



MINISTÉRIO DA CIÊNCIA E TECNOLOGIA  
INSTITUTO NACIONAL DE PESQUISAS ESPACIAIS

## **Modelagem e Simulação da Confiabilidade de Componentes e Sistemas Espaciais**

### **RELATÓRIO FINAL DE PROJETO DE INICIAÇÃO CIENTÍFICA (PIBIC/CNPq/INPE)**

Bolsista: Irailson Alves Martins (ETEP Faculdades, Bolsista CNPq/INPE)

E-mail: [irailsonalves@gmail.com](mailto:irailsonalves@gmail.com)

Orientador: Dr. Marcelo Lopes de Oliveira e Souza (DMC/ETE/INPE)

E-mail: [marcelo@dem.inpe.br](mailto:marcelo@dem.inpe.br)

Coorientadora: Eng. Ana Paula Sá Santos Rabello (SGP/ETE/INPE)

E-mail: [ana.paula@dss.inpe.br](mailto:ana.paula@dss.inpe.br)

São José dos Campos, São Paulo, Brasil

Julho de 2012

"Diante de Deus todos somos igualmente sábios e igualmente tolos."

Albert Einstein.

## **AGRADECIMENTOS**

Agradeço a Deus, e à minha família pelo total apoio para continuar na luta para me tornar um excelente profissional. Ao INPE e ao CNPQ, pela bolsa e pela oportunidade de desenvolver esse trabalho. Ao Prof. Marcelo Lopes de Oliveira e Souza pela amizade e orientação não só acadêmica, mas de vida. À Eng. Ana Paula de Sá Santos Rabello pela coorientação. Ao Eng. Wilson Yamaguti e ao Prof. David Santos por gentilmente terem cedido a placa do ITASAT.

## RESUMO

Este trabalho, iniciado em fevereiro de 2012, tem como objetivo a modelagem e simulação da confiabilidade de componentes e sistemas espaciais. Atualmente, as tecnologias vêm avançando rapidamente, desenvolvendo produtos cada vez mais sofisticados. Em alguns campos da engenharia, como nuclear, aeronáutica, espacial, a confiabilidade é de suma importância para o projeto e desenvolvimento de sistemas complexos ou altamente integrados e tolerantes a falhas. A confiabilidade pode ser compreendida como a probabilidade do bom funcionamento de um componente, equipamento, subsistema, sistema, durante um intervalo de tempo determinado, e em condições prescritas. O estudo da confiabilidade, basicamente pode ser abordado das seguintes formas: 1) de forma qualitativa, pelo estudo dos modos de falha, suas causas e efeitos para o sistema (FMEA); 2) de forma quantitativa, pela medição da frequência relativa (probabilidade) das falhas, os tempos de parada e os custos associados (severidade) das falhas (FMECA). A forma quantitativa é usualmente feita por uma abordagem estatística, na qual o sistema é modelado por uma distribuição de probabilidades de falhas. A confiabilidade de um sistema composto por um agrupamento de componentes dependerá: das confiabilidades individuais desses componentes, da forma como estão relacionados (montados), e das condições de operação. Assim, o cálculo da confiabilidade de sistemas segue as regras: do Cálculo de Probabilidades, da sua combinação lógica (Diagrama de Blocos de Confiabilidade – DBC), e da sua dependência com as condições de operação. Este trabalho objetiva estudar a modelagem e simulação da confiabilidade de componentes e sistemas espaciais. Em particular, apresenta parte do cálculo da confiabilidade da placa eletrônica “Signal Sensor Conditioning and Acquisition Module (SSCAM)” desenvolvido para o projeto ITASAT. Este subsistema inclui as eletrônicas dos Conversores DC/DC, Reguladores Lineares, Etapas de Amplificação e Conversão de Sinais de Sensores (Nominal), Referências de Tensão, Barramento de Pinos para Placa Redundante, Habilitação dos Conversores DC-DC, Aterramento, e Conectores. O trabalho utiliza a abordagem quantitativa através da metodologia “*Parts Stress Analysis*” (Análise de Esforços sobre os Componentes). Esta metodologia tem como princípio: o cálculo individual da confiabilidade de cada componente do sistema, a combinação lógica destas, e a sua dependência com as condições de operação. Este projeto está em andamento. Assim, a placa eletrônica e parte do cálculo da confiabilidade dela feita até então serão apresentadas.

## ABSTRACT

This work, initiated in February 2012, aims at modeling and simulation of the reliability of components and systems. Currently, technologies are advancing rapidly, developing increasingly sophisticated products. In some fields of engineering, such as nuclear, aeronautics, space, reliability is of paramount importance for the design and development of complex or highly integrated and fault tolerant systems. Reliability can be understood as the probability of proper operation of a component, equipment, subsystem, system, during a specified time, and under prescribed conditions. The reliability studies can basically be approached in the following ways: 1) qualitatively, studying the failure modes, causes and effects for the system (FMEA), 2) quantitatively, measuring the relative frequency (probability) of failures, the downtimes and associated costs (severity) of faults (FMECA). The quantitative form is usually performed by a statistical approach, in which the system is modeled by a probability distribution of failures. The reliability of a system composed of a group of components will depend on: the reliability of individual components, how they are related (mounted), and their operating conditions. So, the calculation of the reliability of systems follows the rules: of the calculus of probabilities, of their logical combination (Reliability Block Diagram - RBD), and their dependence on operating conditions. This work aims at studying the modeling and simulation of reliability of space components and systems. In particular, it presents part of the calculation of the reliability of the electronic board "Sensor Signal Conditioning and Acquisition Module (SSCAM)" developed for the ITASAT project. This subsystem includes the electronics of the DC/DC Converters, Linear Regulators, Stages of Amplification and Conversion of Sensor Signals (Nominal), Voltage References, Bus Pins for Redundant Card, Enablers for DC-DC Converters, Grounding, and Connectors. This work uses the quantitative approach by the methodology "Parts Stress Analysis" (effort analysis on the components). This method has the following principles: the calculation of the reliability of each individual system component, the logical combination of these components, and their dependence with the operating conditions. This project is underway. So, the electronic board and part of the calculation of its reliability made so far will be presented.

## LISTA DE FIGURAS

**Figura 2.1** - Representação gráfica da função densidade de probabilidade  $f(x)$  de uma variável aleatória.

**Figura 2.2** - Representação gráfica da função acumulada de probabilidade  $F(x)$  de uma variável aleatória.

**Figura 2.3** - Conexão em série.

**Figura 2.4** - Conexão em paralelo.

**Figura 2.5** - Representação pela curva da banheira. (Fonte: Castro (2003)).

**Figura 2.6** - Escala de severidade (Fonte: adaptado de Palady (2004)).

**Figura 2.7** - Escala de ocorrência (Fonte: Palady (2004)).

**Figura 2.8** - Representação de um dos formulários da ferramenta FMEA desenvolvidos referente à função “Não Estourar”.

**Figura 3.1** - Amplificação e Conversão - Sensor Solar 1.

## **LISTAS DE ABREVIATURAS E SIGLAS**

**MTBF** - Mean Time Between Failures.

**MTTF** - Mean Time to Failure.

**FMEA** - Failure Modes and Effects Analysis.

**FMECA** – Failure Modes, Effects and Criticality Analysis

**FTA** - Fault Tree Analysis

**RBD** - Reliability Block Diagram

**SSCAM** - Signal Sensor Conditioning and Acquisition Module.

## LISTAS DE TABELAS

**Tabela 3.1** - Capacitores presentes na placa SSCAM.

**Tabela 3.2** - Diodos presentes na placa SSCAM.

**Tabela 3.3** – Indutores presentes na placa SSCAM.

**Tabela 3.4** – Resistores presentes na placa SSCAM.

**Tabela 3.5** – Conectores presentes na placa SSCAM.

**Tabela 3.6** - Conversores DC/DC, Amplificadores Operacionais, Regulador Linear LDO (+), Regulador Linear LDO (-), Single Inverter Gate, Fonte de Referência, Conversores A/D presentes na placa SSCAM.

## SUMÁRIO

1. INTRODUÇÃO .....	08
1.1 Introdução.....	08
1.2 Objetivos do Trabalho.....	09
2. CONCEITOS BÁSICOS DE CONFIABILIDADE.....	09
2.1 Considerações Iniciais.....	09
2.2 Conceitos e Expressões Básicas.....	11
2.2.1 Variáveis Aleatórias.....	11
2.2.2 Funções Densidade de Probabilidade.....	11
2.2.3 Função Acumulada de Probabilidade.....	12
2.2.4 Confiabilidade ou Função Confiabilidade.....	13
2.2.5 Taxa de Falhas.....	14
2.2.6 Curva Típica de Falhas.....	16
2.2.7 FMEA.....	17
3. ESTUDO DE CASO .....	20
4. CONCLUSÕES E COMENTÁRIOS FINAIS .....	31
5. REFERÊNCIAS.....	32

# 1. INTRODUÇÃO

## 1.1 Considerações Iniciais

O conceito de **confiabilidade** surgiu em meados do século passado nos Estados Unidos, especificamente na indústria eletrônica, com as constantes falhas e com a indisponibilidade cada vez maior dos sistemas, especialmente militares. Os produtos ou sistemas eram subestimados ou superestimados quanto aos aspectos que compõem sua segurança. Era necessário ter mais confiança e também havia a necessidade de estimar a “vida” ou a probabilidade de um equipamento operar com sucesso durante um intervalo de tempo determinado e em condições prescritas. Em meados dos anos 60 a confiabilidade passou a ser uma preocupação crescente em vários setores industriais, como: nuclear, espacial, aeronáutica, siderúrgico, automotivo, elétrico, etc.

Segundo Lewis (1996), a confiabilidade de um produto pode ser definida como “a probabilidade de um sistema ou item desempenhar satisfatoriamente a função requerida, sob condições de operação estabelecidas, por um período de tempo pré-determinado”. Ter a preocupação com a confiabilidade desde o planejamento é uma necessidade. Existem técnicas que, quando utilizadas, fazem com que seu projeto seja baseado na confiabilidade. Dentre elas: a Análise por Diagramas de Blocos de Confiabilidade (“Reliability Block Diagrams-RBD”), a Análise por Árvore de Falhas (“Fault Tree Analysis-FTA”), a Análise por Contagem de Partes (“Parts Count Analysis”), a Análise de Esforços sobre os Componentes (“Parts Stress Analysis”), a Análise de Modos de Falhas e seus Efeitos (“Failure Modes and Effects Analysis-FMEA”), a Análise de Modos de Falhas, seus Efeitos e sua Criticalidade (“Failure Modes, Effects and Criticality Analysis-FMECA”) permitem identificar processos e equipamentos de maior risco antes mesmo da fase operacional.

Apesar de a concorrência ser cada vez mais forte, Eckes (2001) afirma que: “apesar do enfoque em formas inovadoras de criar produtos e prestar serviços, uma constante permanece: as empresas que oferecem produtos e serviços de melhor qualidade sempre vencem a concorrência”. As empresas procuram cada vez mais soluções para diminuir as

probabilidades de falhas utilizando ferramentas de confiabilidade.

## **1.2 Objetivo deste Trabalho**

O presente trabalho tem como objetivo a modelagem e simulação da confiabilidade de componentes e sistemas espaciais. Ele apresenta e enfatiza o conceito de confiabilidade, visto que componentes ou sistemas confiáveis requerem menos intervenções de fabricantes; com isso, geram menos custos associados a “recalls”, reparos, substituições, indenizações. Em particular, ele apresenta parte do cálculo da confiabilidade da placa eletrônica “Signal Sensor Conditioning and Acquisition Module (SSCAM)” desenvolvido para o projeto ITASAT. Este subsistema inclui as eletrônicas dos Conversores DC/DC, Reguladores Lineares, Etapas de Amplificação e Conversão de Sinais de Sensores (Nominal), Referências de Tensão, Barramento de Pinos para Placa Redundante, Habilitação dos Conversores DC-DC, Aterramento, e Conectores. O trabalho utiliza a abordagem quantitativa através da metodologia “*Parts Stress Analysis*” (Análise de Esforços sobre os Componentes).

## **2. CONCEITOS BÁSICOS DE CONFIABILIDADE**

### **2.1 Considerações Iniciais**

Quando desenvolvemos um equipamento ou sistema, vários fatores contribuem para o aumento do risco de ocorrer alguma falha no processo . Como a definição de confiabilidade é ampla, ela pode ser primeiramente entendida como “a capacidade de um item desempenhar satisfatoriamente a função requerida, sob condições de operações estabelecidas, e por um período de tempo predeterminado”. (“British Standards on Quality- BS 4778”). Ela também pode ser definida como “a probabilidade de um sistema desempenhar adequadamente o seu propósito especificado, por um determinado período de tempo e sob condições ambientais predeterminadas.” (Leemis, 1994).

Existem pontos importantes na determinação da confiabilidade:

1. O tempo de utilização.
2. O ambiente, não sendo só um meio físico, mas também de ações como manutenção e operação.
3. A aplicação do equipamento deve estar bem definida, assim permitindo reconhecer a utilização e seus respectivos modos de falha.
4. Condições de uso.
5. Desempenho.

A confiabilidade é calculada a partir da análise estatística da ocorrência de falhas. A observação e a análise destas falhas são importantes para a ciência da confiabilidade. Frequentemente se fala em falha, sem dar uma definição. Pode-se dizer que existem duas definições básicas para falha:

1. “A impossibilidade de um produto em todo o seu conjunto poder realizar a função

exigida.” (IEC- 50).

2. “A impossibilidade de qualquer componente individual poder realizar a função exigida, sem estar afetado o funcionamento do produto no conjunto.” (IEC-50).

As falhas podem ser tratadas por 4 abordagens: 1) prevenção; 2) tolerância; 3) correção; 4) prognose. A engenharia usual adota muitas vezes as abordagens 1, 2, e 3. Na abordagem 3, se ocorrer uma falha, então se inicia um plano de reparos usualmente “off-line”. Porém há ambientes onde não existe a possibilidade desses reparos ocorrerem, como no ambiente espacial. Nestes casos, usam-se as abordagens 1 e 2. Em todas, é comum a confiabilidade utilizar indicadores mais simples da confiabilidade como o Tempo Médio para a Falha ou o Tempo Médio entre Falhas, a saber:

1. Em Sistemas Reparáveis – MTBF(“Mean Time Between Failures”).
2. Em Sistemas Não Reparáveis – MTTF(“Mean Time to First Failure”).

A diferença principal entre elas é que a primeira também leva em conta o Tempo De Reparo do equipamento.

## **2.2 Conceitos e Expressões Básicas**

### **2.2.1 Variáveis Aleatórias**

A variável aleatória é uma variável cujos valores são uma função dos vários resultados de um experimento aleatório. A palavra “aleatório” indica que, em geral, só conhecemos cada resultado e cada valor depois de o experimento ser realizado (Triola, 1998).

Uma variável aleatória pode ser do tipo contínua ou discreta.

1. Variável aleatória discreta: é aquela que assume um número finito ou infinito contável de valores.

2. Variável aleatória contínua: é aquela que assume um número infinito incontável de valores.

### 2.2.2 Funções Massa e Densidade de Probabilidade $f(t)$

Função massa de probabilidade, *f.m.p.*, é uma função não negativa,  $f(x) \geq 0$ , usada para representar a distribuição de probabilidades caso a variável aleatória seja discreta, tal que a probabilidade de  $X$  ser igual a  $x_i$  é dada por:

$$P(X = x_i) = f(x_i) \quad 2.1$$

Função densidade de probabilidade, *f.d.p.*, é uma função não negativa,  $f(x) \geq 0$ , usada para representar a distribuição de probabilidades caso a variável aleatória seja contínua, tal que a probabilidade de  $X$  estar no intervalo  $(a,b]$  é dada por:

$$P[a < X \leq b] = \int_a^b f(\tau) d\tau \quad 2.2$$

Matematicamente, as funções massa e densidade de probabilidade são o limite de um histograma mostrando a frequência relativa de cada valor da variável aleatória quando o número de experimentos aleatórios tende a infinito (Lei dos Grandes Números).

### 2.2.3 Função Acumulada de Probabilidade

A função acumulada de probabilidade, *f.a.p.*, de uma variável aleatória discreta  $X$  é uma função que, a cada número real  $x$ , associa o valor:

$$F(x) = P(-\infty < X \leq x) = \sum_{x_i \leq x} f(x_i) \quad 2.3$$

A função acumulada de probabilidade de uma variável aleatória contínua  $X$  é uma função que, a cada número real  $x$ , associa o valor:

$$F(x) = P(-\infty < X \leq x) = \int_{-\infty}^x f(\tau) d\tau \quad 2.4$$

A função de nome "F" é igual à probabilidade de a variável aleatória  $X$  assumir um valor inferior ou igual a determinado  $x$ . Note que, para cada  $x$ , a função  $F$  assumirá um valor monotonicamente crescente no intervalo  $[0;1]$ .

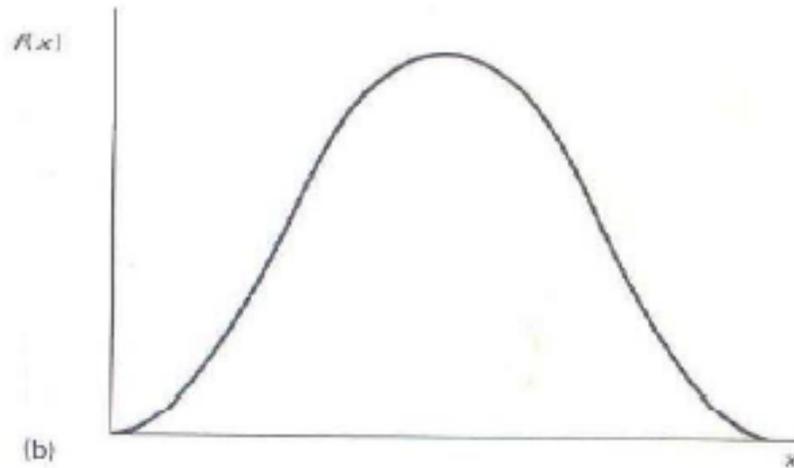


Fig 2.1 – Representação gráfica da função densidade de probabilidade  $f(x)$  de uma variável aleatória contínua  $X$ . (Billinton, R. e Allan, R.N., 1992).

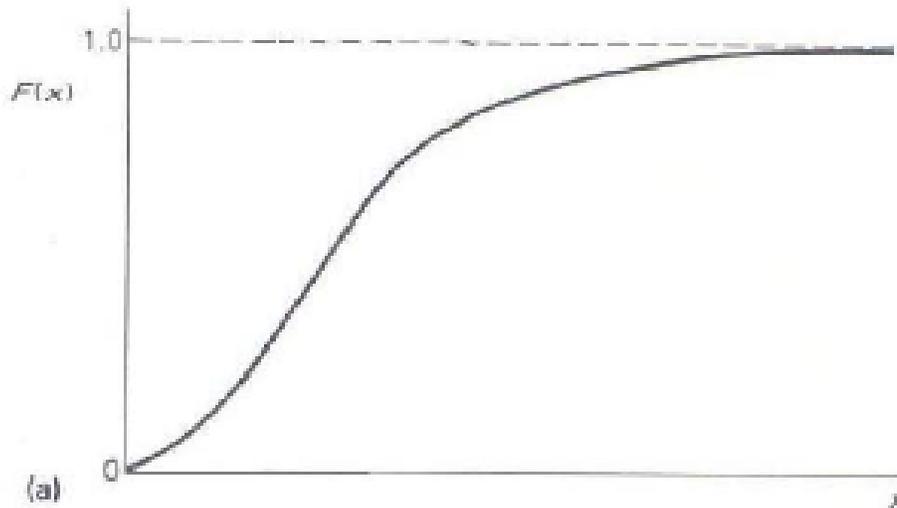


Figura 2.2 – Representação gráfica da função acumulada de probabilidade  $F(x)$  de uma variável aleatória contínua  $X$ . (Billinton, R. e Allan, R.N., 1992).

#### 2.2.4 Confiabilidade ou Função Confiabilidade

Confiabilidade,  $R$ , ou Função Confiabilidade  $R(t)$  é, sem dúvida, uma das principais funções de probabilidade envolvendo a durabilidade de um componente ou sistema. Segundo Lewis

(1996), ela pode ser compreendida como “a probabilidade de um sistema ou item desempenhar satisfatoriamente a função requerida, sob condições de operação estabelecidas, por um período de tempo pré-determinado”.

A função confiabilidade pode ser usada para comparar dois componentes iguais, produzidos por fabricantes diferentes, mostrando qual componente tem maior confiabilidade. Imagine  $n$  componentes semelhantes, operando sem serem substituídos, submetidos a um teste de “stress”. Após um tempo “ $t$ ”, serão observados que  $n_f(t)$  componentes falharam, e  $n_s(t)$  componentes sobreviveram, em que:

$$n_f(t) + n_s(t) = n \quad 2.5$$

O número  $n_f(t)$  componentes falhados ao fim de um tempo  $t$  é dado por:

$$n_f(t) = n - n_s(t) \quad 2.6$$

A confiabilidade é dada pela probabilidade de sobrevivência, ou seja:

$$R(t) = \lim_{n \rightarrow \infty} \frac{n_s(t)}{n} \quad 2.7$$

### 2.2.5 Taxa de Falhas

Falha pode ser entendida como a incapacidade de um componente ou sistema desempenhar sua função. A taxa de falhas é dada pela taxa porcentual instantânea de falhas, ou seja:

$$\lambda(t) = \lim_{\Delta t \rightarrow \infty} \frac{\Delta n_f(t; t + \Delta t)}{n_s(t) \cdot \Delta t} \quad 2.8$$

Prova-se que a relação entre  $R(t)$  e  $\lambda(t)$  é dada por:

$$R(t) = e^{\int_0^t \lambda(\tau) d\tau} \quad 2.9$$

A configuração dos componentes interfere na disposição de suas falhas, exemplo:

- **Conexão em Série.**

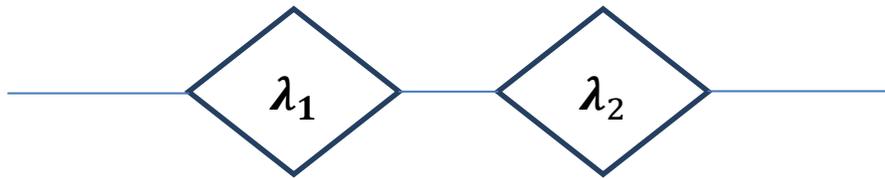


Fig. 2.3 – Conexão em série.

Se um componente falhar, então o sistema também falhará. É a configuração com maior propensão a falhas.

- **Conexão em Paralelo.**

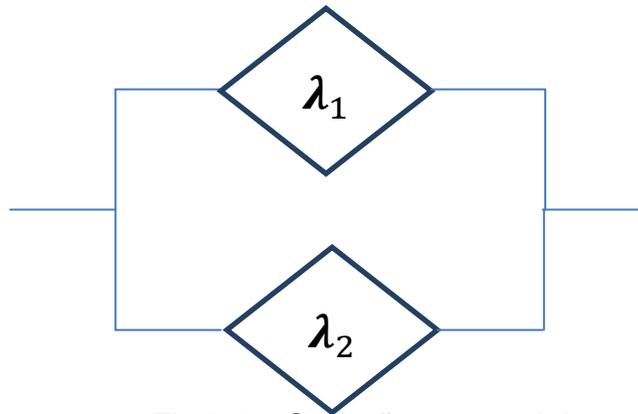


Fig.2.4 – Conexão em paralelo.

Um componente opera sem o outro. É a configuração com menor propensão a falhas. Os dois componentes operam ao mesmo tempo.

Admitamos que a taxa de falhas  $\lambda$  seja constante para uma população de componentes. Pela eq.2.8 teremos uma distribuição exponencial de tempos para falhas, dada por:

$$R(t) = e^{-\lambda t} \quad t \geq 0 \quad 2.10$$

Outra relação importante que pode ser tirada para a distribuição de tempos de falhas exponenciais é:

$$MTTF = \frac{1}{\lambda}$$

2.11

### 2.2.6 Curva típica de falhas

A análise do comportamento da taxa de falhas de um equipamento qualquer por um período longo de tempo, pode ser caracterizada por uma curva que possui o formato de uma banheira. Nela se distinguem 3 regiões:

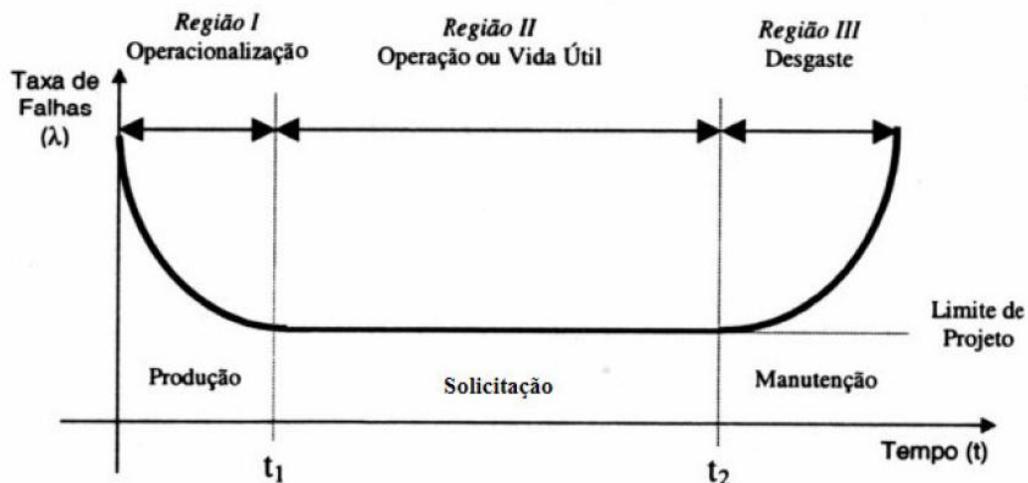


Fig. 2.5- Representação da curva da banheira. Fonte: Castro (2003).

- **Região I**, com Taxa de Falhas Decrescente (“Mortalidade Infantil”) associada a **defeitos de fabricação** devidos à operacionalização dos processos de fabricação e montagem, à matéria prima utilizada, etc. Por ser caracterizada por uma taxa de falhas alta mas decrescente nos primeiros meses de vida , essa fase pode ser chamada de “mortalidade infantil”.
- **Região II**, com Taxa de Falhas Constante (“Juventude”) associada a **falhas aleatórias** devidas a muitas causas desconhecidas, normalmente abrangendo a maior parte da vida útil do componente ou sistema.
- **Região III**, com Taxa de Falhas Crescente (“Velhice”) associada a **falhas terminais**

devidas ao desgaste/fadiga/envelhecimento do componente. Se não forem feitas ações corretivas, acaba comprometendo toda a população.

No estudo de componentes ou sistemas eletrônicos, a Região II da curva da banheira é frequentemente usada. Isto equivale a modelar a confiabilidade por uma distribuição exponencial.

### **2.2.7 FMEA**

*Failure Modes and Effects Analysis* (FMEA) é uma técnica que busca, em princípio, evitar que ocorram falhas no projeto, no produto ou no processo, pela análise das falhas potenciais e por propostas de ações de melhoria.

A FMEA pode ser apresentada no formato de um formulário físico ou digital, contendo a análise dos modos de falhas potenciais e propostas de ações de melhorias. Nesse formulário se reúnem todas as informações relevantes já que um equipamento eletrônico é formado por capacitores, resistores, reguladores, portas lógicas, etc. Basicamente:

- Se executam as funções de proteção dos circuitos integrados. Os circuitos integrados executam funções lógicas do sistema, normalmente divididos em estágios.
- Possíveis modos de falhas são identificados e relacionados com suas respectivas causas e efeitos.
- Determinado o nível crítico, isto é, a pontuação de risco destas falhas, estas são colocadas em ordem posteriormente.

Utilizando a metodologia tradicional da ferramenta, a determinação do nível crítico dos modos de falha é realizada com base em três índices que são: 1) o índice de severidade dos efeitos dos modos de falha; 2) o índice de ocorrência das causas dos modos de falha; e 3) o índice de detecção das causas dos modos de falha; e 4) na multiplicação destes três índices, que possuem escalas de 1 a 10 (Figuras 2.6-2.8).

<b>Escala de severidade dos efeitos dos modos de falha</b>	<b>Índice de severidade</b>
Efeito não percebido pelo cliente	1
Efeito bastante insignificante, percebido por 25% dos clientes	2
Efeito insignificante, mas percebido por 50% dos clientes	3
Efeito moderado e percebido por 75% dos clientes	4
Efeito consideravelmente crítico, percebido pelo cliente	5
Efeito consideravelmente crítico, que perturba o cliente	6
Efeito crítico, que deixa o cliente um pouco insatisfeito	7
Efeito crítico, que deixa o cliente consideravelmente insatisfeito	8
Efeito crítico, que deixa o cliente totalmente insatisfeito	9
Efeito perigoso, que coloca a vida do cliente em risco	10

Figura 2.6 – Escala de severidade (Fonte: adaptado de Palady, 2004).

<b>Escala de avaliação de ocorrência das causas e modos de falha</b>	<b>Índice de ocorrência</b>
Extremamente remoto, altamente improvável	1
Remoto, improvável	2
Pequena chance de ocorrência	3
Pequeno número de ocorrências	4
Espera-se um número ocasional de falhas	5
Ocorrência moderada	6
Ocorrência freqüente	7
Ocorrência elevada	8
Ocorrência muito elevada	9
Ocorrência certa	10

Figura2.7 - Escala de ocorrência (Fonte: Palady, 2004).

FMEA - Análise de Efeitos e Modos de Falhas									
<b>Descrição:</b> Análise dos pneus dos veículos de transporte de passageiros			<b>Departamento / Nome:</b> Qualidade / Pessoa 1 Técnico / Pessoa 2 Técnico / Pessoa 3 Técnico / Pessoa 4 Borracharia / Pessoa 5		<b>Abreviações:</b> SEV / Severidade OCO / Ocorrência DET / Detecção NRP / nº. Prioritário de risco			<b>Página 1 de 5</b>  <b>Original:</b> setembro de 2006 <b>Modificado:</b> outubro de 2006 <b>Modificação n.º:</b> 01 <b>Número do FMEA:</b> 0000002	
Função	Modo de Falha	Efeito	SEV	Causa	OCO	Controle	DET	NPR	Ação Recomendada
Não Estourar	Estourar	Atraso na hora de chegada; Insatisfação do cliente.	6	Arrastes laterais	4	E. V. E Proc.	5	120	Treinamento motorista
			6	Choques transversais	4	E. V. E Proc.	7	168	Treinamento motorista
			6	Aquecimento do bloco do topo	2	E. V. E Proc.	5	60	
			6	Golpes na montagem ou desmontagem	1	E. V. E Proc.	6	36	
			6	Infiltração na zona baixa do pneu, por quebra da borracha do talão	2	E. V. E Proc.	8	96	
			6	Montagem de pneu sem câmara em roda de pneu com câmara	1	E. V. E Proc.	1	6	
			6	Aquecimento por uso excessivo do freio ou freio mal regulado	1	E. V. E Proc.	8	48	
			6	Infiltração por perfuração, reparo ou quebra dos talões na montagem	1	E. V. E Proc.	7	42	
			6	Excesso de peso	1	E. V. E Proc.	3	18	
			6	Impacto em obstáculo	4	E. V. E Proc.	8	192	Treinamento motorista
			6	Perfuração sem reparo	1	E. V. E Proc.	6	36	
			6	Reparo em mau estado	1	E. V. E Proc.	5	30	
			6	Pressões insuficientes	4	E. V. E Proc.	7	168	Treinamento borracharia
			6	Sujeira ou oxidação na roda na região de assentamento do pneu	1	E. V. E Proc.	8	48	
			6	Danos provindos da roda de alumínio	5	E. V. E Proc.	7	210	Empregar rodas de ferro

Figura 2.8 - Representação de um dos formulários da ferramenta FMEA desenvolvidos referente à função “Não Estourar”.

Este é o objetivo básico desta técnica. Com ela, diminuindo as chances do produto ou processo falhar durante sua operação, estamos buscando aumentar sua confiabilidade. Apesar de ter sido desenvolvida com um enfoque no projeto de novos produtos e processos, a técnica FMEA passou a ser aplicada de diversas maneiras, pela sua grande utilidade. Assim, ela atualmente é utilizada para diminuir as falhas de produtos e processos existentes. Esta técnica pode ser aplicada tanto no desenvolvimento do projeto, quanto do produto ou do processo.

### 3. ESTUDO DE CASO.

Como estudo de caso será apresentada a seguir, parte do cálculo de confiabilidade da placa eletrônica “Signal Sensor Conditioning and Acquisition Module (SSCAM)” do projeto ITASAT. O trabalho utiliza a abordagem quantitativa, ou seja, é feito usualmente por uma abordagem estatística, no qual o sistema é modelado por uma distribuição de probabilidades de falhas. A norma utilizada foi a MIL –HDBK 217F, NOTICE 1 e NOTICE 2. Ela basicamente apresenta dois métodos para estimar a confiabilidade de equipamentos eletrônicos:

- *Parts Count* (Contagem de Partes).
- *Parts Stress* (Análise de Esforços).

O método “**Partes Count**” (Contagem de Partes), geralmente é usado no início de um projeto onde ainda não estão especificados todos os componentes de um equipamento. Ele requer menos informação.

Esse método simplesmente combina as taxa de falhas segundo a montagem dos componentes. Usualmente, esse método assume a configuração em série e soma as taxas. A taxa de falhas pode ser estimada usando as falhas típicas de cada componente  $\lambda_g$ , e fatores de qualidade  $\pi_Q$ . A taxa de falhas total do equipamento é dada por:

$$\lambda_{EQUIP} = \sum_{i=1}^{i=n} N_i \cdot (\lambda_g \cdot \pi_Q) i \quad 3.1$$

onde:

- $\lambda_{EQUIP}$  = Taxa de falhas total do equipamento.
- n = Número de diferentes tipos de componentes.
- $N_i$  = Número de componentes do tipo i.
- $\lambda_g$  = Taxa de falhas genérica para cada tipo de componente.
- $\pi_Q$  = Fator de qualidade

O método “**Parts Stress Analysis**” (Análise de Esforços sobre os Componentes) tem como

princípio o cálculo individual da confiabilidade de cada componente do sistema; a combinação lógica destas; e a sua dependência com as condições de operação. Ele requer informações mais detalhadas.

Esse método utiliza a estimativa das taxas de falhas de componentes individuais. As expressões desse método são específicas de cada tipo de componentes. Por exemplo, para capacitores é:

$$\lambda_p = \lambda_b \pi_T \pi_C \pi_V \pi_{SR} \pi_Q \pi_E \quad 3.2$$

onde:

- $\lambda_p$  = Estimativa da taxa de falhas do componente individual. **Falhas / 10<sup>6</sup> horas**
- $\lambda_b$  = Taxa de falha base para o tipo específico de componente.
- $\pi_T$  = Fator de temperatura.
- $\pi_C$  = Fator de capacitância.
- $\pi_V$  = Fator de stress de tensão.
- $\pi_{SR}$  = Fator de resistência em série. (somente para capacitores estilo *Tantalum CRS*; outros assumem o valor 1).
- $\pi_Q$  = Fator de qualidade.
- $\pi_E$  = Fator ambiental.

Nesse trabalho está sendo utilizado o método “*Parts Stress Analysis*” onde as taxas de falhas foram estimadas utilizando as normas MIL –HDBK 217F, NOTICE 1 e NOTICE 2.

Foi utilizado o software EXCEL, pois a proposta seria utilizar um programa de fácil acesso que simplificasse o trabalho. Outra consideração na escolha dessa ferramenta foi porque os softwares específicos são muitos caros. Segue uma prévia da estrutura da placa.

## Amplificação e Conversão - Sensor Solar 1

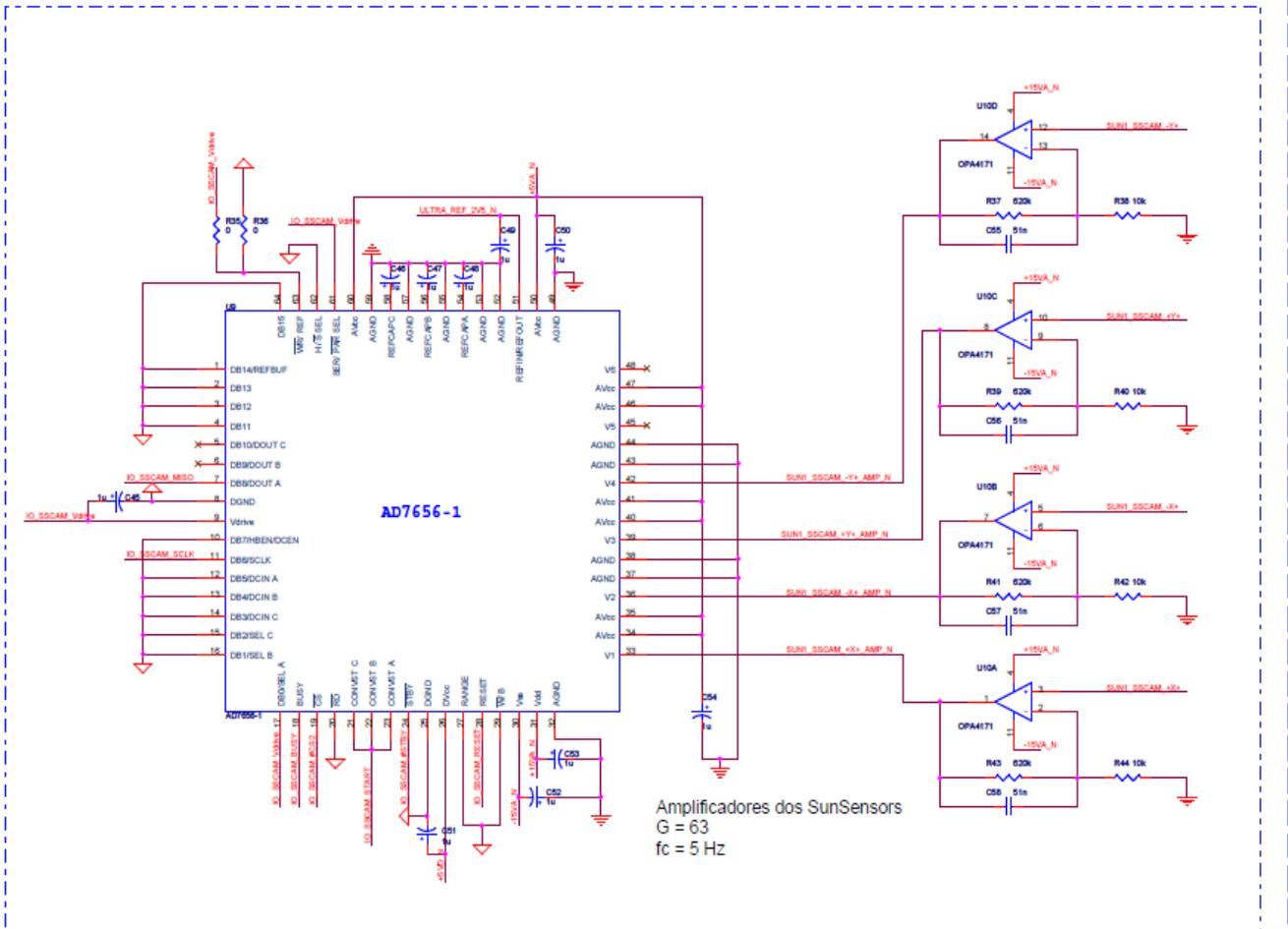


Figura 3.1- Esquema da Placa de Amplificação e Conversão - Sensor Solar 1.

Na parte de Amplificação e Conversão, o SSCAM possui 3 placas. Na Figura 3.1 está esquematizada a Placa de Amplificação e Conversão – Sensor Solar 1

As Tabelas 3.1 a 3.6 a seguir apresentam as listas de componentes da placa SSCAM. Elas incluem o componente, seu “Part Number”, sua quantidade, e seu número referente à placa.

Tabela 3.1 – Capacitores presentes na placa SSCAM.

Part Number	Componente	Quantidade
	Capacitores	
TCJB105M050R0300	C1, C9	2
TR3B106K025C0450	C16, C19, C20, C23, C24, C27, C28, C31	8
C3225X7R1E106M	C7, C8	2
08055F103K4T2A	C3, C11, C17, C18, C21, C22, C25, C26, C29, C30	10
08055F104K4T2A	C2, C4, C10, C12	4
08055A121JAT2A	C6	1
08055C183KAT2A	C5	1
12105C335KAZ2A	C42, C43, C44	3
08055C563KAT2A	C55, C56, C57, C58, C69, C70, C71, C72, C83, C84, C85, C86	12
TCJB475M035R0200	C89	1
GRM32ER71H475KA88L	C1, C9	2
GRM32ER61C226KE20L	C15	1
08055A271JAT2A	C14	1
08055C153KAZ2A	C13	1
08055L224K4T2A	C87	1

Tabela 3.2 - Diodos presentes na placa SSCAM.

Part Number	Componente	Quantidade
	DIODOS	
B240A-13-F	D1, D2, D3	3

Tabela 3.3 – Indutores presentes na placa SSCAM.

Part Number	Componente	Quantidade
	INDUTORES	
MSS1278-823MLB	L1	1
MSD1278-154KLB	T1	1

Tabela 3.4 – Resistores presentes na placa SSCAM.

Part Number	Componente	Quantidade
	<b>RESISTORES</b>	
TNPU080520K0BZEN00	R30, R32, R34	3
TNPW080510K0BEEA	R1, R3, R6, R7, R11, R12, R24, R26, R28, R23, R25, R27, R29, R31, R33, R38, R40, R42, R44, R48, R50, R52, R54, R58, R60, R62, R64	27
1676416-2	R4, R14, R16, R18, R20	5
MCU08050Z0000ZP500	R21, R22, R35, R36, R45, R46, R55, R56, R77, R78	10
2-1614885-3	R37, R39, R41, R43, R47, R49, R51, R53, R57, R59, R61, R63	12
CRCW0805274KFKEA	R2, R8	2
1676433-2	R10	1
1676358-2	R9	1
RR1220P-2053-D-M	R5	1
1676427-2	R13, R15	2
1676274-2	R17, R19	2
1676639-2	R65, R66, R67, R68, R69, R70, R71, R72, R73, R74, R75, R76	12

Tabela 3.5 – Conectores presentes na placa SSCAM.

Part Number	Componente	Quantidade
	<b>CONECTORES</b>	
connector DB25	P1, P2	2
connector DB15	P3	1
connector DB9	P4, P5, P6	3

Tabela 3.6 - Conversores DC/DC, Amplificadores Operacionais, Regulador Linear LDO (+), Regulador Linear LDO (-), Single Inverter Gate, Fonte de Referência, Conversores A/D presentes na placa SSCAM.

Part Number	Componente	Quantidade
<b>Conversores DC/DC</b>		
TPS54240DGQ	U1, U2	2
<b>Amplificadores Operacionais</b>		
OPA4171AIPW	U8,U10,12,14	4
<b>Regulador Linear LDO (+)</b>		
TPS7A4901DGN	U3, U5, U6	3
<b>Regulador Linear LDO (-)</b>		
TPS7A3001DGN	U4	1
<b>Single Inverter Gate</b>		
296-22341-1-ND	U17	1
<b>Fonte de referência</b>		
VRE302JS	U15	1
<b>Conversores A/D</b>		
AD7656YSTZ-1	U7, U9, U11, U13	4

Para a estimacão das taxas de falhas dos componentes foi utilizada a norma MIL –HDBK 217F, NOTICE 1 e NOTICE 2. Ela permite a estimacão das taxas de falhas de componentes individuais utilizando expressões específicas para cada tipo de componentes.

**Primeiro Exemplo:** será apresentada uma estimação da taxa de falhas de um *DIODO SCHOTTKY BARRIER*. Sua expressão é dada por:

$$\lambda_{p=} = \lambda_b \pi_T \pi_A \pi_R \pi_Q \pi_E \quad 3.3$$

onde, para **DIODOS D1, D2, D3**

- $\lambda_{p=}$  Estimação da taxa de falhas do componente individual. **Falhas / 10<sup>6</sup> horas**
- $\lambda_b$  = Taxa de falhas base para o tipo específico de componente.
- $\pi_T$  = Fator temperatura.
- $\pi_A$  = Fator de aplicação.
- $\pi_R$  = Fator de potência.
- $\pi_Q$  = Fator de qualidade.
- $\pi_E$  = Fator ambiental.

As variáveis assumem os seguintes valores:

- $\lambda_b = \rightarrow 0,027$
- $\pi_T = \rightarrow 5$
- $\pi_A$  = Este valor varia de acordo com o tipo de aplicação. Esta pode ser: controle de voltagem; multiplicador; ou qualquer outra aplicação. Assim,  $\pi_A$  assume os valores: 0,50; 2,50; e 1; respectivamente.
- $\pi_R = \rightarrow 1$
- $\pi_Q = \rightarrow 2,50$
- $\pi_E = \rightarrow 0,50$
- $\lambda_{p=}$   $\rightarrow$  Taxa de falhas dependerá do fator de aplicação.
  - **Controlador de voltagem.**  
 $\rightarrow \lambda_{p=} = 0,08438$  Falhas / 10<sup>6</sup> horas
  - **Multiplicador.**

$$\rightarrow \lambda_p = 0,42188 \text{ Falhas} / 10^6 \text{ hora}$$

• **Outra aplicação.**

$$\rightarrow \lambda_p = 0,16875 \text{ Falhas} / 10^6 \text{ horas}$$

**Segundo Exemplo:** será apresentada uma estimação da taxa de falhas de alguns capacitores. Sua expressão é dada por:

$$\lambda_p = \lambda_b \pi_T \pi_C \pi_V \pi_{SR} \pi_Q \pi_E \quad 3.4$$

onde, para **CAPACITORES C6, C5, C14, C87:**

- $\lambda_p$  = Estimação da taxa de falhas do componente individual. **Falhas / 10<sup>6</sup> horas**
- $\lambda_b$  = Taxa de falhas base para o tipo específico de componente.
- $\pi_T$  = Fator temperatura.
- $\pi_C$  = Fator de capacitância.
- $\pi_V$  = Fator de stress de tensão.
- $\pi_{SR}$  = Fator de resistência em série. (somente para capacitores estilo *Tantalun crs*; fora desses, a variável assume o valor 1).
- $\pi_Q$  = Fator de qualidade.
- $\pi_E$  = Fator ambiental.

As variáveis assumem os seguintes valores:

**CAPACITOR C6**

- $\lambda_b = \rightarrow 0,0020$
- $\pi_T = \rightarrow 3,50$
- $\pi_C = \rightarrow 0,44$
- $\pi_V = \rightarrow 2,00$
- $\pi_{SR} = \rightarrow 1$
- $\pi_Q = \rightarrow 10$

- $\pi_E = \rightarrow 0,50$   
      $\rightarrow \lambda_p = 0,03080$  Falhas /  $10^6$ horas

### **CAPACITOR C5**

- $\lambda_b = \rightarrow 0,0020$
- $\pi_T = \rightarrow 3,50$
- $\pi_C = \rightarrow 0,70$
- $\pi_V = \rightarrow 2,00$
- $\pi_{SR} = \rightarrow 1$
- $\pi_Q = \rightarrow 10$
- $\pi_E = \rightarrow 0,50$   
      $\rightarrow \lambda_p = 0,04900$  Falhas /  $10^6$ horas

### **CAPACITOR C14**

- $\lambda_b = \rightarrow 0,0020$
- $\pi_T = \rightarrow 3,50$
- $\pi_C = \rightarrow 0,48$
- $\pi_V = \rightarrow 2,00$
- $\pi_{SR} = \rightarrow 1$
- $\pi_Q = \rightarrow 10$
- $\pi_E = \rightarrow 0,50$   
      $\rightarrow \lambda_p = 0,03360$  Falhas /  $10^6$ horas

### **CAPACITOR C87**

- $\lambda_b = \rightarrow 0,0020$
- $\pi_T = \rightarrow 3,50$
- $\pi_C = \rightarrow 0,87$
- $\pi_V = \rightarrow 2,00$
- $\pi_{SR} = \rightarrow 1$

- $\pi_Q \Rightarrow 10$
- $\pi_E = \rightarrow 0,50$   
 $\rightarrow \lambda_{p=} 0,06090 \text{ Falhas} / 10^6 \text{ horas}$

**Terceiro Exemplo:** será apresentada uma estimação da taxa de falhas de alguns indutores do estilo bobina. Sua expressão é dada por:

$$\lambda_p = \lambda_b \pi_T \pi_Q \pi_E \quad 3.5$$

onde, para **INDUTOR, COIL**:

- $\lambda_{p=}$  Estimação da taxa de falhas do componente individual. Falhas /  $10^6$  horas
- $\lambda_b$  = Taxa de falhas base para o tipo específico de componente.
- $\pi_T$  = Fator temperatura.
- $\pi_Q$  = Fator de qualidade.
- $\pi_E$  = Fator ambiental.

As variáveis assumem os seguintes valores:

- $\lambda_b = \rightarrow 0,000030$
- $\pi_T \Rightarrow 1,5$
- $\pi_Q \Rightarrow 3,00$
- $\pi_E = \rightarrow 0,50$   
 $\rightarrow \lambda_{p=} 0,00007 \text{ Falhas} / 10^6 \text{ horas}$

#### **4. Conclusões e Comentários Finais**

Para analisar a confiabilidade de um equipamento ou sistema é importante conhecê-lo bem pois, a partir disso, podemos diagnosticar seus modos de falhas, suas causas, seus efeitos e suas criticalidades. Existem métodos importantes para a predição da confiabilidade. Elas têm um papel importante desde a concepção do projeto até a sua fase final, assim gerando itens mais confiáveis. Os métodos descritos ou empregados neste trabalho para análise de confiabilidade representam apenas uma pequena parcela do que é a área da confiabilidade.

Como estudo de caso, foi apresentada uma introdução à placa SSCAM do projeto ITASAT, com seus componentes. O cálculo da confiabilidade dessa placa é um processo longo, pois ela possui muitos componentes. Como este projeto está em andamento, foi apresentada uma pequena parte do projeto, incluindo o cálculo da confiabilidade de alguns dos seus componentes, como: Diodos, Capacitores e Indutores.

Em futuros trabalhos, pretendemos terminar o cálculo da confiabilidade dessa placa e apresentá-lo no Colóquio Brasileiro de Dinâmica Orbital-CBDO 2012 e no SICINPE 2013.

## 5. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

SOUZA, M.L.O., CARVALHO, T.R. **The Fault Avoidance and the Fault Tolerance Approaches for Increasing the Reliability of Aerospace and Automotive Systems.** Congresso e Exposição SAE Brasil 2005, São Paulo, SP, 2005, artigo SAE-2005-036-0328.

DEPARTMENT OF DEFENSE. **US MIL-HDBK217F: Handbook for Reliability,** Washington, D.C, 1996.

CASTRO, H.F., **Otimização da Confiabilidade e Disponibilidade em Sistemas Redundantes, Dissertação de Mestrado,** UNICAMP, São Paulo ,SP, 2003.

DANIELLI, V.L., **Proposta de Método de Análise de Confiabilidade de Sistemas Eletrônicos Empregando Dados de Retorno em Garantia,** Dissertação de Mestrado, USP, São Paulo, SP, 2006.

JOSÉ LUIS, O.R., **Manutenção Centrada em Confiabilidade Aplicada a Sistemas Eletrônicos: Uma Proposta Para Uso de Análise de Risco No Diagrama de Decisão,** Dissertação de Mestrado, UFBA, Salvador , BA, 2004.

PALADY, P. **FMEA: Análise dos Modos de Falha e Efeitos: Prevendo e Prevenindo Problemas Antes que Ocorram.** 3a. ed., IMAM, São Paulo, SP, 2004.

ECKES, G. **A Revolução Seis Sigma.** Editora Campus, Rio de Janeiro, RJ, 2001.

LEEMIS,L.M. **Reliability: Probabilistic Models and Statistical Methods,** Prentice Hall, Piscataway, NJ, December 30, 1994.

LEWIS, E.E., **Introduction to Reliability Engineering,** John Wiley & Sons Ltd., New York, NY, 1996.

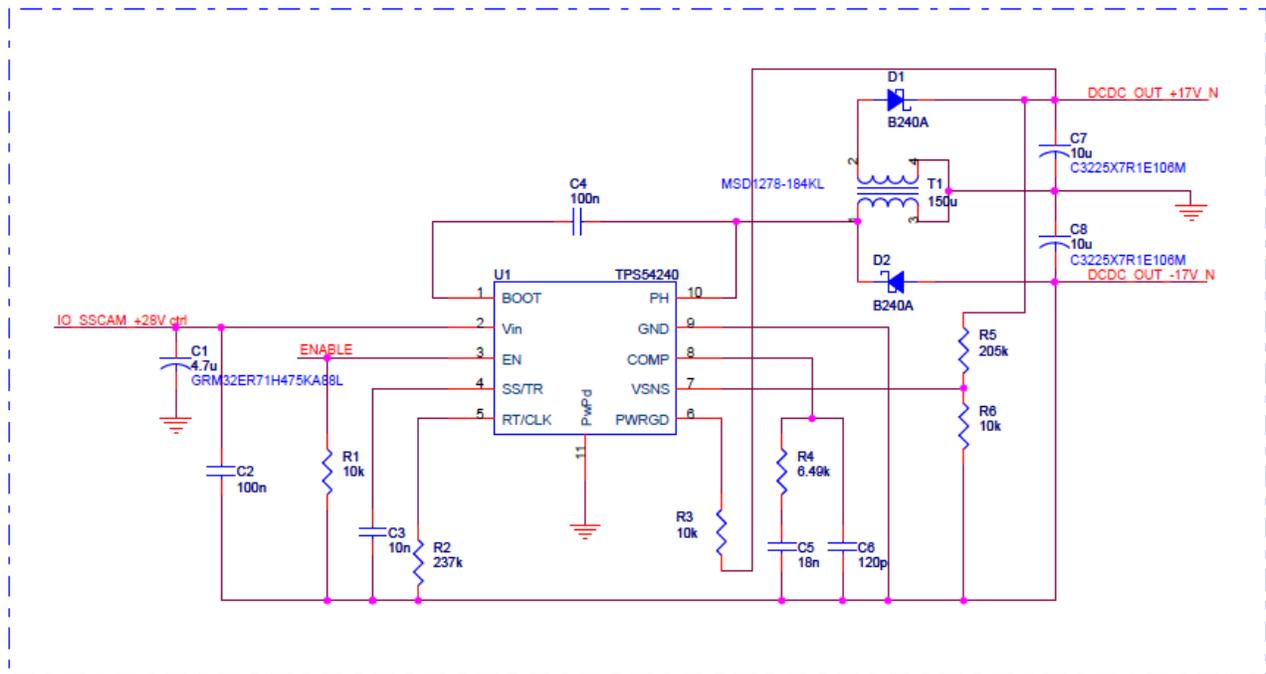
TRIOLA, M.F. **Introdução à Estatística.** Editora Livros Técnicos e Científicos-LITEC, Rio de Janeiro, RJ, 1998.

BILLINTON, R; ALLAN R.N, **Reliability Evaluation of Engineering Systems – Concepts and Techniques**, 2<sup>nd</sup> ed., Plenum Press, New York, NY, 1992.

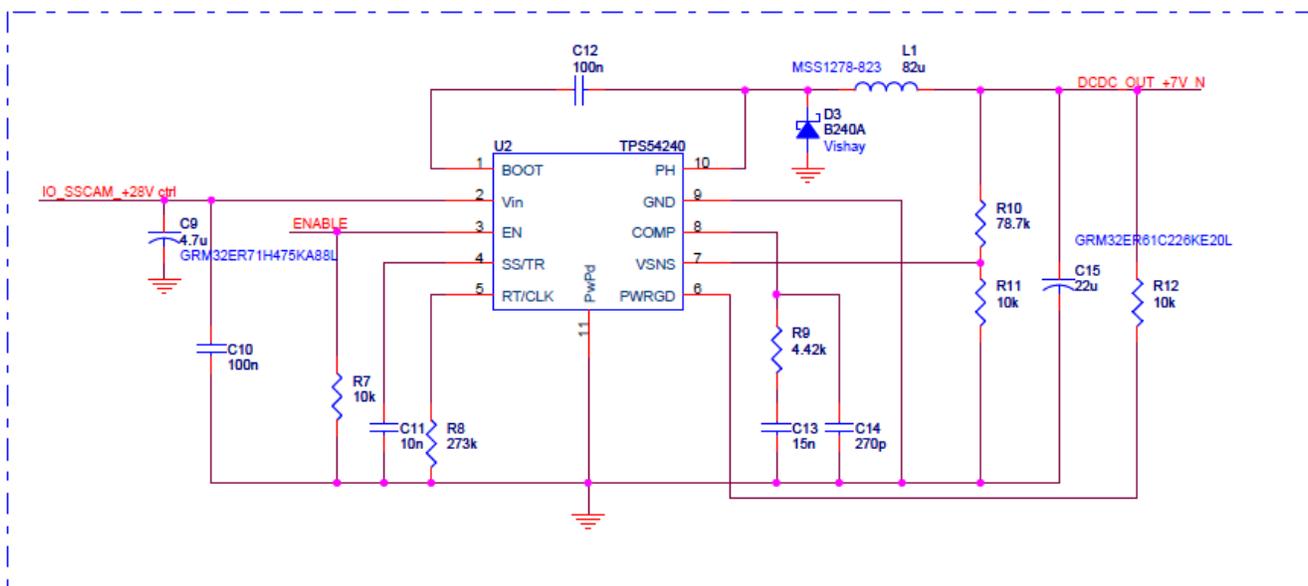
LLC, **BS 4778 - British Standards on Quality**, CRC Press, New York, NY, 2005.

## APÊNDICE A – Circuitos da placa SSCAM

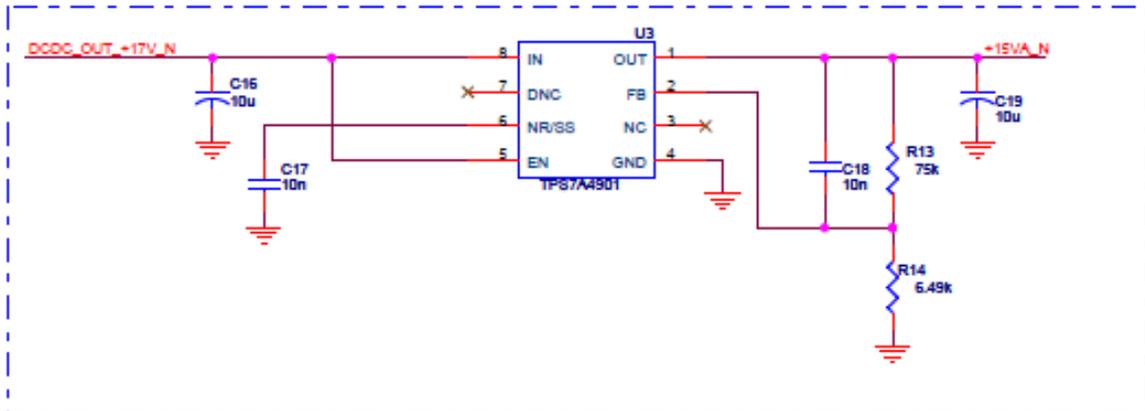
### Conversor DC/DC para gerar +/- 17 V (NOMINAL)



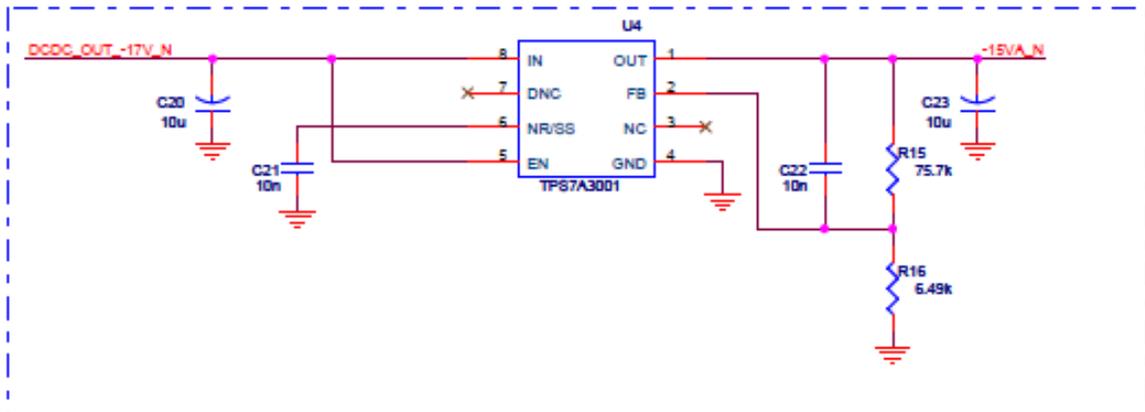
### Conversor DC/DC para gerar +7V (NOMINAL)



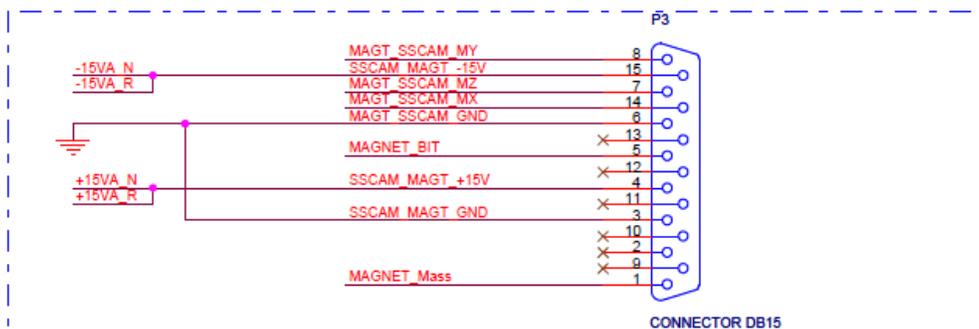
## Regulador Linear +15V (NOMINAL)



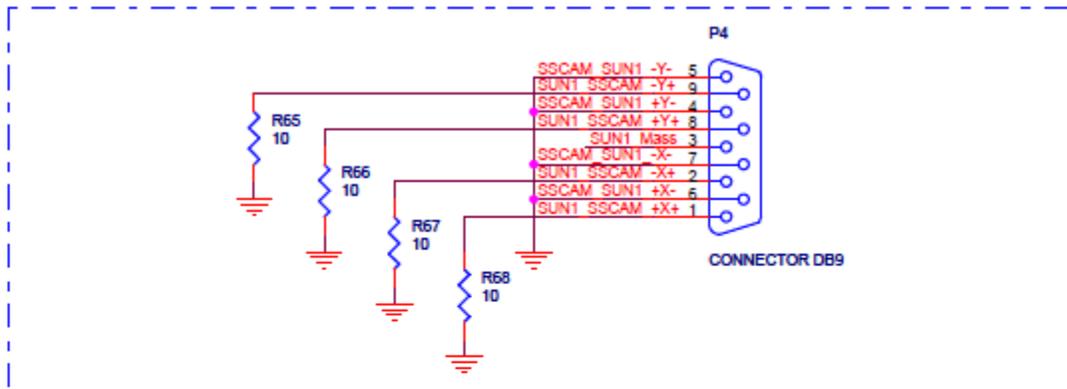
## Regulador Linear -15V (NOMINAL)



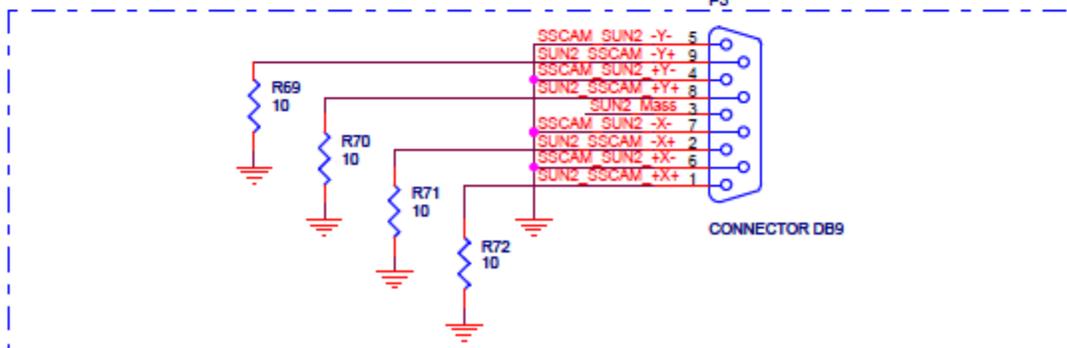
## Conector do Magnetômetro (DB15 Macho)



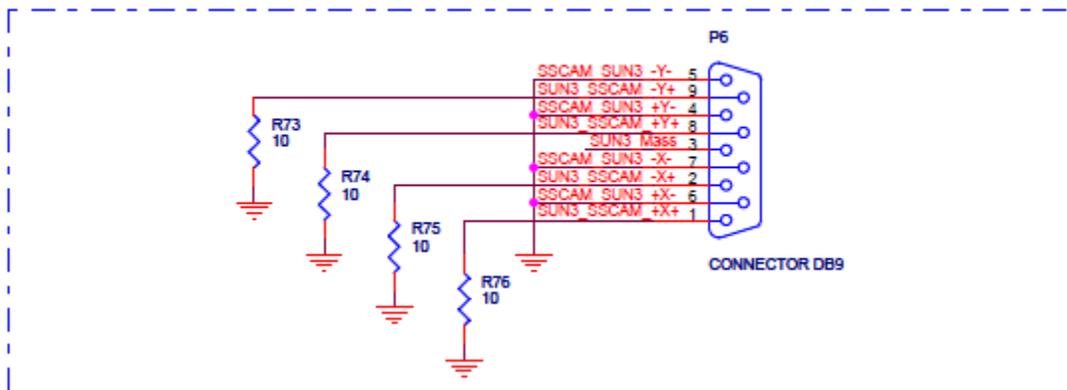
## Conector Sensor Solar (DB9 Macho) (1)



## Conector Sensor Solar (DB9 Macho) (2)



## Conector Sensor Solar (DB9 Macho) (3)



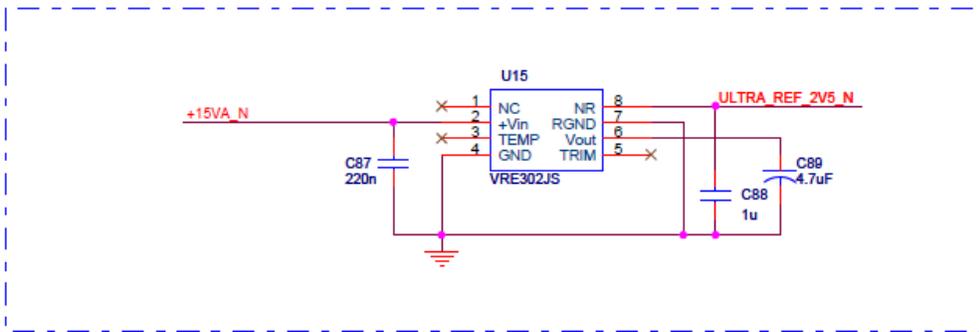
## Conector ACDH Módulo de I/O (NOMINAL)



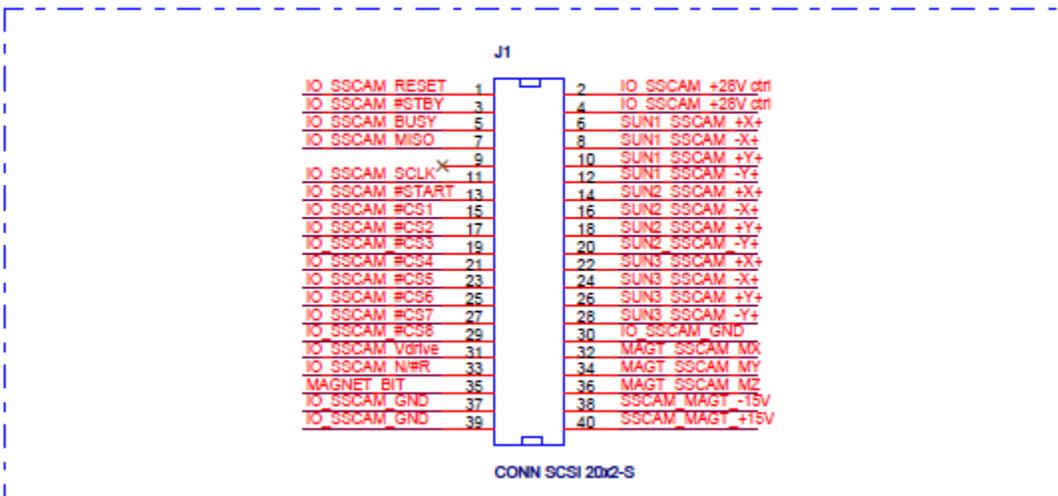
## Conector ACDH Módulo de I/O (REDUNDANTE)



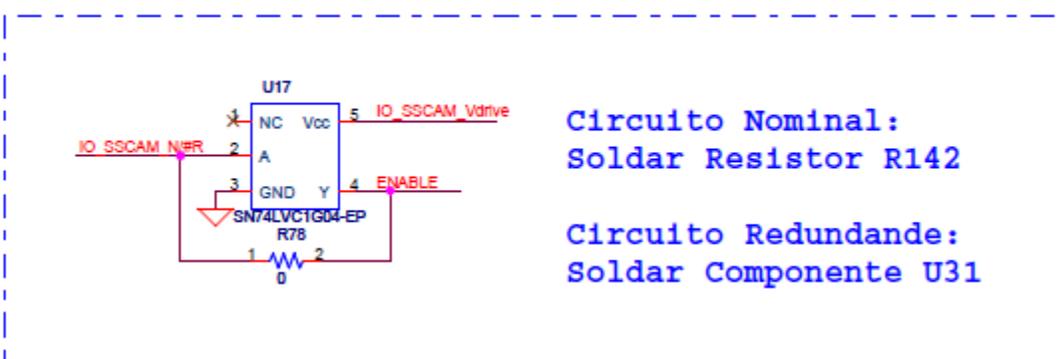
## Referência de tensão de 2.500V com 1.0 ppm/°C (NOMINAL)



## Barramento de pinos para Placa Redundante



## Habilitação dos Conversores DC-DC



# Aterramento

