 0.354813389

Capacitance Factor 33 pF (π<sub>CV</sub>) = 0.395062907

Capacitance Factor 82 pF (π<sub>CV</sub>) = 0.428788616

Capacitance Factor 100 pF ( $\pi_{CV}$ ) = 0.436515832

Capacitance Factor 120 pF ( $\pi_{CV}$ ) = 0.443737684

Capacitance Factor 150 pF ( $\pi_{CV}$ ) = 0.452739319

Capacitance Factor 180 pF ( $\pi_{CV}$ ) = 0.460229577

Capacitance Factor 220 pF ( $\pi_{CV}$ ) = 0.468617002

Capacitance Factor 270 pF ( $\pi_{CV}$ ) = 0.477334406

Capacitance Factor 330 pF ( $\pi_{CV}$ ) = 0.486033556

Capacitance Factor 390 pF ( $\pi_{CV}$ ) = 0.493396216

Capacitance Factor 470 pF ( $\pi_{CV}$ ) = 0.501751648

Capacitance Factor 680 pF ( $\pi_{CV}$ ) = 0.518711411

Capacitance Factor 820 pF ( $\pi_{CV}$ ) = 0.527525244

Capacitance Factor 1000 pF ( $\pi_{CV}$ ) = 0.537031796

Tabela B.3- Taxas de falhas para Capacitor Cerâmico com 200 VDC para diferentes Capacitâncias, Ambiente S<sub>F</sub>, utilizando versão N2.

<b>Versão N2 – Ambiente S<sub>F</sub>, Capacitor 200 VDC</b>	
<b>Capacitância (pF)</b>	<b>Taxa de Falhas – (λp)</b>
10	<b>0,000302471</b> falhas/10 <sup>6</sup> horas
33	<b>0,000336783</b> falhas/10 <sup>6</sup> horas
82	<b>0,000365534</b> falhas/10 <sup>6</sup> horas
100	<b>0,000372121</b> falhas/10 <sup>6</sup> horas
120	<b>0,000378277</b> falhas/10 <sup>6</sup> horas
150	<b>0,000385951</b> falhas/10 <sup>6</sup> horas
180	<b>0,000392336</b> falhas/10 <sup>6</sup> horas
220	<b>0,000399486</b> falhas/10 <sup>6</sup> horas
270	<b>0,000406918</b> falhas/10 <sup>6</sup> horas
330	<b>0,000414334</b> falhas/10 <sup>6</sup> horas
390	<b>0,00042061</b> falhas/10 <sup>6</sup> horas
470	<b>0,000427733</b> falhas/10 <sup>6</sup> horas
680	<b>0,000442191</b> falhas/10 <sup>6</sup> horas
820	<b>0,000449704</b> falhas/10 <sup>6</sup> horas
1.000	<b>0,000457809</b> falhas/10 <sup>6</sup> horas

**Segundo Caso:** Ambiente A<sub>IC</sub> **Condição A)** Tensão de 50 VDC

Environment Factor (π<sub>E</sub>) = 12

O valor da taxa básica de falhas e os valores dos demais fatores de correção para capacitores cerâmicos no ambiente A<sub>IC</sub> não diferem da Condição A para ambiente S<sub>F</sub>, usá-lo como referência.

Tabela B.4 - Taxas de falhas para Capacitor Cerâmico com 50 VDC para diferentes Capacitâncias, Ambiente A<sub>IC</sub>, utilizando versão N2.

<b>Versão N2 – Ambiente A<sub>IC</sub>, Capacitor 50 VDC</b>	
<b>Capacitância (pF)</b>	<b>Taxa de Falhas – (<math>\lambda_p</math>)</b>
12.000	<b>0,013741101</b> falhas/10 <sup>6</sup> horas
15.000	<b>0,014019852</b> falhas/10 <sup>6</sup> horas
18.000	<b>0,014251801</b> falhas/10 <sup>6</sup> horas
22.000	<b>0,014511532</b> falhas/10 <sup>6</sup> horas
27.000	<b>0,014781481</b> falhas/10 <sup>6</sup> horas
33.000	<b>0,015050865</b> falhas/10 <sup>6</sup> horas
39.000	<b>0,015278863</b> falhas/10 <sup>6</sup> horas
47.000	<b>0,015537603</b> falhas/10 <sup>6</sup> horas
56.000	<b>0,015784547</b> falhas/10 <sup>6</sup> horas
68.000	<b>0,016062791</b> falhas/10 <sup>6</sup> horas
82.000	<b>0,016335727</b> falhas/10 <sup>6</sup> horas
100.000	<b>0,016630113</b> falhas/10 <sup>6</sup> horas

**Segundo Caso:** Ambiente A<sub>IC</sub> **Condição B)** Tensão de 100 VDC

Environment Factor ( $\pi_E$ ) = 12

O valor da taxa básica de falhas e os valores dos demais fatores de correção para capacitores cerâmicos no ambiente A<sub>IC</sub> não diferem da Condição B para ambiente S<sub>F</sub>, usá-lo como referência.

Tabela B.5 - Taxas de falhas para Capacitor Cerâmico com 100 VDC para diferentes Capacitâncias, Ambiente A<sub>IC</sub>, utilizando versão N2.

<b>Versão N2 – Ambiente A<sub>IC</sub>, Capacitor 100 VDC</b>	
<b>Capacitância (pF)</b>	<b>Taxa de Falhas – (<math>\lambda_p</math>)</b>
1.200	<b>0,011169186</b> falhas/10 <sup>6</sup> horas
1.500	<b>0,011395763</b> falhas/10 <sup>6</sup> horas
1.800	<b>0,011584298</b> falhas/10 <sup>6</sup> horas
2.200	<b>0,011795416</b> falhas/10 <sup>6</sup> horas
2.700	<b>0,012014839</b> falhas/10 <sup>6</sup> horas
3.300	<b>0,012233802</b> falhas/10 <sup>6</sup> horas
3.900	<b>0,012419126</b> falhas/10 <sup>6</sup> horas
4.700	<b>0,012629438</b> falhas/10 <sup>6</sup> horas
5.600	<b>0,012830162</b> falhas/10 <sup>6</sup> horas
6.800	<b>0,013056327</b> falhas/10 <sup>6</sup> horas
8.200	<b>0,013278177</b> falhas/10 <sup>6</sup> horas
10.000	<b>0,013517464</b> falhas/10 <sup>6</sup> horas

**Segundo Caso:** Ambiente A<sub>IC</sub> **Condição C)** Tensão de 200 VDC

Environment Factor ( $\pi_E$ ) = 12

O valor da taxa básica de falhas e os valores dos demais fatores de correção para capacitores cerâmicos no ambiente A<sub>IC</sub> não diferem da Condição C para ambiente S<sub>F</sub>, usá-lo como referência.

Tabela B.6 - Taxas de falhas para Capacitor Cerâmico com 200 VDC para diferentes Capacitâncias, Ambiente A<sub>IC</sub>, utilizando versão N2

<b>Versão N2 – Ambiente A<sub>IC</sub>, Capacitor 200 VDC</b>	
<b>Capacitância (pF)</b>	<b>Taxa de Falhas – (<math>\lambda_p</math>)</b>
10	<b>0,007259308</b> falhas/10 <sup>6</sup> horas
33	<b>0,008082793</b> falhas/10 <sup>6</sup> horas
82	<b>0,008772805</b> falhas/10 <sup>6</sup> horas
100	<b>0,0089309</b> falhas/10 <sup>6</sup> horas
120	<b>0,009078655</b> falhas/10 <sup>6</sup> horas
150	<b>0,009262824</b> falhas/10 <sup>6</sup> horas
180	<b>0,009416071</b> falhas/10 <sup>6</sup> horas
220	<b>0,009587674</b> falhas/10 <sup>6</sup> horas
270	<b>0,009766028</b> falhas/10 <sup>6</sup> horas
330	<b>0,009944008</b> falhas/10 <sup>6</sup> horas
390	<b>0,010094644</b> falhas/10 <sup>6</sup> horas
470	<b>0,010265592</b> falhas/10 <sup>6</sup> horas
680	<b>0,010612581</b> falhas/10 <sup>6</sup> horas
820	<b>0,010792908</b> falhas/10 <sup>6</sup> horas
1.000	<b>0,010987407</b> falhas/10 <sup>6</sup> horas

**Terceiro Caso:** Ambiente G<sub>F</sub> **Condição A**) Tensão de 50 VDC

Environment Factor ( $\pi_E$ ) = 10

O valor da taxa básica de falhas e os valores dos demais fatores de correção para capacitores cerâmicos no ambiente G<sub>F</sub> não diferem da Condição A para ambiente S<sub>F</sub>, usá-lo como referência.

Tabela B.7 - Taxas de falhas para Capacitor Cerâmico com 50 VDC para diferentes Capacitâncias, Ambiente G<sub>F</sub>, utilizando versão N2

<b>Versão N2 – Ambiente G<sub>F</sub>, Capacitor 50 VDC</b>	
<b>Capacitância (pF)</b>	<b>Taxa de Falhas – (λp)</b>
12.000	<b>0,011450917</b> falhas/10 <sup>6</sup> horas
15.000	<b>0,01168321</b> falhas/10 <sup>6</sup> horas
18.000	<b>0,0118765</b> falhas/10 <sup>6</sup> horas
22.000	<b>0,012092943</b> falhas/10 <sup>6</sup> horas
27.000	<b>0,012317901</b> falhas/10 <sup>6</sup> horas
33.000	<b>0,012542388</b> falhas/10 <sup>6</sup> horas
39.000	<b>0,012732385</b> falhas/10 <sup>6</sup> horas
47.000	<b>0,012948002</b> falhas/10 <sup>6</sup> horas
56.000	<b>0,013153789</b> falhas/10 <sup>6</sup> horas
68.000	<b>0,013385659</b> falhas/10 <sup>6</sup> horas
82.000	<b>0,013613106</b> falhas/10 <sup>6</sup> horas
100.000	<b>0,013858428</b> falhas/10 <sup>6</sup> horas

**Terceiro Caso:** Ambiente G<sub>F</sub> **Condição B)** Tensão de 100 VDC

Environment Factor ( $\pi_E$ ) = 10

O valor da taxa básica de falhas e os valores dos demais fatores de correção para capacitores cerâmicos no ambiente G<sub>F</sub> não diferem da Condição B para ambiente S<sub>F</sub>, usá-lo como referência.

Tabela B.8 - Taxas de falhas para Capacitor Cerâmico com 100 VDC para diferentes Capacitâncias, Ambiente G<sub>F</sub>, utilizando versão N2

<b>Versão N2 – Ambiente A<sub>IC</sub>, Capacitor 100 VDC</b>	
<b>Capacitância (pF)</b>	<b>Taxa de Falhas – (λp)</b>
1.200	<b>0,009307655</b> falhas/10 <sup>6</sup> horas
1.500	<b>0,009496469</b> falhas/10 <sup>6</sup> horas
1.800	<b>0,009653582</b> falhas/10 <sup>6</sup> horas
2.200	<b>0,009829513</b> falhas/10 <sup>6</sup> horas
2.700	<b>0,010012366</b> falhas/10 <sup>6</sup> horas
3.300	<b>0,010194835</b> falhas/10 <sup>6</sup> horas
3.900	<b>0,010349271</b> falhas/10 <sup>6</sup> horas
4.700	<b>0,010524531</b> falhas/10 <sup>6</sup> horas
5.600	<b>0,010691801</b> falhas/10 <sup>6</sup> horas
6.800	<b>0,010880272</b> falhas/10 <sup>6</sup> horas
8.200	<b>0,011065148</b> falhas/10 <sup>6</sup> horas
10.000	<b>0,011264553</b> falhas/10 <sup>6</sup> horas

**Terceiro Caso:** Ambiente G<sub>F</sub> **Condição C)** Tensão de 200 VDC

Environment Factor ( $\pi_E$ ) = 10

O valor da taxa básica de falhas e os valores dos demais fatores de correção para capacitores cerâmicos no ambiente G<sub>F</sub> não diferem da Condição C para ambiente S<sub>F</sub>, usá-los como referência.

Tabela B.9 - Taxas de falhas para Capacitor Cerâmico com 200 VDC para diferentes Capacitâncias, Ambiente G<sub>F</sub>, utilizando versão N2

<b>Versão N2 – Ambiente G<sub>F</sub>, Capacitor 200 VDC</b>	
<b>Capacitância (pF)</b>	<b>Taxa de Falhas – (<math>\lambda_p</math>)</b>
10	<b>0,006049423</b> falhas/10 <sup>6</sup> horas
33	<b>0,006735661</b> falhas/10 <sup>6</sup> horas
82	<b>0,007310671</b> falhas/10 <sup>6</sup> horas
100	<b>0,007442416</b> falhas/10 <sup>6</sup> horas
120	<b>0,007565546</b> falhas/10 <sup>6</sup> horas
150	<b>0,00771902</b> falhas/10 <sup>6</sup> horas
180	<b>0,007846726</b> falhas/10 <sup>6</sup> horas
220	<b>0,007989728</b> falhas/10 <sup>6</sup> horas
270	<b>0,008138356</b> falhas/10 <sup>6</sup> horas
330	<b>0,008286673</b> falhas/10 <sup>6</sup> horas
390	<b>0,008412204</b> falhas/10 <sup>6</sup> horas
470	<b>0,00855466</b> falhas/10 <sup>6</sup> horas
680	<b>0,008843817</b> falhas/10 <sup>6</sup> horas
820	<b>0,00899409</b> falhas/10 <sup>6</sup> horas
1.000	<b>0,009156172</b> falhas/10 <sup>6</sup> horas

**Quarto Caso:** Ambiente C<sub>L</sub> **Condição A)** Tensão de 50 VDC

Environment Factor ( $\pi_E$ ) = 570

O valor da taxa básica de falhas e os valores dos demais fatores de correção para capacitores cerâmicos no ambiente C<sub>L</sub> não diferem da Condição A para ambiente S<sub>F</sub>, usá-lo como referência.

Tabela B.10 - Taxas de falhas para Capacitor Cerâmico com 50 VDC para diferentes Capacitâncias, Ambiente C<sub>L</sub>, utilizando versão N2

<b>Versão N2 - Ambiente C<sub>L</sub>, Capacitor 50 VDC</b>	
<b>Capacitância (pF)</b>	<b>Taxa de Falhas – (λp)</b>
12.000	<b>0,652702283</b> falhas/10 <sup>6</sup> horas
15.000	<b>0,665942961</b> falhas/10 <sup>6</sup> horas
18.000	<b>0,676960526</b> falhas/10 <sup>6</sup> horas
22.000	<b>0,68929775</b> falhas/10 <sup>6</sup> horas
27.000	<b>0,702120347</b> falhas/10 <sup>6</sup> horas
33.000	<b>0,714916095</b> falhas/10 <sup>6</sup> horas
39.000	<b>0,725745972</b> falhas/10 <sup>6</sup> horas
47.000	<b>0,738036137</b> falhas/10 <sup>6</sup> horas
56.000	<b>0,749766</b> falhas/10 <sup>6</sup> horas
68.000	<b>0,762982579</b> falhas/10 <sup>6</sup> horas
82.000	<b>0,775947014</b> falhas/10 <sup>6</sup> horas
100.000	<b>0,789930385</b> falhas/10 <sup>6</sup> horas

**Quarto Caso:** Ambiente C<sub>L</sub> **Condição B)** Tensão de 100 VDC

Environment Factor (π<sub>E</sub>) = 570

O valor da taxa básica de falhas e os valores dos demais fatores de correção para capacitores cerâmicos no ambiente C<sub>L</sub> não diferem da Condição B para ambiente S<sub>F</sub>, usá-lo como referência.

Tabela B.11 - Taxas de falhas para Capacitor Cerâmico com 100 VDC para diferentes Capacitâncias, Ambiente C<sub>L</sub>, utilizando versão N2

<b>Versão N2 – Ambiente C<sub>L</sub>, Capacitor 100 VDC</b>	
<b>Capacitância (pF)</b>	<b>Taxa de Falhas – (<math>\lambda_p</math>)</b>
1.200	<b>0,530536334</b> falhas/10 <sup>6</sup> horas
1.500	<b>0,541298761</b> falhas/10 <sup>6</sup> horas
1.800	<b>0,550254173</b> falhas/10 <sup>6</sup> horas
2.200	<b>0,560282246</b> falhas/10 <sup>6</sup> horas
2.700	<b>0,570704844</b> falhas/10 <sup>6</sup> horas
3.300	<b>0,581105618</b> falhas/10 <sup>6</sup> horas
3.900	<b>0,589908473</b> falhas/10 <sup>6</sup> horas
4.700	<b>0,599898294</b> falhas/10 <sup>6</sup> horas
5.600	<b>0,609432684</b> falhas/10 <sup>6</sup> horas
6.800	<b>0,620175523</b> falhas/10 <sup>6</sup> horas
8.200	<b>0,630713412</b> falhas/10 <sup>6</sup> horas
10.000	<b>0,642079523</b> falhas/10 <sup>6</sup> horas

**Quarto Caso:** Ambiente C<sub>L</sub> **Condição C)** Tensão de 200 VDC

Environment Factor ( $\pi_E$ ) = 570

O valor da taxa básica de falhas e os valores dos demais fatores de correção para capacitores cerâmicos no ambiente C<sub>L</sub> não diferem da Condição C para ambiente S<sub>F</sub>, usá-lo como referência.

Tabela B.12 - Taxas de falhas para Capacitor Cerâmico com 200 VDC para diferentes Capacitâncias, Ambiente C<sub>L</sub>, utilizando versão N2

<b>Versão N2 – Ambiente C<sub>L</sub>, Capacitor 200 VDC</b>	
<b>Capacitância (pF)</b>	<b>Taxa de Falhas – (λ<sub>p</sub>)</b>
10	0,34481712 falhas/10 <sup>6</sup> horas
33	0,383932675 falhas/10 <sup>6</sup> horas
82	0,416708219 falhas/10 <sup>6</sup> horas
100	0,424217734 falhas/10 <sup>6</sup> horas
120	0,431236122 falhas/10 <sup>6</sup> horas
150	0,439984151 falhas/10 <sup>6</sup> horas
180	0,447263384 falhas/10 <sup>6</sup> horas
220	0,455414507 falhas/10 <sup>6</sup> horas
270	0,463886313 falhas/10 <sup>6</sup> horas
330	0,47234038 falhas/10 <sup>6</sup> horas
390	0,479495609 falhas/10 <sup>6</sup> horas
470	0,48761564 falhas/10 <sup>6</sup> horas
680	0,504097591 falhas/10 <sup>6</sup> horas
820	0,512663108 falhas/10 <sup>6</sup> horas
1.000	0,52190183 falhas/10 <sup>6</sup> horas

**B.2 – Capacitor Fixo, Eletrolítico, Tantão Não-Sólido (MIL HDBK 217 F N2– seção 10.1)**

$$\lambda_p = \lambda_b \cdot \pi_T \cdot \pi_C \cdot \pi_{SR} \cdot \pi_Q \cdot \pi_E \text{ Failures}/10^6 \text{ hours} \quad (\text{B.2})$$

**Primeiro Caso:** Ambiente S<sub>F</sub>. **Condição A)** Tensão de 50 VDC

Base Failure Rate (λ<sub>b</sub>) = 0.0004

Quality Factor (π<sub>Q</sub>) = 0.03

Voltage Stress Factor (π<sub>V</sub>) = 2

Environment Factor ( $\pi_E$ ) = 0.5

Temperature Factor ( $\pi_T$ ) = 2.66182

Capacitance Factor 5  $\mu\text{F}$  ( $\pi_{CV}$ ) = 1.447981793

Capacitance Factor 10  $\mu\text{F}$  ( $\pi_{CV}$ ) = 1.698243652

Capacitance Factor 25  $\mu\text{F}$  ( $\pi_{CV}$ ) = 2.096651272

Capacitance Factor 47  $\mu\text{F}$  ( $\pi_{CV}$ ) = 2.424278486

Capacitance Factor 60  $\mu\text{F}$  ( $\pi_{CV}$ ) = 2.564335163

Capacitance Factor 82  $\mu\text{F}$  ( $\pi_{CV}$ ) = 2.755352619

Capacitance Factor 160  $\mu\text{F}$  ( $\pi_{CV}$ ) = 3.213272787

Tabela B.13 - Taxas de falhas para Capacitor de Tântalo não Sólido com 50 VDC para diferentes Capacitâncias, ambiente  $S_F$ , utilizando versão N2.

<b>Versão N2 – Capacitor Tântalo não Sólido 50 VDC – Ambiente <math>S_F</math></b>	
<b>Capacitância (<math>\mu\text{F}</math>)</b>	<b>Taxa de Falhas – (<math>\lambda_p</math>)</b>
5	<b>4,62512E-05</b> falhas/ $10^6$ horas
10	<b>5,4245E-05</b> falhas/ $10^6$ horas
25	<b>6,69709E-05</b> falhas/ $10^6$ horas
47	<b>7,74359E-05</b> falhas/ $10^6$ horas
60	<b>8,19096E-05</b> falhas/ $10^6$ horas
82	<b>8,8011E-05</b> falhas/ $10^6$ horas
160	<b>0,000102638</b> falhas/ $10^6$ horas

**Primeiro Caso:** Ambiente  $S_F$ . **Condição B)** Tensão de 60 VDC

Base Failure Rate ( $\lambda_b$ ) = 0.0004

Quality Factor ( $\pi_Q$ ) = 0.03

Voltage Stress Factor ( $\pi_V$ ) = 2

Environment Factor ( $\pi_E$ ) = 0.5

Temperature Factor ( $\pi_T$ ) = 2.66182

Capacitance Factor 4  $\mu\text{F}$  ( $\pi_{CV}$ ) = 1.375541818

Capacitance Factor 8.2  $\mu\text{F}$  ( $\pi_{CV}$ ) = 1.622471908

Capacitance Factor 20  $\mu\text{F}$  ( $\pi_{CV}$ ) = 1.991759508

Capacitance Factor 39  $\mu\text{F}$  ( $\pi_{CV}$ ) = 2.322441908

Capacitance Factor 50  $\mu\text{F}$  ( $\pi_{CV}$ ) = 2.459025889

Capacitance Factor 68  $\mu\text{F}$  ( $\pi_{CV}$ ) = 2.63922885

Capacitance Factor 140  $\mu\text{F}$  ( $\pi_{CV}$ ) = 3.116086094

Tabela B.14 - Taxas de falhas para Capacitor de Tântalo não Sólido com 60 VDC para diferentes Capacitâncias, ambiente  $S_F$ , utilizando versão N2.

<b>Versão N2 – Capacitor Tântalo não Sólido 60 VDC – Ambiente <math>S_F</math></b>	
<b>Capacitância (<math>\mu\text{F}</math>)</b>	<b>Taxa de Falhas – (<math>\lambda_p</math>)</b>
4	<b>4,39373E-05</b> falhas/ $10^6$ horas
8,2	<b>5,18247E-05</b> falhas/ $10^6$ horas
20	<b>6,36205E-05</b> falhas/ $10^6$ horas
39	<b>7,41831E-05</b> falhas/ $10^6$ horas
50	<b>7,85458E-05</b> falhas/ $10^6$ horas
68	<b>8,43018E-05</b> falhas/ $10^6$ horas
140	<b>9,95335E-05</b> falhas/ $10^6$ horas

**Primeiro Caso:** Ambiente S<sub>F</sub>. **Condição C)** Tensão de 100 VDC

Base Failure Rate ( $\lambda_b$ ) = 0.0004

Quality Factor ( $\pi_Q$ ) = 0.03

Voltage Stress Factor ( $\pi_V$ ) = 2

Environment Factor ( $\pi_E$ ) = 0.5

Temperature Factor ( $\pi_T$ ) = 2.66182

Capacitance Factor 2.5  $\mu\text{F}$  ( $\pi_{CV}$ ) = 1.234599799

Capacitance Factor 4.7  $\mu\text{F}$  ( $\pi_{CV}$ ) = 1.427521005

Capacitance Factor 11  $\mu\text{F}$  ( $\pi_{CV}$ ) = 1.735882471

Capacitance Factor 22  $\mu\text{F}$  ( $\pi_{CV}$ ) = 2.035903629

Capacitance Factor 30  $\mu\text{F}$  ( $\pi_{CV}$ ) = 2.186441634

Capacitance Factor 43  $\mu\text{F}$  ( $\pi_{CV}$ ) = 2.375186657

Capacitance Factor 86  $\mu\text{F}$  ( $\pi_{CV}$ ) = 2.785701922

Tabela B.15 - Taxas de falhas para Capacitor de Tântalo não Sólido com 100 VDC para diferentes Capacitâncias, ambiente S<sub>F</sub>, utilizando versão N2.

<b>Versão N2 – Capacitor Tântalo não Sólido 100 VDC – Ambiente S<sub>F</sub></b>	
<b>Capacitância (<math>\mu\text{F}</math>)</b>	<b>Taxa de Falhas – (<math>\lambda_p</math>)</b>
2,5	<b>3,94354E-05</b> falhas/10 <sup>6</sup> horas
4,7	<b>4,55976E-05</b> falhas/10 <sup>6</sup> horas
11	<b>5,54473E-05</b> falhas/10 <sup>6</sup> horas
22	<b>6,50305E-05</b> falhas/10 <sup>6</sup> horas
30	<b>6,9839E-05</b> falhas/10 <sup>6</sup> horas
43	<b>7,58678E-05</b> falhas/10 <sup>6</sup> horas
86	<b>8,89804E-05</b> falhas/10 <sup>6</sup> horas

**Segundo Caso:** Ambiente A<sub>IC</sub>. **Condição A)** Tensão de 50 VDC

Environment Factor ( $\pi_E$ ) = 12

O valor da taxa básica de falhas e os valores dos demais fatores de correção para capacitores de tântalo não-sólidos no ambiente A<sub>IC</sub> não diferem da Condição A para ambiente S<sub>F</sub>, usá-los como referência.

Tabela B.16 - Taxas de falhas para Capacitor de Tântalo não Sólido com 50 VDC para diferentes Capacitâncias, ambiente A<sub>IC</sub>, utilizando versão N2.

<b>Versão N2 – Capacitor Tântalo não Sólido 50 VDC – Ambiente A<sub>IC</sub></b>	
<b>Capacitância (μF)</b>	<b>Taxa de Falhas – (λp)</b>
5	<b>0,001110029</b> falhas/10 <sup>6</sup> horas
10	<b>0,001301881</b> falhas/10 <sup>6</sup> horas
25	<b>0,001607301</b> falhas/10 <sup>6</sup> horas
47	<b>0,001858462</b> falhas/10 <sup>6</sup> horas
60	<b>0,00196583</b> falhas/10 <sup>6</sup> horas
82	<b>0,002112265</b> falhas/10 <sup>6</sup> horas
160	<b>0,002463308</b> falhas/10 <sup>6</sup> horas

**Segundo Caso:** Ambiente A<sub>IC</sub>. **Condição B)** Tensão de 60 VDC

Environment Factor ( $\pi_E$ ) = 12

O valor da taxa básica de falhas e os valores dos demais fatores de correção para capacitores de tântalo não-sólidos no ambiente A<sub>IC</sub> não diferem da Condição B para ambiente S<sub>F</sub>, usá-los como referência.

Tabela B.17 - Taxas de falhas para Capacitor de Tântalo não Sólido com 60 VDC para diferentes Capacitâncias, ambiente A<sub>IC</sub>, utilizando versão N2.

<b>Versão N2 – Capacitor Tântalo não Sólido 60 VDC – Ambiente A<sub>IC</sub></b>	
<b>Capacitância (μF)</b>	<b>Taxa de Falhas – (λp)</b>
4	<b>0,001054496</b> falhas/10 <sup>6</sup> horas
8,2	<b>0,001243794</b> falhas/10 <sup>6</sup> horas
20	<b>0,001526891</b> falhas/10 <sup>6</sup> horas
39	<b>0,001780393</b> falhas/10 <sup>6</sup> horas
50	<b>0,001885099</b> falhas/10 <sup>6</sup> horas
68	<b>0,002023244</b> falhas/10 <sup>6</sup> horas
140	<b>0,002388804</b> falhas/10 <sup>6</sup> horas

**Segundo Caso:** Ambiente A<sub>IC</sub>. **Condição C)** Tensão de 100 VDC

Environment Factor (π<sub>E</sub>) = 12

O valor da taxa básica de falhas e os valores dos demais fatores de correção para capacitores de tântalo não-sólidos no ambiente A<sub>IC</sub> não diferem da Condição C para ambiente S<sub>F</sub>, usá-los como referência.

Tabela B.18 - Taxas de falhas para Capacitor de Tântalo não Sólido com 100 VDC para diferentes Capacitâncias, ambiente A<sub>IC</sub>, utilizando versão N2.

<b>Versão N2 – Capacitor Tântalo não Sólido 100 VDC – Ambiente A<sub>IC</sub></b>	
<b>Capacitância (μF)</b>	<b>Taxa de Falhas – (λp)</b>
2,5	<b>0,000946449</b> falhas/10 <sup>6</sup> horas
4,7	<b>0,001094343</b> falhas/10 <sup>6</sup> horas
11	<b>0,001330735</b> falhas/10 <sup>6</sup> horas
22	<b>0,001560732</b> falhas/10 <sup>6</sup> horas
30	<b>0,001676135</b> falhas/10 <sup>6</sup> horas
43	<b>0,001820828</b> falhas/10 <sup>6</sup> horas
86	<b>0,00213553</b> falhas/10 <sup>6</sup> horas

**Terceiro Caso:** Ambiente G<sub>F</sub>. **Condição A)** Tensão de 50 VDC

Environment Factor ( $\pi_E$ ) = 10

O valor da taxa básica de falhas e os valores dos demais fatores de correção para capacitores de tântalo não-sólidos no ambiente G<sub>F</sub> não diferem da Condição A para ambiente S<sub>F</sub>, usá-los como referência.

Tabela B.19 - Taxas de falhas para Capacitor de Tântalo não Sólido com 50 VDC para diferentes Capacitâncias, ambiente G<sub>F</sub>, utilizando versão N2.

<b>Versão N2 – Capacitor Tântalo não Sólido 50 VDC – Ambiente G<sub>F</sub></b>	
<b>Capacitância (μF)</b>	<b>Taxa de Falhas – (λp)</b>
5	<b>0,000925024</b> falhas/10 <sup>6</sup> horas
10	<b>0,0010849</b> falhas/10 <sup>6</sup> horas
25	<b>0,001339418</b> falhas/10 <sup>6</sup> horas
47	<b>0,001548718</b> falhas/10 <sup>6</sup> horas
60	<b>0,001638191</b> falhas/10 <sup>6</sup> horas
82	<b>0,00176022</b> falhas/10 <sup>6</sup> horas
160	<b>0,002052757</b> falhas/10 <sup>6</sup> horas

**Terceiro Caso:** Ambiente G<sub>F</sub>. **Condição B)** Tensão de 60 VDC

Environment Factor ( $\pi_E$ ) = 10

O valor da taxa básica de falhas e os valores dos demais fatores de correção para capacitores de tântalo não-sólidos no ambiente G<sub>F</sub> não diferem da Condição B para ambiente S<sub>F</sub>, usá-los como referência.

Tabela B.20 - Taxas de falhas para Capacitor de Tântalo não Sólido com 60 VDC para diferentes Capacitâncias, ambiente  $G_F$ , utilizando versão N2.

<b>Versão N2 – Capacitor Tântalo não Sólido 60 VDC – Ambiente <math>G_F</math></b>	
<b>Capacitância (<math>\mu F</math>)</b>	<b>Taxa de Falhas – (<math>\lambda_p</math>)</b>
4	<b>0,000878747</b> falhas/ $10^6$ horas
8,2	<b>0,001036495</b> falhas/ $10^6$ horas
20	<b>0,001272409</b> falhas/ $10^6$ horas
39	<b>0,001483661</b> falhas/ $10^6$ horas
50	<b>0,001570916</b> falhas/ $10^6$ horas
68	<b>0,001686036</b> falhas/ $10^6$ horas
140	<b>0,00199067</b> falhas/ $10^6$ horas

**Terceiro Caso:** Ambiente  $G_F$ . **Condição C)** Tensão de 100 VDC

Environment Factor ( $\pi_E$ ) = 10

O valor da taxa básica de falhas e os valores dos demais fatores de correção para capacitores de tântalo não-sólidos no ambiente  $G_F$  não diferem da Condição C para ambiente  $S_F$ , usá-los como referência.

Tabela B.21 - Taxas de falhas para Capacitor de Tântalo não Sólido com 100 VDC para diferentes Capacitâncias, ambiente  $G_F$ , utilizando versão N2.

<b>Versão N2 – Capacitor Tântalo não Sólido 100 VDC – Ambiente <math>G_F</math></b>	
<b>Capacitância (<math>\mu F</math>)</b>	<b>Taxa de Falhas – (<math>\lambda_p</math>)</b>
2,5	<b>0,000788708</b> falhas/ $10^6$ horas
4,7	<b>0,000911953</b> falhas/ $10^6$ horas
11	<b>0,001108945</b> falhas/ $10^6$ horas
22	<b>0,00130061</b> falhas/ $10^6$ horas
30	<b>0,001396779</b> falhas/ $10^6$ horas
43	<b>0,001517356</b> falhas/ $10^6$ horas
86	<b>0,001779609</b> falhas/ $10^6$ horas

**Quarto Caso:** Ambiente C<sub>L</sub>. **Condição A)** Tensão de 50 VDC

Environment Factor ( $\pi_E$ ) = 570

O valor da taxa básica de falhas e os valores dos demais fatores de correção para capacitores de tântalo não-sólidos no ambiente C<sub>L</sub> não diferem da Condição A para ambiente S<sub>F</sub>, usá-los como referência.

Tabela B.22 - Taxas de falhas para Capacitor de Tântalo não Sólido com 50 VDC para diferentes Capacitâncias, ambiente C<sub>L</sub>, utilizando versão N2.

<b>Versão N2 – Capacitor Tântalo não Sólido 50 VDC – Ambiente C<sub>L</sub></b>	
<b>Capacitância (<math>\mu</math>F)</b>	<b>Taxa de Falhas – (<math>\lambda_p</math>)</b>
5	<b>0,052726366</b> falhas/10 <sup>6</sup> horas
10	<b>0,061839324</b> falhas/10 <sup>6</sup> horas
25	<b>0,076346817</b> falhas/10 <sup>6</sup> horas
47	<b>0,088276934</b> falhas/10 <sup>6</sup> horas
60	<b>0,093376915</b> falhas/10 <sup>6</sup> horas
82	<b>0,100332567</b> falhas/10 <sup>6</sup> horas
160	<b>0,117007131</b> falhas/10 <sup>6</sup> horas

**Quarto Caso:** Ambiente C<sub>L</sub>. **Condição B)** Tensão de 60 VDC

Environment Factor ( $\pi_E$ ) = 570

O valor da taxa básica de falhas e os valores dos demais fatores de correção para capacitores de tântalo não-sólidos no ambiente C<sub>L</sub> não diferem da Condição B para ambiente S<sub>F</sub>, usá-los como referência.

Tabela B.23 - Taxas de falhas para Capacitor de Tântalo não Sólido com 60 VDC para diferentes Capacitâncias, ambiente C<sub>L</sub>, utilizando versão N2.

<b>Versão N2 – Capacitor Tântalo não Sólido 60 VDC – Ambiente C<sub>L</sub></b>	
<b>Capacitância (μF)</b>	<b>Taxa de Falhas – (λp)</b>
4	<b>0,050088559</b> falhas/10 <sup>6</sup> horas
8,2	<b>0,059080195</b> falhas/10 <sup>6</sup> horas
20	<b>0,072527321</b> falhas/10 <sup>6</sup> horas
39	<b>0,084568689</b> falhas/10 <sup>6</sup> horas
50	<b>0,089542216</b> falhas/10 <sup>6</sup> horas
68	<b>0,096104071</b> falhas/10 <sup>6</sup> horas
140	<b>0,113468205</b> falhas/10 <sup>6</sup> horas

**Quarto Caso:** Ambiente C<sub>L</sub>. **Condição C)** Tensão de 100 VDC

Environment Factor (π<sub>E</sub>) = 570

O valor da taxa básica de falhas e os valores dos demais fatores de correção para capacitores de tântalo não-sólidos no ambiente C<sub>L</sub> não diferem da Condição C para ambiente S<sub>F</sub>, usá-los como referência.

Tabela B.24 - Taxas de falhas para Capacitor de Tântalo não Sólido com 100 VDC para diferentes Capacitâncias, ambiente C<sub>L</sub>, utilizando versão N2.

<b>Versão N2 – Capacitor Tântalo não Sólido 100 VDC – Ambiente C<sub>L</sub></b>	
<b>Capacitância (μF)</b>	<b>Taxa de Falhas – (λp)</b>
2,5	<b>0,044956339</b> falhas/10 <sup>6</sup> horas
4,7	<b>0,051981313</b> falhas/10 <sup>6</sup> horas
11	<b>0,063209893</b> falhas/10 <sup>6</sup> horas
22	<b>0,074134771</b> falhas/10 <sup>6</sup> horas
30	<b>0,079616416</b> falhas/10 <sup>6</sup> horas
43	<b>0,08648932</b> falhas/10 <sup>6</sup> horas
86	<b>0,101437697</b> falhas/10 <sup>6</sup> horas

**B.3 – Capacitor Fixo, Eletrolítico, Tantão, Sólido (MIL HDBK 217 F N2 – seção 10.1)**

$$\lambda_p = \lambda_b \cdot \pi_T \cdot \pi_C \cdot \pi_V \cdot \pi_{SR} \cdot \pi_Q \cdot \pi_E \text{ Failures}/10^6 \text{ hours} \quad (\text{B.3})$$

**Primeiro Caso:** Ambiente SF. **Condição A)** Tensão de 50 VDC

Base Failure Rate ( $\lambda_b$ ) = 0.0004

Temperature Factor ( $\pi_T$ ) = 2.66182

Quality Factor ( $\pi_Q$ ) = 0.001

Voltage Stress Factor ( $\pi_V$ ) = 2

Construction Factor ( $\pi_{SR}$ ) = 1

Environment Factor ( $\pi_E$ ) = 0.5

Capacitance Factor 0.01  $\mu\text{F}$  ( $\pi_C$ ) = 0.34673685

Capacitance Factor 0.022  $\mu\text{F}$  ( $\pi_C$ ) = 0.415678169

Capacitance Factor 0.068  $\mu\text{F}$  ( $\pi_C$ ) = 0.538861369

Capacitance Factor 0.15  $\mu\text{F}$  ( $\pi_C$ ) = 0.646399467

Capacitance Factor 0.22  $\mu\text{F}$  ( $\pi_C$ ) = 0.705922812

Capacitance Factor 0.68  $\mu\text{F}$  ( $\pi_C$ ) = 0.915117899

Capacitance Factor 1  $\mu\text{F}$  ( $\pi_C$ ) = 1

Capacitance Factor 1.5  $\mu\text{F}$  ( $\pi_C$ ) = 1.097743792

Capacitance Factor 1.8  $\mu\text{F}$  ( $\pi_c$ ) = 1.144755335

Capacitance Factor 2.7  $\mu\text{F}$  ( $\pi_c$ ) = 1.256648062

Capacitance Factor 3.9  $\mu\text{F}$  ( $\pi_c$ ) = 1.367555182

Capacitance Factor 4.7  $\mu\text{F}$  ( $\pi_c$ ) = 1.427521005

Capacitance Factor 6.8  $\mu\text{F}$  ( $\pi_c$ ) = 1.554093163

Capacitance Factor 8.2  $\mu\text{F}$  ( $\pi_c$ ) = 1.622471908

Capacitance Factor 10  $\mu\text{F}$  ( $\pi_c$ ) = 1.698243652

Tabela B.25 - Taxas de falhas para Capacitor de Tântalo Sólido com 50 VDC para diferentes Capacitâncias, ambiente  $S_F$ , utilizando versão N2.

<b>Versão F – Capacitor Tântalo Sólido 50 VDC – Ambiente <math>S_F</math></b>	
<b>Capacitância (<math>\mu\text{F}</math>)</b>	<b>Taxa de Falhas – (<math>\lambda_p</math>)</b>
0,01	<b>3,6918E-07</b> falhas/ $10^6$ horas
0,022	<b>4,42584E-07</b> falhas/ $10^6$ horas
0,068	<b>5,73741E-07</b> falhas/ $10^6$ horas
0,15	<b>6,8824E-07</b> falhas/ $10^6$ horas
0,22	<b>7,51616E-07</b> falhas/ $10^6$ horas
0,68	<b>9,74352E-07</b> falhas/ $10^6$ horas
1	<b>1,06473E-06</b> falhas/ $10^6$ horas
1,5	<b>1,1688E-06</b> falhas/ $10^6$ horas
1,8	<b>1,21885E-06</b> falhas/ $10^6$ horas
2,7	<b>1,33799E-06</b> falhas/ $10^6$ horas
3,9	<b>1,45607E-06</b> falhas/ $10^6$ horas
4,7	<b>1,51992E-06</b> falhas/ $10^6$ horas
6,8	<b>1,65469E-06</b> falhas/ $10^6$ horas
8,2	<b>1,72749E-06</b> falhas/ $10^6$ horas
10	<b>1,80817E-06</b> falhas/ $10^6$ horas

**Primeiro Caso:** Ambiente S<sub>F</sub>. **Condição B)** Tensão de 75 VDC

Base Failure Rate ( $\lambda_b$ ) = 0.0004

Temperature Factor ( $\pi_T$ ) = 2.66182

Quality Factor ( $\pi_Q$ ) = 0.001

Voltage Stress Factor ( $\pi_V$ ) = 2

Construction Factor ( $\pi_{SR}$ ) = 1

Environment Factor ( $\pi_E$ ) = 0.5

Capacitance Factor 0.1  $\mu$ F ( $\pi_C$ ) = 0.588843655

Capacitance Factor 0.15  $\mu$ F ( $\pi_C$ ) = 0.646399467

Capacitance Factor 0.22  $\mu$ F ( $\pi_C$ ) = 0.705922812

Capacitance Factor 0.33  $\mu$ F ( $\pi_C$ ) = 0.774922385

Capacitance Factor 0.47  $\mu$ F ( $\pi_C$ ) = 0.840586687

Capacitance Factor 0.56  $\mu$ F ( $\pi_C$ ) = 0.875151509

Capacitance Factor 1  $\mu$ F ( $\pi_C$ ) = 1

Capacitance Factor 1.5  $\mu$ F ( $\pi_C$ ) = 1.097743792

Capacitance Factor 2.2  $\mu$ F ( $\pi_C$ ) = 1.198828935

Capacitance Factor 3.3  $\mu$ F ( $\pi_C$ ) = 1.316007021

Capacitance Factor 4.7  $\mu$ F ( $\pi_C$ ) = 1.427521005

Capacitance Factor 6.8  $\mu$ F ( $\pi_C$ ) = 1.554093163

Capacitance Factor 10  $\mu\text{F}$  ( $\pi_C$ ) = 1.698243652

Capacitance Factor 12  $\mu\text{F}$  ( $\pi_C$ ) = 1.770971966

Capacitance Factor 15  $\mu\text{F}$  ( $\pi_C$ ) = 1.864236426

Tabela B.26 - Taxas de falhas para Capacitor de Tântalo Sólido com 75 VDC para diferentes Capacitâncias, ambiente  $S_F$ , utilizando versão N2.

<b>Versão F – Capacitor Tântalo Sólido 75 VDC – Ambiente <math>S_F</math></b>	
<b>Capacitância (<math>\mu\text{F}</math>)</b>	<b>Taxa de Falhas – (<math>\lambda_p</math>)</b>
0,1	<b>6,26958E-07</b> falhas/ $10^6$ horas
0,15	<b>6,8824E-07</b> falhas/ $10^6$ horas
0,22	<b>7,51616E-07</b> falhas/ $10^6$ horas
0,33	<b>8,25081E-07</b> falhas/ $10^6$ horas
0,47	<b>8,94996E-07</b> falhas/ $10^6$ horas
0,56	<b>9,31798E-07</b> falhas/ $10^6$ horas
1	<b>1,06473E-06</b> falhas/ $10^6$ horas
1,5	<b>1,1688E-06</b> falhas/ $10^6$ horas
2,2	<b>1,27643E-06</b> falhas/ $10^6$ horas
3,3	<b>1,40119E-06</b> falhas/ $10^6$ horas
4,7	<b>1,51992E-06</b> falhas/ $10^6$ horas
6,8	<b>1,65469E-06</b> falhas/ $10^6$ horas
10	<b>1,80817E-06</b> falhas/ $10^6$ horas
12	<b>1,8856E-06</b> falhas/ $10^6$ horas
15	<b>1,9849E-06</b> falhas/ $10^6$ horas

**Primeiro Caso:** Ambiente  $S_F$ . **Condição C)** Tensão de 100 VDC

Base Failure Rate ( $\lambda_b$ ) = 0.0004

Temperature Factor ( $\pi_T$ ) = 2.66182

Quality Factor ( $\pi_Q$ ) = 0.001

Voltage Stress Factor ( $\pi_V$ ) = 2

Construction Factor ( $\pi_{SR}$ ) = 1

Environment Factor ( $\pi_E$ ) = 0.5

Capacitance Factor 0.0056  $\mu F$  ( $\pi_C$ ) = 0.303447278

Capacitance Factor 0.0082  $\mu F$  ( $\pi_C$ ) = 0.331266246

Capacitance Factor 0.012  $\mu F$  ( $\pi_C$ ) = 0.361586066

Capacitance Factor 0.015  $\mu F$  ( $\pi_C$ ) = 0.380628225

Capacitance Factor 0.022  $\mu F$  ( $\pi_C$ ) = 0.415678169

Capacitance Factor 0.27  $\mu F$  ( $\pi_C$ ) = 0.739969238

Capacitance Factor 0.39  $\mu F$  ( $\pi_C$ ) = 0.805276192

Capacitance Factor 0.56  $\mu F$  ( $\pi_C$ ) = 0.875151509

Capacitance Factor 1  $\mu F$  ( $\pi_C$ ) = 1

Capacitance Factor 1.2  $\mu F$  ( $\pi_C$ ) = 1.042825606

Capacitance Factor 1.5  $\mu F$  ( $\pi_C$ ) = 1.097743792

Capacitance Factor 2.2  $\mu F$  ( $\pi_C$ ) = 1.198828935

Capacitance Factor 3.3  $\mu F$  ( $\pi_C$ ) = 1.316007021

Capacitance Factor 4.7  $\mu F$  ( $\pi_C$ ) = 1.427521005

Capacitance Factor 6.8  $\mu F$  ( $\pi_C$ ) = 1.554093163

Tabela B.27 - Taxas de falhas para Capacitor de Tântalo Sólido com 100 VDC para diferentes Capacitâncias, ambiente S<sub>F</sub>, utilizando versão N2.

<b>Versão F – Capacitor Tântalo Sólido 100 VDC – Ambiente S<sub>F</sub></b>	
<b>Capacitância (μF)</b>	<b>Taxa de Falhas – (λp)</b>
0,0056	<b>3,23089E-07</b> falhas/10 <sup>6</sup> horas
0,0082	<b>3,52708E-07</b> falhas/10 <sup>6</sup> horas
0,012	<b>3,84991E-07</b> falhas/10 <sup>6</sup> horas
0,015	<b>4,05265E-07</b> falhas/10 <sup>6</sup> horas
0,022	<b>4,42584E-07</b> falhas/10 <sup>6</sup> horas
0,27	<b>7,87866E-07</b> falhas/10 <sup>6</sup> horas
0,39	<b>8,574E-07</b> falhas/10 <sup>6</sup> horas
0,56	<b>9,31798E-07</b> falhas/10 <sup>6</sup> horas
1	<b>1,06473E-06</b> falhas/10 <sup>6</sup> horas
1,2	<b>1,11033E-06</b> falhas/10 <sup>6</sup> horas
1,5	<b>1,1688E-06</b> falhas/10 <sup>6</sup> horas
2,2	<b>1,27643E-06</b> falhas/10 <sup>6</sup> horas
3,3	<b>1,40119E-06</b> falhas/10 <sup>6</sup> horas
4,7	<b>1,51992E-06</b> falhas/10 <sup>6</sup> horas
6,8	<b>1,65469E-06</b> falhas/10 <sup>6</sup> horas

**Segundo Caso:** Ambiente A<sub>IC</sub>. **Condição A)** Tensão de 50 VDC

Environment Factor (π<sub>E</sub>) = 12

O valor da taxa básica de falhas e os valores dos demais fatores de correção para capacitores de tântalo sólidos no ambiente A<sub>IC</sub> não diferem da Condição A para ambiente S<sub>F</sub>, usá-los como referência.

Tabela B.28 - Taxas de falhas para Capacitor de Tântalo Sólido com 50 VDC para diferentes Capacitâncias, ambiente A<sub>IC</sub>, utilizando versão F.

<b>Versão F – Capacitor Tântalo Sólido 50 VDC – Ambiente A<sub>IC</sub></b>	
<b>Capacitância (μF)</b>	<b>Taxa de Falhas – (λp)</b>
0,01	<b>8,86033E-06</b> falhas/10 <sup>6</sup> horas
0,022	<b>1,0622E-05</b> falhas/10 <sup>6</sup> horas
0,068	<b>1,37698E-05</b> falhas/10 <sup>6</sup> horas
0,15	<b>1,65177E-05</b> falhas/10 <sup>6</sup> horas
0,22	<b>1,80388E-05</b> falhas/10 <sup>6</sup> horas
0,68	<b>2,33844E-05</b> falhas/10 <sup>6</sup> horas
1	<b>2,55535E-05</b> falhas/10 <sup>6</sup> horas
1,5	<b>2,80512E-05</b> falhas/10 <sup>6</sup> horas
1,8	<b>2,92525E-05</b> falhas/10 <sup>6</sup> horas
2,7	<b>3,21117E-05</b> falhas/10 <sup>6</sup> horas
3,9	<b>3,49458E-05</b> falhas/10 <sup>6</sup> horas
4,7	<b>3,64781E-05</b> falhas/10 <sup>6</sup> horas
6,8	<b>3,97125E-05</b> falhas/10 <sup>6</sup> horas
8,2	<b>4,14598E-05</b> falhas/10 <sup>6</sup> horas
10	<b>4,3396E-05</b> falhas/10 <sup>6</sup> horas

**Segundo Caso:** Ambiente A<sub>IC</sub>. **Condição B)** Tensão de 75 VDC

Environment Factor (π<sub>E</sub>) = 12

O valor da taxa básica de falhas e os valores dos demais fatores de correção para capacitores de tântalo sólidos no ambiente A<sub>IC</sub> não diferem da Condição B para ambiente S<sub>F</sub>, usá-los como referência.

Tabela B.29 - Taxas de falhas para Capacitor de Tântalo Sólido com 75 VDC para diferentes Capacitâncias, ambiente A<sub>IC</sub>, utilizando versão N2.

<b>Versão F – Capacitor Tântalo Sólido 75 VDC – Ambiente A<sub>IC</sub></b>	
<b>Capacitância (μF)</b>	<b>Taxa de Falhas – (λp)</b>
0,1	<b>1,5047E-05</b> falhas/10 <sup>6</sup> horas
0,15	<b>1,65177E-05</b> falhas/10 <sup>6</sup> horas
0,22	<b>1,80388E-05</b> falhas/10 <sup>6</sup> horas
0,33	<b>1,9802E-05</b> falhas/10 <sup>6</sup> horas
0,47	<b>2,14799E-05</b> falhas/10 <sup>6</sup> horas
0,56	<b>2,23632E-05</b> falhas/10 <sup>6</sup> horas
1	<b>2,55535E-05</b> falhas/10 <sup>6</sup> horas
1,5	<b>2,80512E-05</b> falhas/10 <sup>6</sup> horas
2,2	<b>3,06342E-05</b> falhas/10 <sup>6</sup> horas
3,3	<b>3,36285E-05</b> falhas/10 <sup>6</sup> horas
4,7	<b>3,64781E-05</b> falhas/10 <sup>6</sup> horas
6,8	<b>3,97125E-05</b> falhas/10 <sup>6</sup> horas
10	<b>4,3396E-05</b> falhas/10 <sup>6</sup> horas
12	<b>4,52545E-05</b> falhas/10 <sup>6</sup> horas
15	<b>4,76377E-05</b> falhas/10 <sup>6</sup> horas

**Segundo Caso:** Ambiente A<sub>IC</sub>. **Condição C)** Tensão de 100 VDC

Environment Factor (π<sub>E</sub>) = 12

O valor da taxa básica de falhas e os valores dos demais fatores de correção para capacitores de tântalo sólidos no ambiente A<sub>IC</sub> não diferem da Condição C para ambiente S<sub>F</sub>, usá-los como referência.

Tabela B.30 - Taxas de falhas para Capacitor de Tântalo Sólido com 100 VDC para diferentes Capacitâncias, ambiente A<sub>IC</sub>, utilizando versão N2.

<b>Versão F – Capacitor Tântalo Sólido 100 VDC – Ambiente A<sub>IC</sub></b>	
<b>Capacitância (μF)</b>	<b>Taxa de Falhas – (λp)</b>
0,0056	<b>7,75413E-06</b> falhas/10 <sup>6</sup> horas
0,0082	<b>8,465E-06</b> falhas/10 <sup>6</sup> horas
0,012	<b>9,23978E-06</b> falhas/10 <sup>6</sup> horas
0,015	<b>9,72637E-06</b> falhas/10 <sup>6</sup> horas
0,022	<b>1,0622E-05</b> falhas/10 <sup>6</sup> horas
0,27	<b>1,89088E-05</b> falhas/10 <sup>6</sup> horas
0,39	<b>2,05776E-05</b> falhas/10 <sup>6</sup> horas
0,56	<b>2,23632E-05</b> falhas/10 <sup>6</sup> horas
1	<b>2,55535E-05</b> falhas/10 <sup>6</sup> horas
1,2	<b>2,66478E-05</b> falhas/10 <sup>6</sup> horas
1,5	<b>2,80512E-05</b> falhas/10 <sup>6</sup> horas
2,2	<b>3,06342E-05</b> falhas/10 <sup>6</sup> horas
3,3	<b>3,36285E-05</b> falhas/10 <sup>6</sup> horas
4,7	<b>3,64781E-05</b> falhas/10 <sup>6</sup> horas
6,8	<b>3,97125E-05</b> falhas/10 <sup>6</sup> horas

**Terceiro Caso:** Ambiente G<sub>F</sub>. **Condição A)** Tensão de 50 VDC

Environment Factor (π<sub>E</sub>) = 10

O valor da taxa básica de falhas e os valores dos demais fatores de correção para capacitores de tântalo sólidos no ambiente G<sub>F</sub> não diferem da Condição A para ambiente S<sub>F</sub>, usá-lo como referência.

Tabela B.31 - Taxas de falhas para Capacitor de Tântalo Sólido com 50 VDC para diferentes Capacitâncias, ambiente  $G_F$ , utilizando versão F.

<b>Versão F – Capacitor Tântalo Sólido 50 VDC – Ambiente <math>G_F</math></b>	
<b>Capacitância (<math>\mu F</math>)</b>	<b>Taxa de Falhas – (<math>\lambda_p</math>)</b>
0,01	<b>7,38361E-06</b> falhas/ $10^6$ horas
0,022	<b>8,85168E-06</b> falhas/ $10^6$ horas
0,068	<b>1,14748E-05</b> falhas/ $10^6$ horas
0,15	<b>1,37648E-05</b> falhas/ $10^6$ horas
0,22	<b>1,50323E-05</b> falhas/ $10^6$ horas
0,68	<b>1,9487E-05</b> falhas/ $10^6$ horas
1	<b>2,12946E-05</b> falhas/ $10^6$ horas
1,5	<b>2,3376E-05</b> falhas/ $10^6$ horas
1,8	<b>2,43771E-05</b> falhas/ $10^6$ horas
2,7	<b>2,67598E-05</b> falhas/ $10^6$ horas
3,9	<b>2,91215E-05</b> falhas/ $10^6$ horas
4,7	<b>3,03984E-05</b> falhas/ $10^6$ horas
6,8	<b>3,30937E-05</b> falhas/ $10^6$ horas
8,2	<b>3,45498E-05</b> falhas/ $10^6$ horas
10	<b>3,61633E-05</b> falhas/ $10^6$ horas

**Terceiro Caso:** Ambiente  $G_F$ . **Condição B)** Tensão de 75 VDC

Environment Factor ( $\pi_E$ ) = 10

O valor da taxa básica de falhas e os valores dos demais fatores de correção para capacitores de tântalo sólidos no ambiente  $G_F$  não diferem da Condição B para ambiente  $S_F$ , usá-lo como referência.

Tabela B.32 - Taxas de falhas para Capacitor de Tântalo Sólido com 75 VDC para diferentes Capacitâncias, ambiente  $G_F$ , utilizando versão N2.

<b>Versão F – Capacitor Tântalo Sólido 75 VDC – Ambiente <math>G_F</math></b>	
<b>Capacitância (<math>\mu F</math>)</b>	<b>Taxa de Falhas – (<math>\lambda_p</math>)</b>
0,1	<b>1,25392E-05</b> falhas/ $10^6$ horas
0,15	<b>1,37648E-05</b> falhas/ $10^6$ horas
0,22	<b>1,50323E-05</b> falhas/ $10^6$ horas
0,33	<b>1,65016E-05</b> falhas/ $10^6$ horas
0,47	<b>1,78999E-05</b> falhas/ $10^6$ horas
0,56	<b>1,8636E-05</b> falhas/ $10^6$ horas
1	<b>2,12946E-05</b> falhas/ $10^6$ horas
1,5	<b>2,3376E-05</b> falhas/ $10^6$ horas
2,2	<b>2,55285E-05</b> falhas/ $10^6$ horas
3,3	<b>2,80238E-05</b> falhas/ $10^6$ horas
4,7	<b>3,03984E-05</b> falhas/ $10^6$ horas
6,8	<b>3,30937E-05</b> falhas/ $10^6$ horas
10	<b>3,61633E-05</b> falhas/ $10^6$ horas
12	<b>3,77121E-05</b> falhas/ $10^6$ horas
15	<b>3,96981E-05</b> falhas/ $10^6$ horas

**Terceiro Caso:** Ambiente  $G_F$ . **Condição C)** Tensão de 100 VDC

Environment Factor ( $\pi_E$ ) = 10

O valor da taxa básica de falhas e os valores dos demais fatores de correção para capacitores de tântalo sólidos no ambiente  $G_F$  não diferem da Condição C para ambiente  $S_F$ , usá-lo como referência.

Tabela B.33 - Taxas de falhas para Capacitor de Tântalo Sólido com 100 VDC para diferentes Capacitâncias, ambiente G<sub>F</sub>, utilizando versão N2.

<b>Versão F – Capacitor Tântalo Sólido 100 VDC – Ambiente G<sub>F</sub></b>	
<b>Capacitância (μF)</b>	<b>Taxa de Falhas – (λp)</b>
0,0056	<b>6,46178E-06</b> falhas/10 <sup>6</sup> horas
0,0082	<b>7,05417E-06</b> falhas/10 <sup>6</sup> horas
0,012	<b>7,69982E-06</b> falhas/10 <sup>6</sup> horas
0,015	<b>8,10531E-06</b> falhas/10 <sup>6</sup> horas
0,022	<b>8,85168E-06</b> falhas/10 <sup>6</sup> horas
0,27	<b>1,57573E-05</b> falhas/10 <sup>6</sup> horas
0,39	<b>1,7148E-05</b> falhas/10 <sup>6</sup> horas
0,56	<b>1,8636E-05</b> falhas/10 <sup>6</sup> horas
1	<b>2,12946E-05</b> falhas/10 <sup>6</sup> horas
1,2	<b>2,22065E-05</b> falhas/10 <sup>6</sup> horas
1,5	<b>2,3376E-05</b> falhas/10 <sup>6</sup> horas
2,2	<b>2,55285E-05</b> falhas/10 <sup>6</sup> horas
3,3	<b>2,80238E-05</b> falhas/10 <sup>6</sup> horas
4,7	<b>3,03984E-05</b> falhas/10 <sup>6</sup> horas
6,8	<b>3,30937E-05</b> falhas/10 <sup>6</sup> horas

**Quarto Caso:** Ambiente C<sub>L</sub>. **Condição A)** Tensão de 50 VDC

Environment Factor (π<sub>E</sub>) = 570

O valor da taxa básica de falhas e os valores dos demais fatores de correção para capacitores de tântalo sólidos no ambiente C<sub>L</sub> não diferem da Condição A para ambiente S<sub>F</sub>, usá-lo como referência.

Tabela B.34 - Taxas de falhas para Capacitor de Tântalo Sólido com 50 VDC para diferentes Capacitâncias, ambiente C<sub>L</sub>, utilizando versão F.

<b>Versão F – Capacitor Tântalo Sólido 50 VDC – Ambiente C<sub>L</sub></b>	
<b>Capacitância (μF)</b>	<b>Taxa de Falhas – (λp)</b>
0,01	<b>0,000420866</b> falhas/10 <sup>6</sup> horas
0,022	<b>0,000504546</b> falhas/10 <sup>6</sup> horas
0,068	<b>0,000654064</b> falhas/10 <sup>6</sup> horas
0,15	<b>0,000784593</b> falhas/10 <sup>6</sup> horas
0,22	<b>0,000856842</b> falhas/10 <sup>6</sup> horas
0,68	<b>0,001110761</b> falhas/10 <sup>6</sup> horas
1	<b>0,00121379</b> falhas/10 <sup>6</sup> horas
1,5	<b>0,00133243</b> falhas/10 <sup>6</sup> horas
1,8	<b>0,001389492</b> falhas/10 <sup>6</sup> horas
2,7	<b>0,001525307</b> falhas/10 <sup>6</sup> horas
3,9	<b>0,001659925</b> falhas/10 <sup>6</sup> horas
4,7	<b>0,00173271</b> falhas/10 <sup>6</sup> horas
6,8	<b>0,001886342</b> falhas/10 <sup>6</sup> horas
8,2	<b>0,00196934</b> falhas/10 <sup>6</sup> horas
10	<b>0,002061311</b> falhas/10 <sup>6</sup> horas

**Quarto Caso:** Ambiente C<sub>L</sub>. **Condição B)** Tensão de 75 VDC

Environment Factor (π<sub>E</sub>) = 570

O valor da taxa básica de falhas e os valores dos demais fatores de correção para capacitores de tântalo sólidos no ambiente C<sub>L</sub> não diferem da Condição B para ambiente S<sub>F</sub>, usá-lo como referência.

Tabela B.35 - Taxas de falhas para Capacitor de Tântalo Sólido com 75 VDC para diferentes Capacitâncias, ambiente C<sub>L</sub>, utilizando versão N2.

<b>Versão F – Capacitor Tântalo Sólido 75 VDC – Ambiente C<sub>L</sub></b>	
<b>Capacitância (μF)</b>	<b>Taxa de Falhas – (λp)</b>
0,1	<b>0,000714732</b> falhas/10 <sup>6</sup> horas
0,15	<b>0,000784593</b> falhas/10 <sup>6</sup> horas
0,22	<b>0,000856842</b> falhas/10 <sup>6</sup> horas
0,33	<b>0,000940593</b> falhas/10 <sup>6</sup> horas
0,47	<b>0,001020296</b> falhas/10 <sup>6</sup> horas
0,56	<b>0,00106225</b> falhas/10 <sup>6</sup> horas
1	<b>0,00121379</b> falhas/10 <sup>6</sup> horas
1,5	<b>0,00133243</b> falhas/10 <sup>6</sup> horas
2,2	<b>0,001455126</b> falhas/10 <sup>6</sup> horas
3,3	<b>0,001597356</b> falhas/10 <sup>6</sup> horas
4,7	<b>0,00173271</b> falhas/10 <sup>6</sup> horas
6,8	<b>0,001886342</b> falhas/10 <sup>6</sup> horas
10	<b>0,002061311</b> falhas/10 <sup>6</sup> horas
12	<b>0,002149588</b> falhas/10 <sup>6</sup> horas
15	<b>0,002262791</b> falhas/10 <sup>6</sup> horas

**Quarto Caso:** Ambiente C<sub>L</sub>. **Condição C)** Tensão de 100 VDC

Environment Factor (π<sub>E</sub>) = 570

O valor da taxa básica de falhas e os valores dos demais fatores de correção para capacitores de tântalo sólidos no ambiente C<sub>L</sub> não diferem da Condição C para ambiente S<sub>F</sub>, usá-lo como referência.

Tabela B.36 - Taxas de falhas para Capacitor de Tântalo Sólido com 100 VDC para diferentes Capacitâncias, ambiente C<sub>L</sub>, utilizando versão N2.

<b>Versão F – Capacitor Tântalo Sólido 100 VDC – Ambiente C<sub>L</sub></b>	
<b>Capacitância (μF)</b>	<b>Taxa de Falhas – (λ<sub>p</sub>)</b>
0,0056	<b>0,000368321</b> falhas/10 <sup>6</sup> horas
0,0082	<b>0,000402088</b> falhas/10 <sup>6</sup> horas
0,012	<b>0,000438889</b> falhas/10 <sup>6</sup> horas
0,015	<b>0,000462003</b> falhas/10 <sup>6</sup> horas
0,022	<b>0,000504546</b> falhas/10 <sup>6</sup> horas
0,27	<b>0,000898167</b> falhas/10 <sup>6</sup> horas
0,39	<b>0,000977436</b> falhas/10 <sup>6</sup> horas
0,56	<b>0,00106225</b> falhas/10 <sup>6</sup> horas
1	<b>0,00121379</b> falhas/10 <sup>6</sup> horas
1,2	<b>0,001265771</b> falhas/10 <sup>6</sup> horas
1,5	<b>0,00133243</b> falhas/10 <sup>6</sup> horas
2,2	<b>0,001455126</b> falhas/10 <sup>6</sup> horas
3,3	<b>0,001597356</b> falhas/10 <sup>6</sup> horas
4,7	<b>0,00173271</b> falhas/10 <sup>6</sup> horas
6,8	<b>0,001886342</b> falhas/10 <sup>6</sup> horas

#### B.4 – Capacitor Fixo de Vidro (MIL HDBK 217 F N2– seção 10.1)

$$\lambda_p = \lambda_b \cdot \pi_T \cdot \pi_C \cdot \pi_{SR} \cdot \pi_Q \cdot \pi_E \text{ Failures}/10^6 \text{ hours} \quad (\text{B.4})$$

**Primeiro Caso:** Ambiente S<sub>F</sub>.

Base Failure Rate (λ<sub>b</sub>) = 0.00076

Quality Factor (π<sub>Q</sub>) = 0.03

Environment Factor (π<sub>E</sub>) = 0.5

Voltage Stress Factor (π<sub>V</sub>) = 2

Temperature Factor ( $\pi_T$ ) = 9.819367

Capacitance Factor 3 pF ( $\pi_C$ ) = 0.318376433

Capacitance Factor 10 pF ( $\pi_C$ ) = 0.354813389

Capacitance Factor 20 pF ( $\pi_C$ ) = 0.377652792

Capacitance Factor 30 pF ( $\pi_C$ ) = 0.391688583

Capacitance Factor 43 pF ( $\pi_C$ ) = 0.404587221

Capacitance Factor 51 pF ( $\pi_C$ ) = 0.410848131

Capacitance Factor 62 pF ( $\pi_C$ ) = 0.418133778

Capacitance Factor 82 pF ( $\pi_C$ ) = 0.428788616

Capacitance Factor 91 pF ( $\pi_C$ ) = 0.432826383

Capacitance Factor 100 pF ( $\pi_C$ ) = 0.436515832

Capacitance Factor 150 pF ( $\pi_C$ ) = 0.452739319

Capacitance Factor 200 pF ( $\pi_C$ ) = 0.464614436

Capacitance Factor 240 pF ( $\pi_C$ ) = 0.472301159

Capacitance Factor 300 pF ( $\pi_C$ ) = 0.481882232

Capacitance Factor 360 pF ( $\pi_C$ ) = 0.489854639

Capacitance Factor 470 pF ( $\pi_C$ ) = 0.501751648

Capacitance Factor 560 pF ( $\pi_C$ ) = 0.509726159

Capacitance Factor 620 pF ( $\pi_C$ ) = 0.514416929

Capacitance Factor 820 pF ( $\pi_C$ ) = 0.527525244

Capacitance Factor 1000 pF ( $\pi_C$ ) = 0.537031796

Capacitance Factor 1200 pF ( $\pi_C$ ) = 0.545916615

Capacitance Factor 1300 pF ( $\pi_C$ ) = 0.549863512

Capacitance Factor 1600 pF ( $\pi_C$ ) = 0.560235724

Capacitance Factor 2000 pF ( $\pi_C$ ) = 0.571600631

Tabela B.37 - Taxas de falhas para Capacitor de vidro com 300 VDC para diferentes Capacitâncias, ambiente S<sub>F</sub>, utilizando versão N2.

<b>Versão N2 – Capacitor Vidro 300 VDC – Ambiente S<sub>F</sub></b>	
<b>Capacitância (pF)</b>	<b>Taxa de Falhas – (<math>\lambda_p</math>)</b>
3	<b>7,12786E-05</b> falhas/10 <sup>6</sup> horas
10	<b>7,94362E-05</b> falhas/10 <sup>6</sup> horas
20	<b>8,45495E-05</b> falhas/10 <sup>6</sup> horas
30	<b>8,76919E-05</b> falhas/10 <sup>6</sup> horas
43	<b>9,05796E-05</b> falhas/10 <sup>6</sup> horas
51	<b>9,19813E-05</b> falhas/10 <sup>6</sup> horas
62	<b>9,36124E-05</b> falhas/10 <sup>6</sup> horas
82	<b>9,59979E-05</b> falhas/10 <sup>6</sup> horas
91	<b>9,69018E-05</b> falhas/10 <sup>6</sup> horas
100	<b>9,77278E-05</b> falhas/10 <sup>6</sup> horas
150	<b>0,00010136</b> falhas/10 <sup>6</sup> horas
200	<b>0,000104019</b> falhas/10 <sup>6</sup> horas
240	<b>0,00010574</b> falhas/10 <sup>6</sup> horas
300	<b>0,000107885</b> falhas/10 <sup>6</sup> horas
360	<b>0,000109669</b> falhas/10 <sup>6</sup> horas
470	<b>0,000112333</b> falhas/10 <sup>6</sup> horas
560	<b>0,000114118</b> falhas/10 <sup>6</sup> horas
620	<b>0,000115168</b> falhas/10 <sup>6</sup> horas
820	<b>0,000118103</b> falhas/10 <sup>6</sup> horas
1000	<b>0,000120232</b> falhas/10 <sup>6</sup> horas
1200	<b>0,000122221</b> falhas/10 <sup>6</sup> horas
1300	<b>0,000123104</b> falhas/10 <sup>6</sup> horas
1600	<b>0,000125426</b> falhas/10 <sup>6</sup> horas
2000	<b>0,000127971</b> falhas/10 <sup>6</sup> horas

**Segundo Caso:** Ambiente A<sub>IC</sub>.

Environment Factor ( $\pi E$ ) = 12

O valor da taxa básica de falhas e os valores dos demais fatores de correção para capacitores de vidro no ambiente A<sub>IC</sub> não diferem dos valores do Primeiro Caso.

Tabela B.38 - Taxas de falhas para Capacitor de vidro com 300 VDC para diferentes Capacitâncias, ambiente A<sub>IC</sub>, utilizando versão N2.

<b>Versão N2 – Capacitor Vidro 300 VDC – Ambiente A<sub>IC</sub></b>	
<b>Capacitância (pF)</b>	<b>Taxa de Falhas – (<math>\lambda_p</math>)</b>
3	<b>0,001710687</b> falhas/10 <sup>6</sup> horas
10	<b>0,001906468</b> falhas/10 <sup>6</sup> horas
20	<b>0,002029188</b> falhas/10 <sup>6</sup> horas
30	<b>0,002104604</b> falhas/10 <sup>6</sup> horas
43	<b>0,002173911</b> falhas/10 <sup>6</sup> horas
51	<b>0,002207552</b> falhas/10 <sup>6</sup> horas
62	<b>0,002246699</b> falhas/10 <sup>6</sup> horas
82	<b>0,002303949</b> falhas/10 <sup>6</sup> horas
91	<b>0,002325644</b> falhas/10 <sup>6</sup> horas
100	<b>0,002345468</b> falhas/10 <sup>6</sup> horas
150	<b>0,00243264</b> falhas/10 <sup>6</sup> horas
200	<b>0,002496447</b> falhas/10 <sup>6</sup> horas
240	<b>0,002537749</b> falhas/10 <sup>6</sup> horas
300	<b>0,002589229</b> falhas/10 <sup>6</sup> horas
360	<b>0,002632066</b> falhas/10 <sup>6</sup> horas
470	<b>0,002695991</b> falhas/10 <sup>6</sup> horas
560	<b>0,002738839</b> falhas/10 <sup>6</sup> horas
620	<b>0,002764043</b> falhas/10 <sup>6</sup> horas
820	<b>0,002834476</b> falhas/10 <sup>6</sup> horas
1000	<b>0,002885556</b> falhas/10 <sup>6</sup> horas
1200	<b>0,002933296</b> falhas/10 <sup>6</sup> horas
1300	<b>0,002954503</b> falhas/10 <sup>6</sup> horas
1600	<b>0,003010235</b> falhas/10 <sup>6</sup> horas
2000	<b>0,0030713</b> falhas/10 <sup>6</sup> horas

**Terceiro Caso:** Ambiente G<sub>F</sub>.

Environment Factor ( $\pi_E$ ) = 10

O valor da taxa básica de falhas e os valores dos demais fatores de correção para capacitores de vidro no ambiente G<sub>F</sub> não diferem dos valores do Primeiro Caso.

Tabela B.39 -Taxas de falhas para Capacitor de vidro com 300 VDC para diferentes Capacitâncias, ambiente G<sub>F</sub>, utilizando versão N2.

<b>Versão N2 – Capacitor Vidro 300 VDC – Ambiente G<sub>F</sub></b>	
<b>Capacitância (pF)</b>	<b>Taxa de Falhas – (<math>\lambda_p</math>)</b>
3	<b>0,001425572</b> falhas/10 <sup>6</sup> horas
10	<b>0,001588724</b> falhas/10 <sup>6</sup> horas
20	<b>0,00169099</b> falhas/10 <sup>6</sup> horas
30	<b>0,001753837</b> falhas/10 <sup>6</sup> horas
43	<b>0,001811592</b> falhas/10 <sup>6</sup> horas
51	<b>0,001839626</b> falhas/10 <sup>6</sup> horas
62	<b>0,001872249</b> falhas/10 <sup>6</sup> horas
82	<b>0,001919957</b> falhas/10 <sup>6</sup> horas
91	<b>0,001938037</b> falhas/10 <sup>6</sup> horas
100	<b>0,001954557</b> falhas/10 <sup>6</sup> horas
150	<b>0,0020272</b> falhas/10 <sup>6</sup> horas
200	<b>0,002080372</b> falhas/10 <sup>6</sup> horas
240	<b>0,00211479</b> falhas/10 <sup>6</sup> horas
300	<b>0,002157691</b> falhas/10 <sup>6</sup> horas
360	<b>0,002193388</b> falhas/10 <sup>6</sup> horas
470	<b>0,002246659</b> falhas/10 <sup>6</sup> horas
560	<b>0,002282366</b> falhas/10 <sup>6</sup> horas
620	<b>0,002303369</b> falhas/10 <sup>6</sup> horas
820	<b>0,002362064</b> falhas/10 <sup>6</sup> horas
1000	<b>0,00240463</b> falhas/10 <sup>6</sup> horas
1200	<b>0,002444413</b> falhas/10 <sup>6</sup> horas
1300	<b>0,002462086</b> falhas/10 <sup>6</sup> horas
1600	<b>0,002508529</b> falhas/10 <sup>6</sup> horas
2000	<b>0,002559417</b> falhas/10 <sup>6</sup> horas

**Quarto Caso:** Ambiente C<sub>L</sub>.

Environment Factor ( $\pi_E$ ) = 570

O valor da taxa básica de falhas e os valores dos demais fatores de correção para capacitores de vidro no ambiente C<sub>L</sub> não diferem dos valores do Primeiro Caso.

Tabela B.40 - Taxas de falhas para Capacitor de vidro com 300 VDC para diferentes Capacitâncias, ambiente C<sub>L</sub>, utilizando versão N2.

<b>Versão N2 – Capacitor Vidro 300 VDC – Ambiente C<sub>L</sub></b>	
<b>Capacitância (pF)</b>	<b>Taxa de Falhas – (<math>\lambda_p</math>)</b>
3	<b>0,081257621</b> falhas/10 <sup>6</sup> horas
10	<b>0,090557242</b> falhas/10 <sup>6</sup> horas
20	<b>0,096386428</b> falhas/10 <sup>6</sup> horas
30	<b>0,099968713</b> falhas/10 <sup>6</sup> horas
43	<b>0,103260768</b> falhas/10 <sup>6</sup> horas
51	<b>0,104858709</b> falhas/10 <sup>6</sup> horas
62	<b>0,106718188</b> falhas/10 <sup>6</sup> horas
82	<b>0,109437568</b> falhas/10 <sup>6</sup> horas
91	<b>0,110468107</b> falhas/10 <sup>6</sup> horas
100	<b>0,111409747</b> falhas/10 <sup>6</sup> horas
150	<b>0,115550386</b> falhas/10 <sup>6</sup> horas
200	<b>0,118581213</b> falhas/10 <sup>6</sup> horas
240	<b>0,120543057</b> falhas/10 <sup>6</sup> horas
300	<b>0,122988386</b> falhas/10 <sup>6</sup> horas
360	<b>0,125023143</b> falhas/10 <sup>6</sup> horas
470	<b>0,128059557</b> falhas/10 <sup>6</sup> horas
560	<b>0,130094852</b> falhas/10 <sup>6</sup> horas
620	<b>0,131292053</b> falhas/10 <sup>6</sup> horas
820	<b>0,134637623</b> falhas/10 <sup>6</sup> horas
1000	<b>0,137063933</b> falhas/10 <sup>6</sup> horas
1200	<b>0,13933156</b> falhas/10 <sup>6</sup> horas
1300	<b>0,140338907</b> falhas/10 <sup>6</sup> horas
1600	<b>0,142986155</b> falhas/10 <sup>6</sup> horas
2000	<b>0,145886763</b> falhas/10 <sup>6</sup> horas

## B 5 – Resistor Fixo de Filme (MIL HDBK 217 F N2 – section 9.1)

$$\lambda_p = \lambda_b \cdot \pi_T \cdot \pi_P \cdot \pi_S \cdot \pi_Q \cdot \pi_E \text{ Failures}/10^6 \text{ hours} \quad (\text{B.5})$$

**Primeiro Caso:** Ambiente Sf.

### **Resistor RN50 (C)**

Base Failure Rate ( $\lambda_b$ ) = 0.0037

Temperature Factor ( $\pi_T$ ) = 2.187524839

Power Factor ( $\pi_P$ ) = 0.237244746

Power Stress Factor ( $\pi_S$ ) = 1.230609643

Quality Factor ( $\pi_Q$ ) = 0.03

Environment Factor ( $\pi_E$ ) = 0.5

### **Resistor RN65 (C)**

Base Failure Rate ( $\lambda_b$ ) = 0.0037

Temperature Factor ( $\pi_T$ ) = 2.187524839

Power Factor ( $\pi_P$ ) = 0.444421341

Power Stress Factor ( $\pi_S$ ) = 1.230609643

Quality Factor ( $\pi_Q$ ) = 0.03

Environment Factor ( $\pi_E$ ) = 0.5

### Resistor RN70 (D)

Base Failure Rate ( $\lambda_b$ ) = 0.0037

Temperature Factor ( $\pi_T$ ) = 2.187524839

Power Factor ( $\pi_P$ ) = 0.582366793

Power Stress Factor ( $\pi_S$ ) = 1.230609643

Quality Factor ( $\pi_Q$ ) = 0.03

Environment Factor ( $\pi_E$ ) = 0.5

Tabela B.41 - Taxas de falhas para resistores de filme, fixo, ambiente  $S_F$ , utilizando versão N2.

<b>Versão N2 – Resistor, fixo, metal, filme– Ambiente <math>S_F</math></b>	
<b>Estilo</b>	<b>Taxa de Falhas – (<math>\lambda_p</math>)</b>
RN50 (C)	<b>3,54456E-05</b> falhas/10 <sup>6</sup> horas
RN65 (D)	<b>6,63989E-05</b> falhas/10 <sup>6</sup> horas
RN70 (C)	<b>8,70087E-05</b> falhas/10 <sup>6</sup> horas

**Segundo Caso:** Ambiente  $A_{IC}$ .

### Resistor RN50 (C)

Base Failure Rate ( $\lambda_b$ ) = 0.0037

Temperature Factor ( $\pi_T$ ) = 2.187524839

Power Factor ( $\pi_P$ ) = 0.237244746

Power Stress Factor ( $\pi_S$ ) = 1.230609643

Quality Factor ( $\pi_Q$ ) = 0.03

Environment Factor ( $\pi_E$ ) = 18

### **Resistor RN65 (C)**

Base Failure Rate ( $\lambda_b$ ) = 0.0037

Temperature Factor ( $\pi_T$ ) = 2.187524839

Power Factor ( $\pi_P$ ) = 0.444421341

Power Stress Factor ( $\pi_S$ ) = 1.230609643

Quality Factor ( $\pi_Q$ ) = 0.03

Environment Factor ( $\pi_E$ ) = 18

### **Resistor RN70 (D)**

Base Failure Rate ( $\lambda_b$ ) = 0.0037

Temperature Factor ( $\pi_T$ ) = 2.187524839

Power Factor ( $\pi_P$ ) = 0.582366793

Power Stress Factor ( $\pi_S$ ) = 1.230609643

Quality Factor ( $\pi_Q$ ) = 0.03

Environment Factor ( $\pi_E$ ) = 18

Tabela B.42 - Taxas de falhas para resistores de filme, fixo, ambiente A<sub>IC</sub>, utilizando versão N2.

<b>Versão N2 – Resistor, fixo, metal, filme– Ambiente A<sub>IC</sub></b>	
<b>Estilo</b>	<b>Taxa de Falhas – (λ<sub>p</sub>)</b>
RN50 (C)	<b>0,001276043</b> falhas/10 <sup>6</sup> horas
RN65 (D)	<b>0,002390362</b> falhas/10 <sup>6</sup> horas
RN70 (C)	<b>0,003132315</b> falhas/10 <sup>6</sup> horas

**Teceiro Caso:** Ambiente G<sub>F</sub>.

### **Resistor RN50 (C)**

Base Failure Rate (λ<sub>b</sub>) = 0.0037

Temperature Factor (π<sub>T</sub>) = 2.187524839

Power Factor (π<sub>P</sub>) = 0.237244746

Power Stress Factor (π<sub>S</sub>) = 1.230609643

Quality Factor (π<sub>Q</sub>) = 0.03

Environment Factor (π<sub>E</sub>) = 4

### **Resistor RN65 (C)**

Base Failure Rate (λ<sub>b</sub>) = 0.0037

Temperature Factor (π<sub>T</sub>) = 2.187524839

Power Factor (π<sub>P</sub>) = 0.444421341

Power Stress Factor (π<sub>S</sub>) = 1.230609643

Quality Factor ( $\pi_Q$ ) = 0.03

Environment Factor ( $\pi_E$ ) = 4

### **Resistor RN70 (D)**

Base Failure Rate ( $\lambda_b$ ) = 0.0037

Temperature Factor ( $\pi_T$ ) = 2.187524839

Power Factor ( $\pi_P$ ) = 0.582366793

Power Stress Factor ( $\pi_S$ ) = 1.230609643

Quality Factor ( $\pi_Q$ ) = 0.03

Environment Factor ( $\pi_E$ ) = 4

Tabela B.43 - Taxas de falhas para resistores de filme, fixo, ambiente  $G_F$ , utilizando versão N2.

<b>Versão N2 – Resistor, fixo, metal, filme– Ambiente <math>G_F</math></b>	
<b>Estilo</b>	<b>Taxa de Falhas – (<math>\lambda_p</math>)</b>
RN50 (C)	<b>0,000283565</b> falhas/ $10^6$ horas
RN65 (D)	<b>0,000531192</b> falhas/ $10^6$ horas
RN70 (C)	<b>0,00069607</b> falhas/ $10^6$ horas

### **Quarto Caso:** Ambiente $C_L$ .

#### **Resistor RN50 (C)**

Base Failure Rate ( $\lambda_b$ ) = 0.0037

Temperature Factor ( $\pi_T$ ) = 2.187524839

Power Factor ( $\pi_P$ ) = 0.237244746

Power Stress Factor ( $\pi_S$ ) = 1.230609643

Quality Factor ( $\pi_Q$ ) = 0.03

Environment Factor ( $\pi_E$ ) = 1728

### **Resistor RN65 (C)**

Base Failure Rate ( $\lambda_b$ ) = 0.0037

Temperature Factor ( $\pi_T$ ) = 2.187524839

Power Factor ( $\pi_P$ ) = 0.444421341

Power Stress Factor ( $\pi_S$ ) = 1.230609643

Quality Factor ( $\pi_Q$ ) = 0.03

Environment Factor ( $\pi_E$ ) = 1728

### **Resistor RN70 (D)**

Base Failure Rate ( $\lambda_b$ ) = 0.0037

Temperature Factor ( $\pi_T$ ) = 2.187524839

Power Factor ( $\pi_P$ ) = 0.582366793

Power Stress Factor ( $\pi_S$ ) = 1.230609643

Quality Factor ( $\pi_Q$ ) = 0.03

Environment Factor ( $\pi_E$ ) = 1728

Tabela B.44 - Taxas de falhas para resistores de filme, fixo, ambiente C<sub>L</sub>, utilizando versão N2.

<b>Versão N2 – Resistor, fixo, metal, filme– Ambiente C<sub>L</sub></b>	
<b>Estilo</b>	<b>Taxa de Falhas – (<math>\lambda_p</math>)</b>
RN50 (C)	<b>0,122500152</b> falhas/10 <sup>6</sup> horas
RN65 (D)	<b>0,229474762</b> falhas/10 <sup>6</sup> horas
RN70 (C)	<b>0,300702215</b> falhas/10 <sup>6</sup> horas

### **B 6 - Rede de Resistores Tipo Filme Fixo (MIL HDBK 217 F – seção 9.1)**

$$\lambda_p = \lambda_b \cdot \pi_T \cdot \pi_P \cdot \pi_S \cdot \pi_Q \cdot \pi_E \text{ Failures}/10^6 \text{ hours} \quad (\text{B.6})$$

**Primeiro Caso:** Ambiente S<sub>F</sub>.

#### **PERFIL A**

Base Failure Rate ( $\lambda_b$ ) = 0.0019

Temperature Factor ( $\pi_T$ ) = 0.359937871

Power Stress Factor ( $\pi_S$ ) = 1

Quality Factor ( $\pi_Q$ ) = 0.03

Environment Factor ( $\pi_E$ ) = 0.5

Power Factor ( $\pi_P$ ) = 0.512337656 (3 RESISTORS)

Power Factor ( $\pi_P$ ) = 0.573168592 (4 RESISTORS)

Power Factor ( $\pi_P$ ) = 0.625283962 (5 RESISTORS)

### PERFIL C

Base Failure Rate ( $\lambda_b$ ) = 0.0019

Temperature Factor ( $\pi_T$ ) = 0.359937871

Power Stress Factor ( $\pi_S$ ) = 1

Quality Factor ( $\pi_Q$ ) = 0.03

Environment Factor ( $\pi_E$ ) = 0.5

Power Factor ( $\pi_P$ ) = 0.625283962 (3 RESISTORS)

Power Factor ( $\pi_P$ ) = 0.699525252 (4 RESISTORS)

Power Factor ( $\pi_P$ ) = 0.763129604 (5 RESISTORS)

Tabela B.45 - Taxas de falhas para Resistor Network de Filme para dois perfis em ambiente  $S_F$ , utilizando versão N2.

<b>Versão N2 – Resistor, Network, fixo, metal, filme– Ambiente <math>S_F</math></b>		
<b>Número de resistores de filme em uso</b>	<b>Perfil A Taxa de Falhas – (<math>\lambda_p</math>)</b>	<b>Perfil C Taxa de Falhas – (<math>\lambda_p</math>)</b>
3	<b>5,25568E-06</b> falhas/ $10^6$ horas	<b>6,41431E-06</b> falhas/ $10^6$ horas
4	<b>5,87969E-06</b> falhas/ $10^6$ horas	<b>7,17589E -06</b> falhas/ $10^6$ horas
5	<b>6,41431E-06</b> falhas/ $10^6$ horas	<b>7,82836E-06</b> falhas/ $10^6$ horas

**Segundo Caso:** Ambiente A<sub>IC</sub>.

Environment Factor ( $\pi_E$ ) =

Os valores dos demais fatores de correção para resistores network de filme em ambiente A<sub>IC</sub> não diferem dos valores declarados no Primeiro Caso para perfil A e C.

Tabela B.46 - Taxas de falhas para Resistor Network de Filme para dois perfis em ambiente A<sub>IC</sub>, utilizando versão N2.

<b>Versão N2 – Resistor, Network, fixo, metal, filme– Ambiente A<sub>IC</sub></b>		
<b>Número de resistores de filme em uso</b>	<b>Perfil A Taxa de Falhas – (<math>\lambda_p</math>)</b>	<b>Perfil C Taxa de Falhas – (<math>\lambda_p</math>)</b>
3	<b>0,000189204</b> falhas/10 <sup>6</sup> horas	<b>0,000230915</b> falhas/10 <sup>6</sup> horas
4	<b>0,000211669</b> falhas/10 <sup>6</sup> horas	<b>0,000258332</b> falhas/10 <sup>6</sup> horas
5	<b>0,000230915</b> falhas/10 <sup>6</sup> horas	<b>0,000281821</b> falhas/10 <sup>6</sup> horas

**Terceiro Caso:** Ambiente G<sub>F</sub>.

Environment Factor ( $\pi_E$ ) = 4

Os valores dos demais fatores de correção para resistores network de filme em ambiente G<sub>F</sub> não diferem dos valores declarados no Primeiro Caso para perfil A e C.

Tabela B.47 - Taxas de falhas para Resistor Network de Filme para dois perfis em ambiente  $G_F$ , utilizando versão N2.

<b>Versão N2 – Resistor, Network, fixo, metal, filme– Ambiente <math>G_F</math></b>		
<b>Número de resistores de filme em uso</b>	<b>Perfil A Taxa de Falhas – (<math>\lambda_p</math>)</b>	<b>Perfil C Taxa de Falhas – (<math>\lambda_p</math>)</b>
3	<b>4,20454E-05</b> falhas/ $10^6$ horas	<b>5,13145E-05</b> falhas/ $10^6$ horas
4	<b>4,70376E-05</b> falhas/ $10^6$ horas	<b>5,74071E-05</b> falhas/ $10^6$ horas
5	<b>5,13145E-05</b> falhas/ $10^6$ horas	<b>6,26269E-05</b> falhas/ $10^6$ horas

**Quarto Caso:** Ambiente  $C_L$ .

Environment Factor ( $\pi_E$ ) = 1728

Os valores dos demais fatores de correção para resistores network de filme em ambiente  $C_L$  não diferem dos valores declarados no Primeiro Caso para perfil A e C.

Tabela B.48 - Taxas de falhas para Resistor Network de Filme para dois perfis em ambiente  $C_L$ , utilizando versão N2.

<b>Versão N2 – Resistor, Network, fixo, metal, filme– Ambiente <math>C_L</math></b>		
<b>Número de resistores de filme em uso</b>	<b>Perfil A Taxa de Falhas – (<math>\lambda_p</math>)</b>	<b>Perfil C Taxa de Falhas – (<math>\lambda_p</math>)</b>
3	<b>0,01816362</b> falhas/ $10^6$ horas	<b>0,022167842</b> falhas/ $10^6$ horas
4	<b>0,020320225</b> falhas/ $10^6$ horas	<b>0,024799877</b> falhas/ $10^6$ horas
5	<b>0,022167842</b> falhas/ $10^6$ horas	<b>0,027054807</b> falhas/ $10^6$ horas

**B 7 – Conector do Tipo “*Rack and Panel*” (MIL HDBK 217 F (Notice 2) - seção 15.1)**

$$\lambda_p = \lambda_b \cdot \pi_T \cdot \pi_K \cdot \pi_Q \cdot \pi_E \text{ Failures}/10^6 \text{ hours} \quad (\text{B.7})$$

**Primeiro Caso:** em ambiente S<sub>F</sub>

Base Failure Rate ( $\lambda_b$ ) = 0.021

Mating/Unmating Cycles Factor ( $\pi_K$ ) = 1

Environment Factor ( $\pi_E$ ) = 0.5

Temperature Factor ( $\pi_T$ ) = 2.820925

Quality Factor ( $\pi_Q$ ) = 1

$$\lambda_p = \quad \mathbf{0.02962} \text{ falhas}/10^6 \text{ horas}$$

**Segundo Caso:** em ambiente A<sub>1C</sub>

Base Failure Rate ( $\lambda_b$ ) = 0.021

Mating/Unmating Cycles Factor ( $\pi_K$ ) = 1

Environment Factor ( $\pi_E$ ) = 3

Temperature Factor ( $\pi_T$ ) = 2.820925

Quality Factor ( $\pi_Q$ ) = 1

$$\lambda_p = 0.177718 \text{ falhas}/10^6 \text{ horas}$$

**Terceiro Caso:** em ambiente G<sub>F</sub>

Base Failure Rate ( $\lambda_b$ ) = 0.021

Mating/Unmating Cycles Factor ( $\pi_K$ ) = 1

Environment Factor ( $\pi_E$ ) = 1

Temperature Factor ( $\pi_T$ ) = 2.820925

Quality Factor ( $\pi_Q$ ) = 1

$$\lambda_p = 0.059239 \text{ falhas}/10^6 \text{ horas}$$

**Quarto Caso:** em ambiente C<sub>L</sub>

Base Failure Rate ( $\lambda_b$ ) = 0.021

Mating/Unmating Cycles Factor ( $\pi_K$ ) = 1

Environment Factor ( $\pi_E$ ) = 490

Temperature Factor ( $\pi_T$ ) = 2.820925

Quality Factor ( $\pi_Q$ ) = 1

$$\lambda_p = 29.02732 \text{ falhas}/10^6 \text{ horas}$$

A versão F Notice 2 não considera o número ativo de pinos, ou seja, a taxa de falhas para um conector nas condições analisadas com qualquer número de pinos ativos tem a taxa de falhas referida (conforme primeiro ao quarto caso).

**B 8 – Conector do Tipo “Circular/Cylindrical” (MIL HDBK 217 F (Notice 2) - section 15.1)**

$$\lambda_p = \lambda_b \cdot \pi_T \cdot \pi_K \cdot \pi_Q \cdot \pi_E \text{ Failures}/10^6 \text{ hours} \quad (\text{B.8})$$

**Primeiro Caso:** em ambiente S<sub>F</sub>

Base Failure Rate ( $\lambda_b$ ) = 0.0010

Mating/Unmating Cycles Factor ( $\pi_K$ ) = 1

Environment Factor ( $\pi_E$ ) = 0.5

Temperature Factor ( $\pi_T$ ) = 2.820925

Quality Factor ( $\pi_Q$ ) = 1

$$\lambda_p = \quad \quad \quad \mathbf{0.00141046} \text{ falhas}/10^6 \text{ horas}$$

**Segundo Caso:** em ambiente A<sub>IC</sub>

Base Failure Rate ( $\lambda_b$ ) = 0.021

Mating/Unmating Cycles Factor ( $\pi_k$ ) = 1

Environment Factor ( $\pi_E$ ) = 3

Temperature Factor ( $\pi_T$ ) = 2.820925

Quality Factor ( $\pi_Q$ ) = 1

$\lambda_p =$  **0.0084627** falhas/ $10^6$  horas

**Terceiro Caso:** em ambiente  $G_F$

Base Failure Rate ( $\lambda_b$ ) = 0.0010

Mating/Unmating Cycles Factor ( $\pi_k$ ) = 1

Environment Factor ( $\pi_E$ ) = 1

Temperature Factor ( $\pi_T$ ) = 2.820925

Quality Factor ( $\pi_Q$ ) = 1

$\lambda_p =$  **0.0028209** falhas/ $10^6$  horas

**Quarto Caso:** em ambiente  $C_L$

Base Failure Rate ( $\lambda_b$ ) = 0.0010

Mating/Unmating Cycles Factor ( $\pi_K$ ) = 1

Environment Factor ( $\pi_E$ ) = 490

Temperature Factor ( $\pi_T$ ) = 2.820925

Quality Factor ( $\pi_Q$ ) = 1

$$\lambda_p = 1.3822532 \text{ falhas}/10^6 \text{ horas}$$

### **B 9 – Conector do Tipo “Power” (MIL HDBK 217 F (Notice 2) - seção 15.1)**

$$\lambda_p = \lambda_b \cdot \pi_T \cdot \pi_K \cdot \pi_Q \cdot \pi_E \text{ Failures}/10^6 \text{ hours} \quad (\text{B.9})$$

#### ***Tipo B = Type D***

***Tipo B*** - Diallyl phthalate, melamine, fluorosilicone rubber, polysulfone, epoxy resin.

***Type D*** – Polyamide (Nylon), Polychloroprene (Neoprene), Polyethylene

**Primeiro Caso:** em ambiente S<sub>F</sub>

Base Failure Rate ( $\lambda_b$ ) = 0.070

Mating/Unmating Cycles Factor ( $\pi_K$ ) = 1

Environment Factor ( $\pi_E$ ) = 0.5

Temperature Factor ( $\pi_T$ ) = 2.820925

Quality Factor ( $\pi_Q$ ) = 1

$\lambda_p =$  **0.098732** falhas/ $10^6$  horas

**Segundo Caso:** em ambiente A<sub>IC</sub>

Base Failure Rate ( $\lambda_b$ ) = 0.070

Mating/Unmating Cycles Factor ( $\pi_K$ ) = 1

Environment Factor ( $\pi_E$ ) = 3

Temperature Factor ( $\pi_T$ ) = 2.820925

Quality Factor ( $\pi_Q$ ) = 1

$\lambda_p =$  **0.592394** falhas/ $10^6$  horas

**Terceiro Caso:** em ambiente G<sub>F</sub>

Base Failure Rate ( $\lambda_b$ ) = 0.070

Mating/Unmating Cycles Factor ( $\pi_K$ ) = 1

Environment Factor ( $\pi_E$ ) = 1

Temperature Factor ( $\pi_T$ ) = 2.820925

Quality Factor ( $\pi_Q$ ) = 1

$\lambda_p =$  **0.197465** falhas/ $10^6$  horas

**Quarto Caso:** em ambiente  $C_L$

Base Failure Rate ( $\lambda_b$ ) = 0.0010

Mating/Unmating Cycles Factor ( $\pi_K$ ) = 1

Environment Factor ( $\pi_E$ ) = 490

Temperature Factor ( $\pi_T$ ) = 2.820925

Quality Factor ( $\pi_Q$ ) = 1

$\lambda_p =$  **96.75772** falhas/ $10^6$  horas