

Engenharia de Manutenção (EF 302000)

Prof. Dr. Marcelo Sucena, PhD

marcelosucena@gmail.com

<http://www.marcelosucena.com.br>



MÉTODO PARA ANÁLISE DOS MODOS FALHAS E SEUS EFEITOS

FMEA

O Método de Análise dos Modos de Falhas e seus Efeitos (*Failure Modes and Effects Analysis – FMEA*) foi desenvolvido em 1949 pelas Forças Armadas Americanas, quando gerou-se a MIL-P-1629.

É um método que analisa sistematicamente e qualitativamente todos os possíveis modos potenciais de falha de um sistema, assim como, identifica o efeito resultante de tais falhas sobre o sistema.

FMECA

Variante do FMEA: Método de Análise da Criticidade dos Modos e Efeitos das Falhas (Failure Mode, Effects and Criticality Analysis - FMECA)

Tem a mesma característica do FMEA, agregando-se um método quantitativo no qual classificam-se os possíveis modos e efeitos de falhas críticas levando em consideração a sua severidade e a probabilidade de ocorrência.

NORMAS

❑ MIL-STD-785/Task 204: procedimento para desenvolvimento da FMECA em equipamentos ou sistemas.

➔ ❑ MIL-STD-1543: *Reliability Program Requirements for Space and Launch Vehicles*

➔ ❑ BS (*British Standards*) 5760-5: *Guide to failure modes, effects and criticality analysis (FMEA and FMECA)*

❑ NASA NHB 5300.4: *Reliability Program Provisions for Aeronautical and Space*

NORMAS

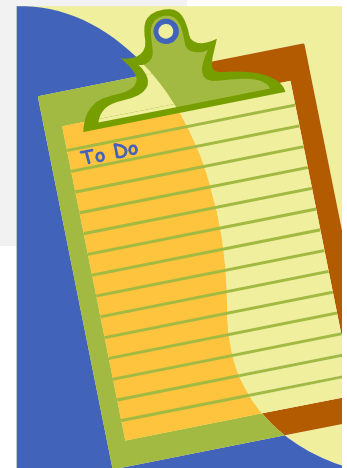
- ❑ **IEEE (Institute of Electrical and Electronics Engineers) - STD-352-1975/ANSI N411.4: IEEE Guide for General Principles of Reliability Analysis of Nuclear Power Generating Station Protection Systems**
- ❑ **IEC (International Electrotechnical Commission) 60812: Procedures for failure mode and effect analysis FMEA**
- ❑ **SAE (The Society of Automotive Engineers) J-1739: Potential Failure Mode and Effects Analysis in Design (Design FMEA) and Potential Failure Mode and Effects Analysis in Manufacturing and Assembly Processes (Process FMEA) and Effects Analysis for Machinery (Machinery FMEA)**

NORMAS

- ❑ **SAE ARP-5580: *Recommended failure modes and effects analysis (FMEA) practices for non-automobile applications***
- ❑ **ESA - ECSS-Q-30-02A: *Failure mode, effects and criticality analysis (FMECA)*.**
- ❑ **O Grupo de normas QS 9000: desenvolvido pelas Chrysler Corporation, Ford Motor Company e a General Motors Corporation, que qualifica os fornecedores, inclui a utilização da FMEA.**

O FMECA é utilizado para:

- Analisar sistematicamente, em nível **qualitativo**, todos os possíveis **modos potenciais de falhas** de um sistema;
- Identificar as causas e os efeitos de cada **modo de falha**;
- Priorizar os **modos de falha** quanto à sua criticidade;
- Documentar o estudo, criando um referencial técnico.



✓ FMEA é pró-ativo.

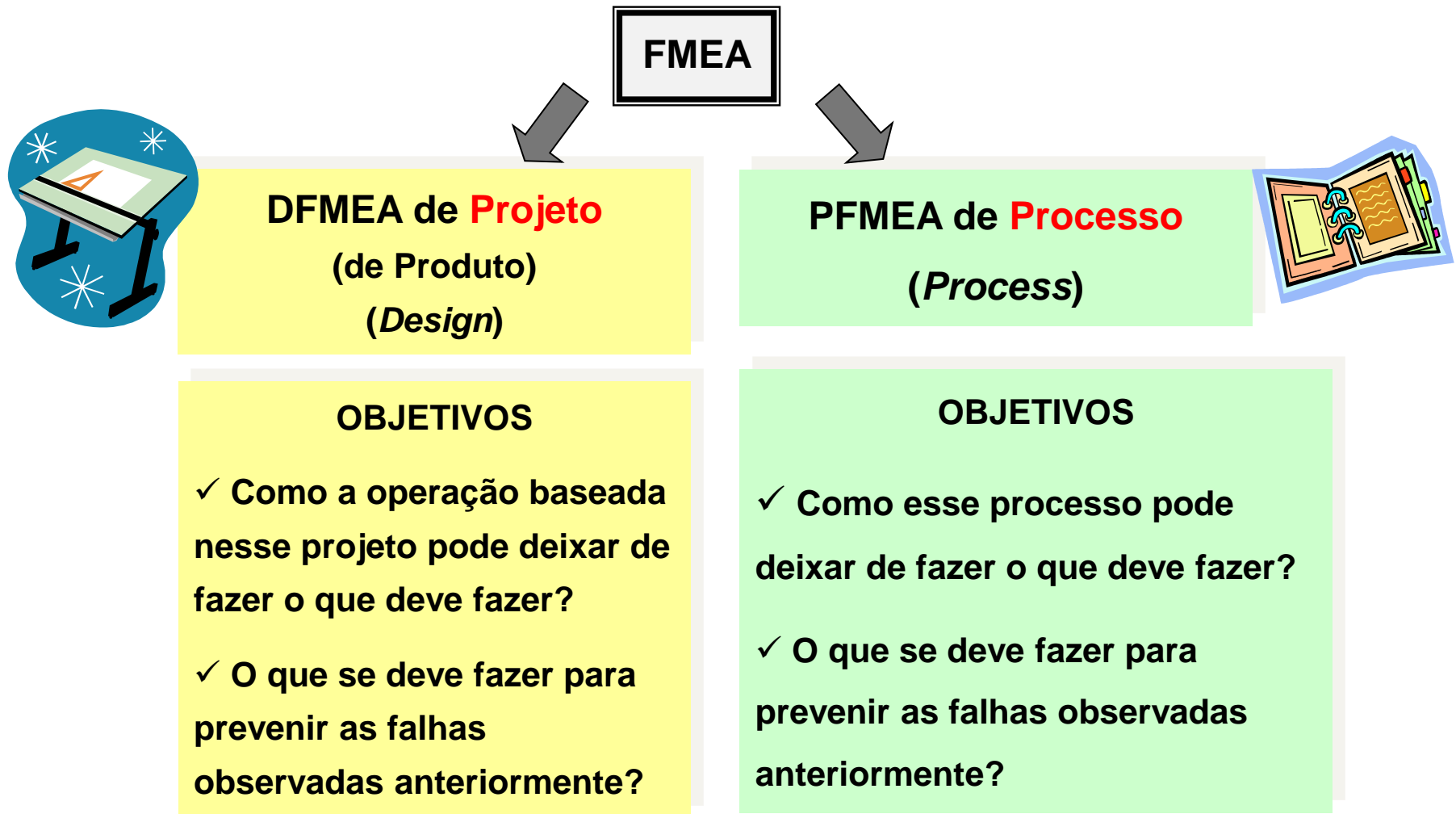
✓ FMEA é um método baseado na subjetividade e no conhecimento de especialistas.



✓ FMEA pode ser aplicada em GRUPO ou por intermédio de análise INDIVIDUAL.

✓ FMECA tem sido empregado em aplicações específicas tais como análises de fontes de risco em engenharia de segurança e na indústria de alimentos.



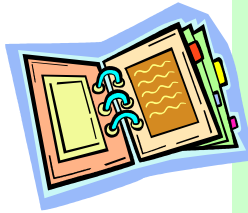




FMEA de Projeto (Produto)

Subsidia os riscos de falhas, pois:

- ✓ Ajuda na **avaliação** objetiva dos requerimentos e das **alternativas de projeto**;
- ✓ Facilita a manufatura e a montagem;
- ✓ Aumenta a probabilidade de que **todos os modos potenciais de falha e seus respectivos efeitos serão analisados**;
- ✓ Fornece um **referencial** que auxilia na avaliação e implementação de futuras alterações ou desenvolvimentos em cima do **projeto** base.



FMEA de Processo

São consideradas as falhas no planejamento e execução do processo, ou seja, o objetivo desta análise é evitar falhas do processo, tendo como base as **não conformidades do produto com as especificações do projeto.**

CINCO CONJUNTOS DE ELEMENTOS BÁSICOS DO FMEA

1. Planejamento inicial

Objetivos, formação da equipe etc.

2. Modos de Falha (MF)/Causa/Efeitos

Como pode falhar?

Por que falha?

O que acontece quando falha?

3. Identificar os MF críticos

Índice de Risco (IR): Severidade, Probabilidades de Ocorrência e de Detecção

CINCO CONJUNTOS DE ELEMENTOS BÁSICOS DO FMEA

4. Hierarquização dos MF críticos pelo IR
5. Controle e acompanhamento

Para a decisão sobre as alterações práticas baseadas nas propostas do FMEA utilizar outras técnicas para ratificar a mudança, tal como avaliações estatísticas.

OBSERVAÇÕES IMPORTANTES

1. O FMEA não substitui o trabalho da Engenharia de Manutenção;
2. Nem todos os MF devem ter a atenção **(identificação dos críticos)**;
3. O FMEA não é ferramenta para elaboração de projeto IDEAL;
4. Os pesos relacionados com SEVERIDADE, PROBABILIDADES DE OCORRÊNCIA E DE DETECÇÃO devem ser reavaliados a cada intervenção que mude a estrutura anterior;

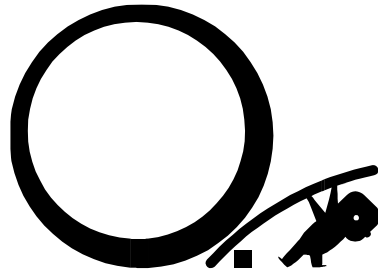


OBSERVAÇÕES IMPORTANTES

5. Um IR baixo pode indicar necessidade de intervenção
CORRETIVA ao invés de PREVENTIVA;
6. Para desenvolvimento do FMEA é necessário mais que UMA
reunião para consenso;
7. É fundamental a formação de equipe ECLÉTICA.

Principais Aplicações da FMEA

- ✓ Para diminuir a probabilidade da ocorrência de falhas em projetos de novos produtos;
- ✓ Para diminuir a probabilidade de falhas potenciais em produtos ou processos já em operação;
- ✓ Para aumentar a confiabilidade de produtos ou processos já em operação por meio da análise das falhas que já ocorreram (histórico);
- ✓ Para diminuir os riscos de erros e aumentar a qualidade em procedimentos administrativos.



Dificuldades encontradas para o desenvolvimento da FMEA:

- ✓ Relacionar CAUSAS E EFEITOS;
- ✓ Dificuldade de acesso aos dados pelas equipes;
- ✓ Restrição quanto a exposição de problemas;
- ✓ Restringir a tendência para decisões precipitadas;
- ✓ Monitorar os resultados após a implementação.

Vantagens para o desenvolvimento da FMEA:

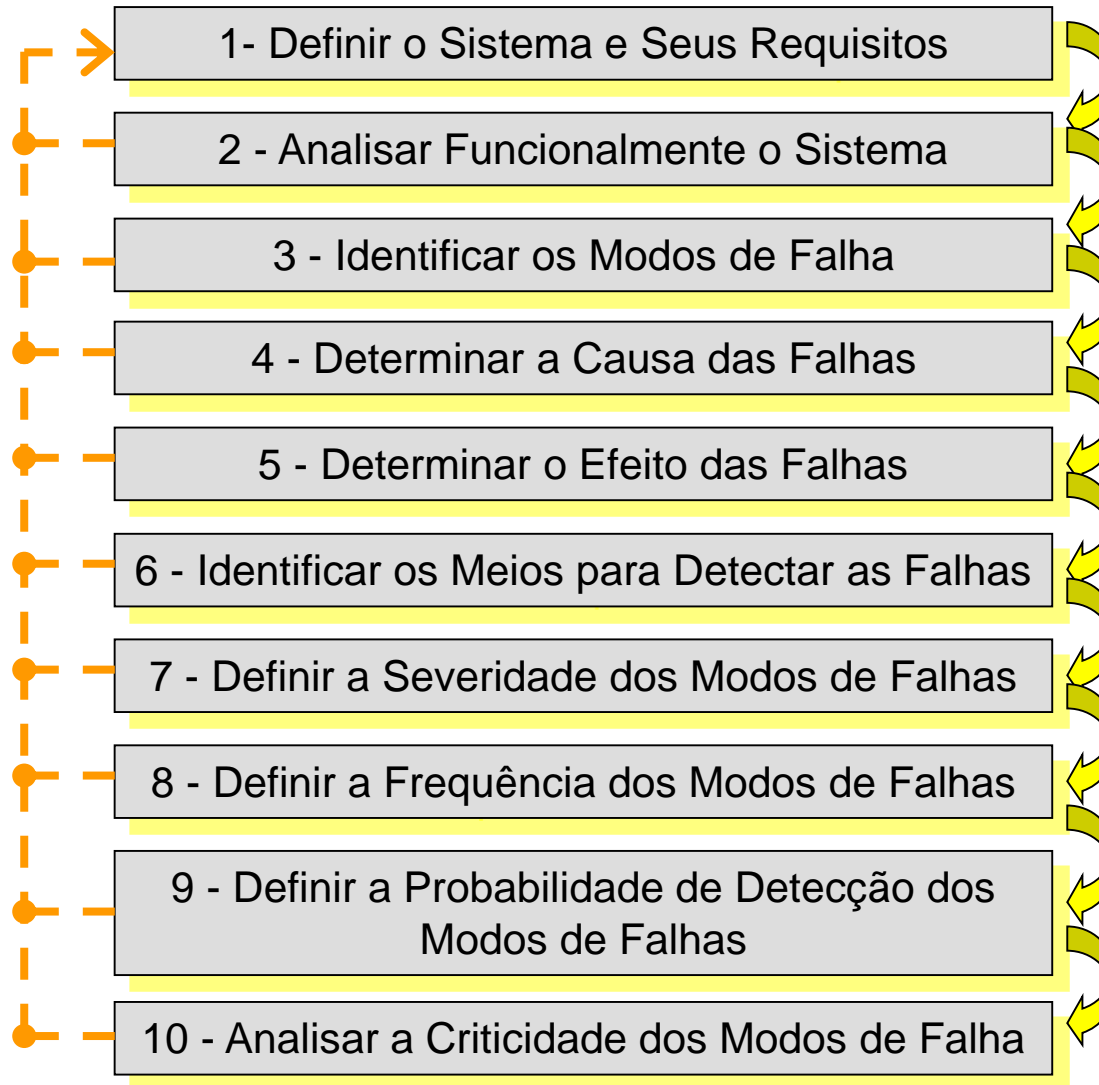
- ✓ Proporcionar uma visão sistêmica do complexo;
- ✓ Otimização das atividades das equipes de manutenção;
- ✓ Aperfeiçoamento dos Recursos Humanos;
- ✓ Melhora a percepção dos riscos;
- ✓ Subsídios a alocação de recursos;
- ✓ Redução de custos de produção e de manutenção;
- ✓ Melhoria Contínua (Qualidade Total).



A análise do **FMEA** deve contemplar principalmente:

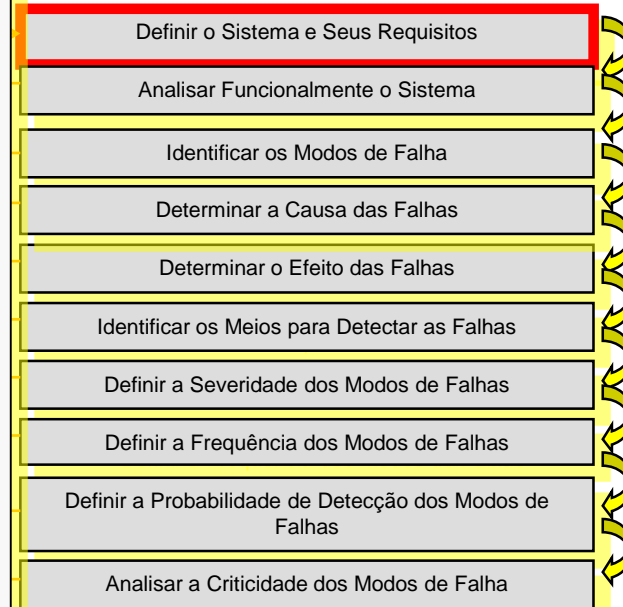
- ✓ Os componentes de alto risco;
- ✓ As atividades a serem desenvolvidas para providenciar ações corretivas;
- ✓ As considerações especiais de teste, pontos de inspeção de qualidade, ações de manutenção preventiva, restrições operacionais, vida útil e outras informações pertinentes;
- ✓ As atividades necessárias para minimizar o risco de falha.

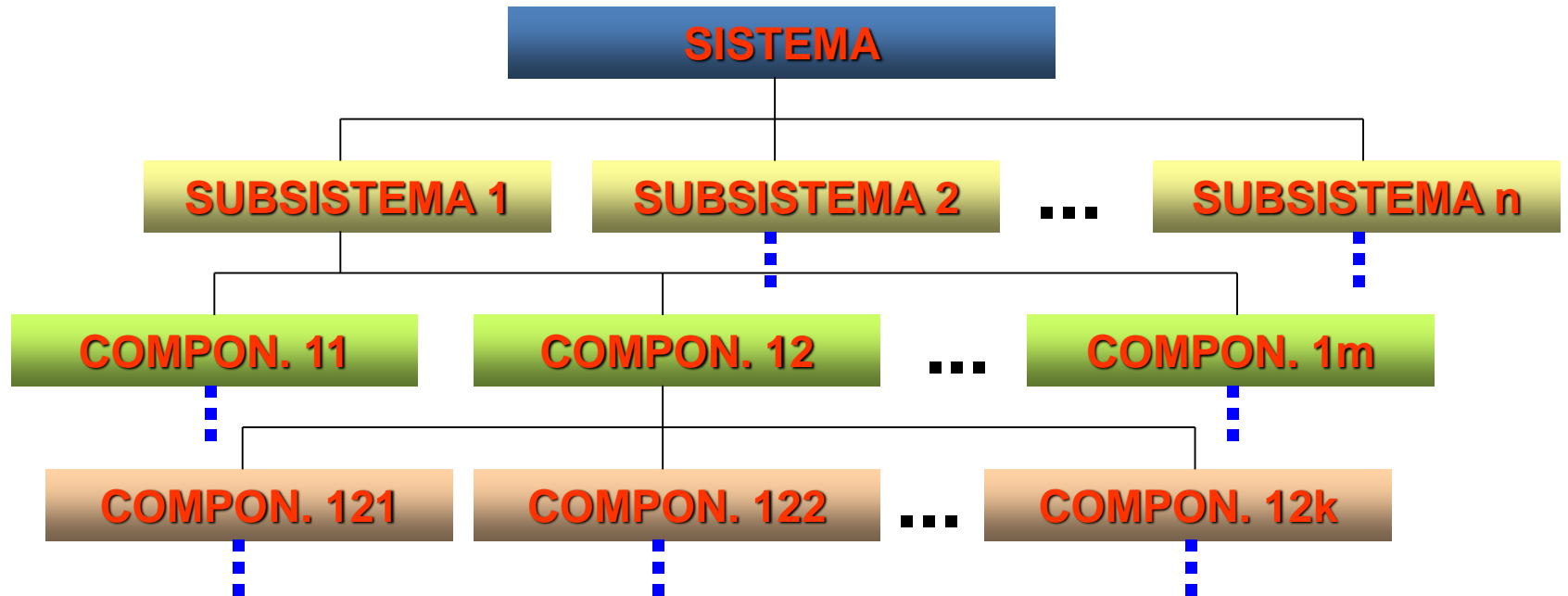
Passos para Elaboração do FMECA



1 - Definir o Sistema e Seus Requisitos

- ✓ Estabelecer o nível para análise;
- ✓ Determinação a hierarquização do sistema (subsistemas, componentes de 3º nível, componentes de 4º nível etc.);
- ✓ Estabelecer os objetivos operacionais (primários e secundários);
- ✓ Estabelecer os limites dos esforços ambientais e operacionais;
- ✓ Delinear as fases operacionais;
- ✓ Caracterizar as condições de operação que caracterizam o sucesso da operação do sistema;
- ✓ Caracterizar as macro-funções do sistema e suas interfaces (texto, plantas, diagramas, esquemas etc.);
- ✓ Qualificar os resultados indesejados;
- ✓ Identificar os fatores relevantes de desempenho e eficiência.





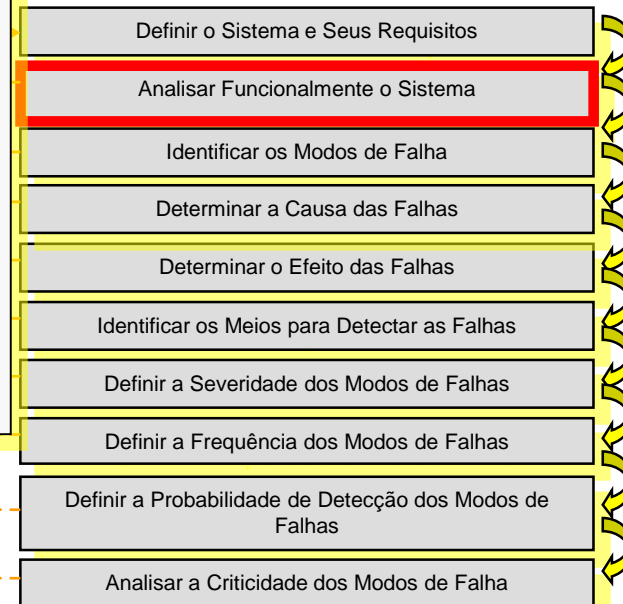
A quantidade de níveis depende do nível de detalhamento

2 - Analisar Funcionalmente o Sistema

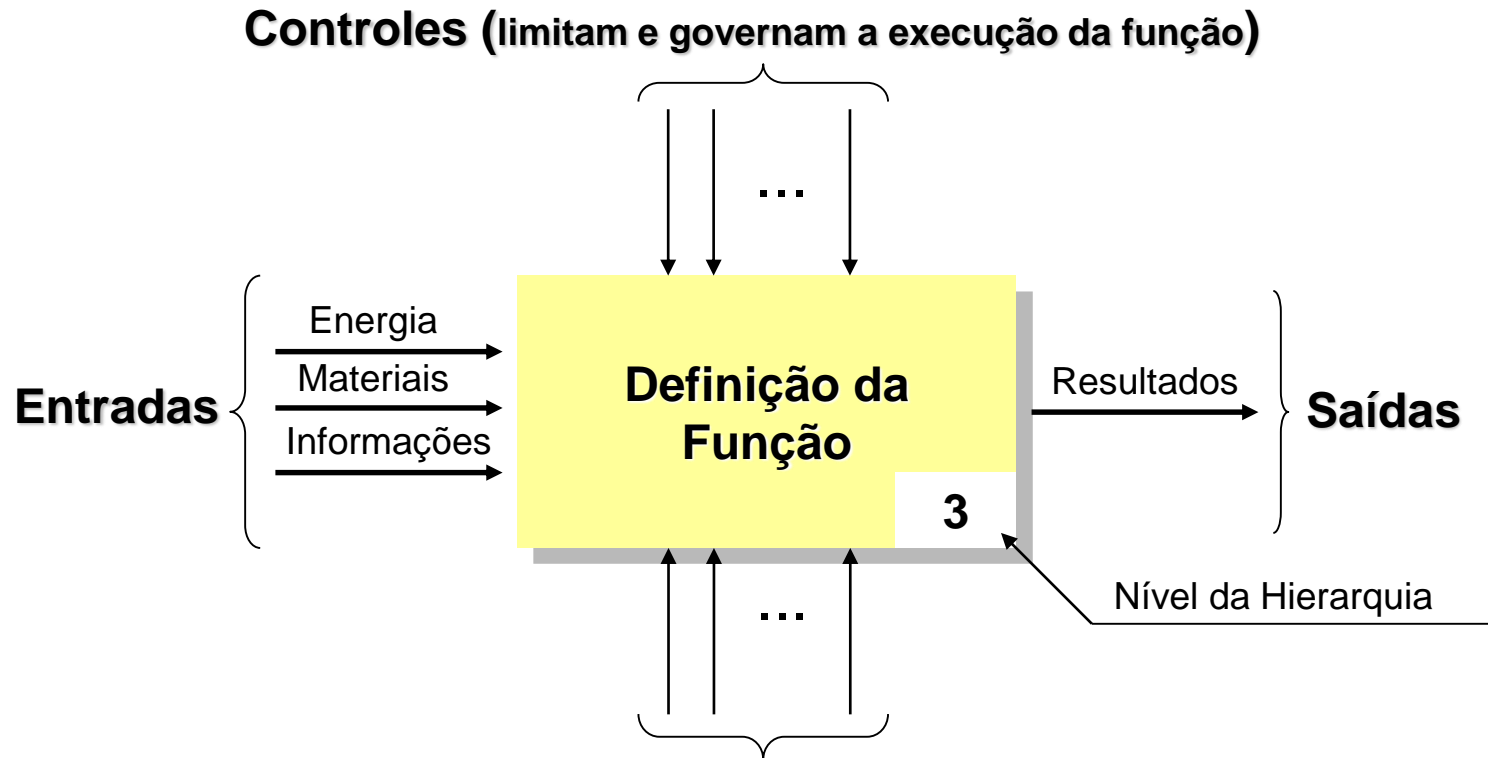
- ✓ Detalhar as funções do sistema;
- ✓ Decompor o sistema em blocos operacionais principais e definir as suas funções e recursos;
- ✓ Detalhar as atividades de manutenção refletindo a manutenibilidade do componente em relação a funcionalidade do sistema;

Obs.: estes dados servirão para subsidiar a criação de indicadores de desempenho e a definição do apoio logístico para atendimento da manutenção.

- ✓ Indicar as condições ambientais;
- ✓ Registrar os tempos necessários para as atividades, a necessidade de equipamentos etc.;
- ✓ Definir as interfaces entre os blocos.

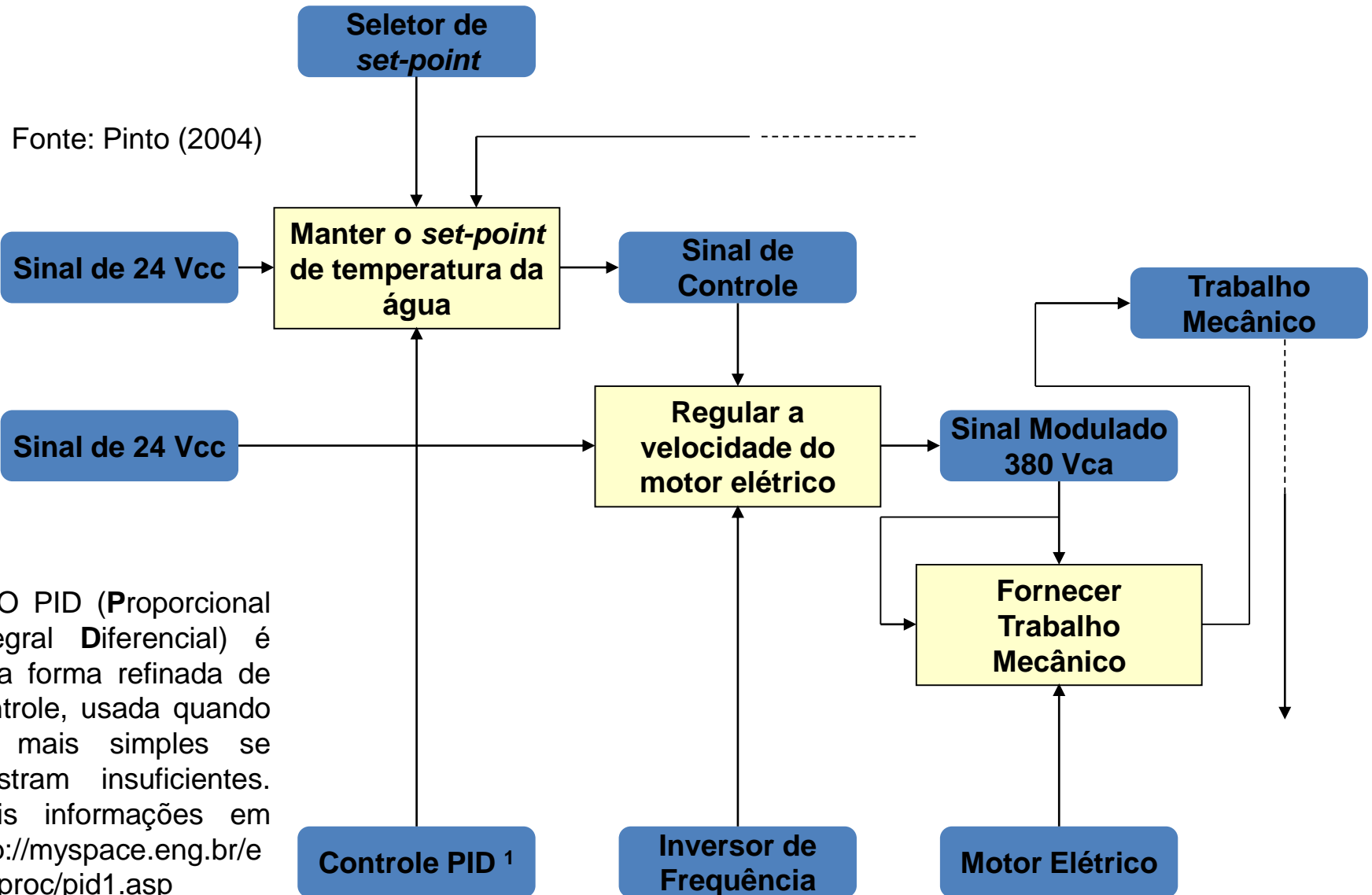


Indica as relações físicas e funcionais entre os componentes que compõem o sistema em estudo.



Mecanismos (pessoas, componentes, ferramentas e equipamentos)

Método SADT – *Standard Analysis and Design Technique* – Pinto (2004)



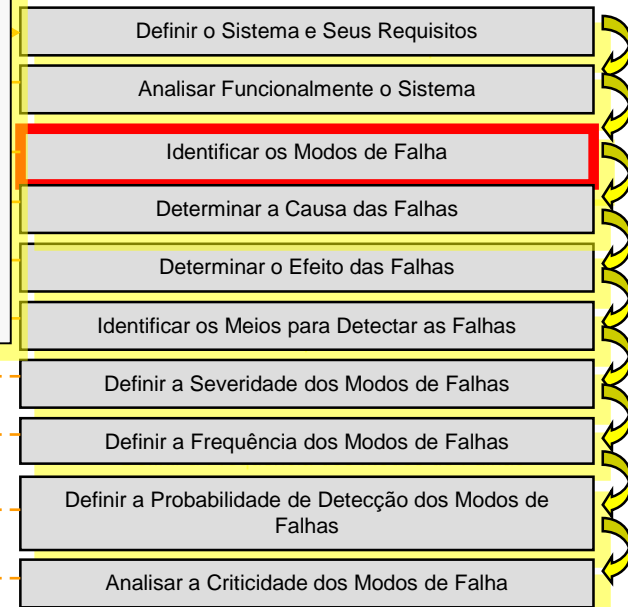
3 - Identificar os Modos de Falha

Relembrando >> MODO DE FALHA: é o modo pelo qual os elementos do sistema falham ao realizar sua função.

Exemplos >> chave falha ao abrir, trincas no bloco devido a esforço, AMV trava ao ser acionado.

Identificar todos os modos de falhas potenciais, tanto no componente como nas interfaces.

Devem ser identificados e descritos os seus efeitos no próprio, na função imediata (nível superior) do sistema e na operação do sistema.



4 - Determinar a Causa das Falhas

Esta fase envolve a análise do processo ou produto de modo a identificar a(s) causa(s) responsáveis pela ocorrência de qualquer falha particular.

Técnica para auxiliar: **Diagrama de Ishikawa** - Diagrama de Causa e Efeito.

Na medida do possível, lista-se cada causa/mecanismo de falha que possa ser concebido.

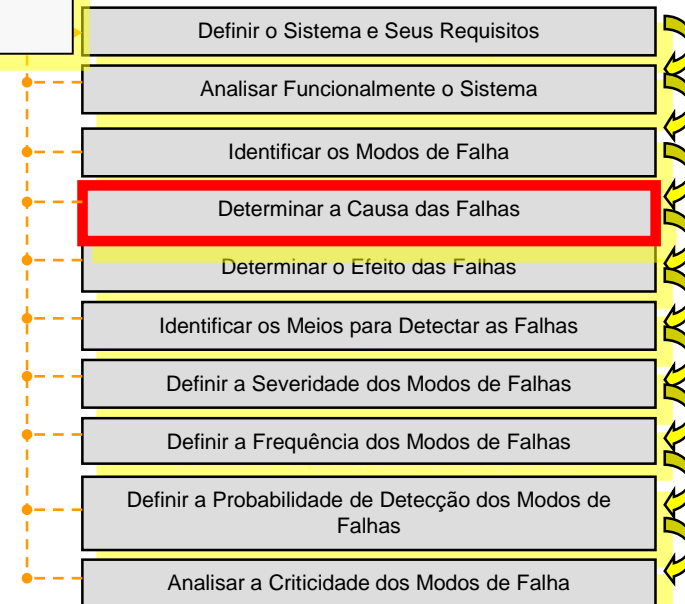
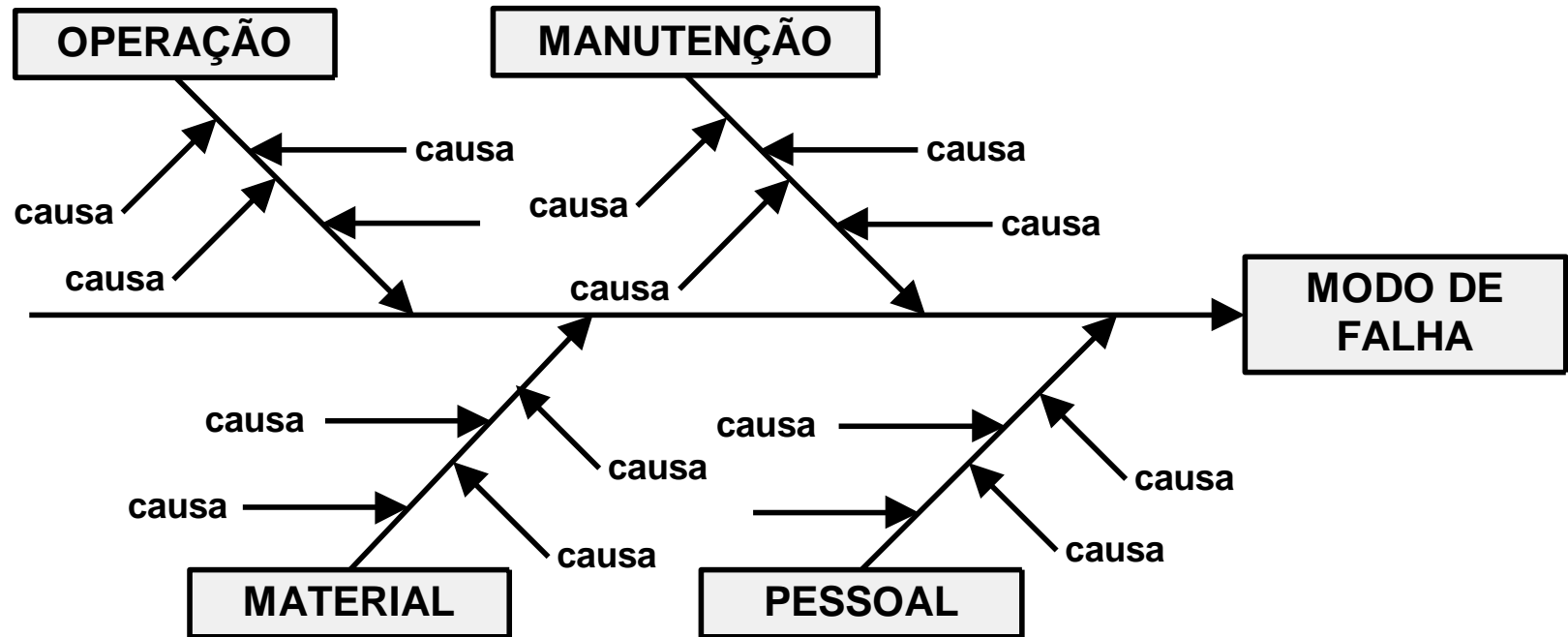


Diagrama de Espinha de Peixe (Diagrama de Ishikawa)

Utilizado para identificação estruturada de causas numa discussão aberta durante as reuniões.



Causas Típicas	Mecanismos Típicos
Especificação incorreta de material	Fadiga
Vida útil inadequada	Instabilidade elástica
Sobrecarga	Deformação
Lubrificação ineficiente	Corrosão
Proteção insuficiente ao meio ambiente	Desgaste

Modo de Falha	Efeito da Falha (local)	Causa da Falha
Rolamento travado	Parada da MK	<ul style="list-style-type: none"> ✓ especificação errada do lubrificante ✓ manutenção preventiva postergada ✓ qualidade do rolamento utilizado etc.

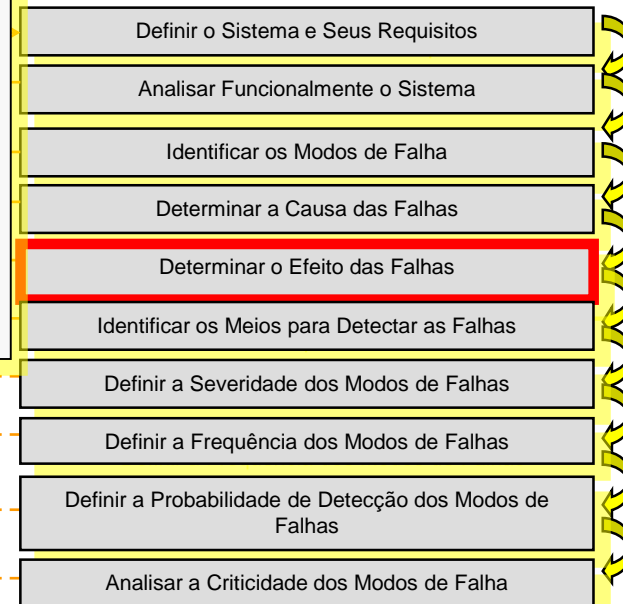
5 - Determinar o Efeito das Falhas

Os efeitos potenciais de falha são definidos como aqueles defeitos, resultantes dos modos de falha, que são percebidos pelo cliente interno e/ou externo.

Os efeitos devem ser avaliados em todos os níveis da hierarquia do sistema e não somente no elemento funcional sob análise.

Da mesma forma, deve-se considerar os efeitos nos processos subsequentes, analisando se o consumidor da próxima cadeia poderá ser afetado.

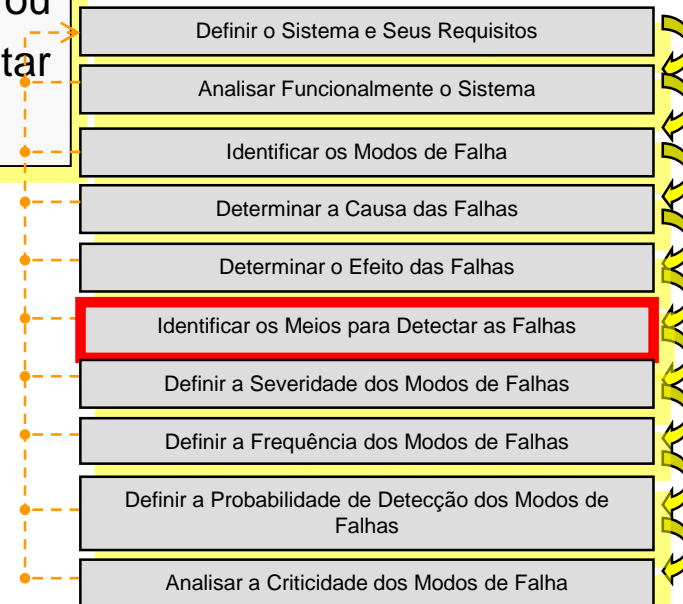
Exemplos >> ruído, operação errada, condição visual, olfativa e auditiva desagradável, instabilidade, operação intermitente, falta de operação etc..



6 - Identificar os Meios para Detectar as Falhas

No contexto da FMECA, refere-se ao controle do processo em uso, o qual pode detectar a ocorrência de falhas ou defeitos.

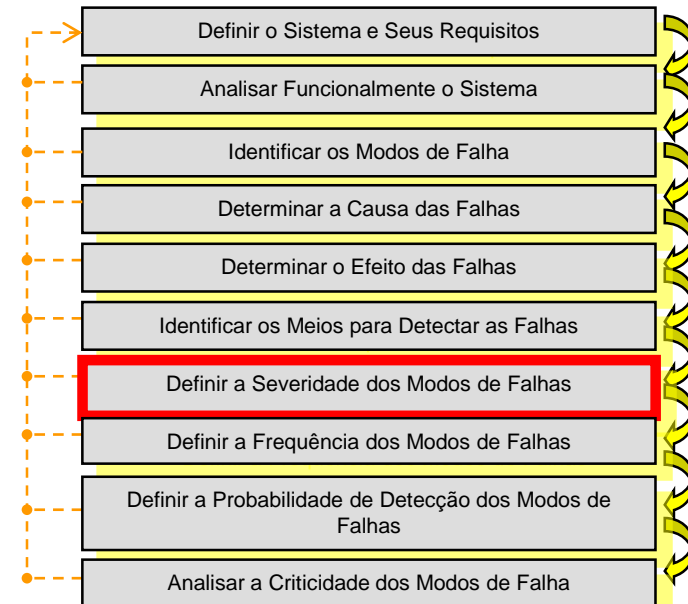
Entretanto, quando a FMECA está dirigida para o projeto, isto se refere a existência de qualquer característica de projeto, tais como indicadores, equipamentos de medição ou procedimentos de verificação que irão resultar na detecção de modos potenciais de falha.



7 - Definir a Severidade dos Modos de Falhas

Severidade no FMECA refere-se à gravidade do efeito ou impacto de um modo particular de falha.

São associadas às classificações valores numéricos, ou pesos, que quantificarão cada análise.



- De acordo com Ireson *et al.* (1988) a **severidade** pode ser classificada como:
- ✓ **Catastróficas**: podem provocar morte (de funcionários ou de usuários) ou perda da operacionalidade do sistema;
 - ✓ **Críticas**: podem causar sérios ferimentos em funcionários e usuários ou provocar sérios danos ao sistema com possibilidade de degradação do nível de serviço;
 - ✓ **Marginais**: podem causar pequenos ferimentos em funcionários e usuários, pequenos danos ao sistema com possibilidade de degradação do nível de serviço e
 - ✓ **Negligenciáveis**: não podem causar ferimentos ou danos para o sistema, necessitando apenas de uma ação corretiva.

A norma BS-5760 classifica a **severidade** do efeito da falha, conforme exposto a seguir:

- ✓ **Severidade 5**: quando a falha provoca destruição ou degradação definitiva do equipamento, com parada da capacidade funcional do equipamento e possibilidade de perda de vidas humanas;
- ✓ **Severidade 4**: quando a falha danifica o equipamento, provocando de 40% a 80% de perda da capacidade do sistema e provoca grandes ferimentos a funcionários e usuários e danos a longo prazo;

- ✓ **Severidade 3:** quando há degradação importante da funcionalidade do equipamento com aumento substancial do trabalho do operador, 10% a 40% de perda da capacidade do sistema e possibilidade de pequenos ferimentos com facilidade de recuperação das pessoas;
- ✓ **Severidade 2:** quando a falha provoca pequena degradação da condição funcional do equipamento, perda abaixo de 10% da capacidade do sistema e possibilidade de pequenos ferimentos à pessoas e
- ✓ **Severidade 1:** quando a falha não provoca efeito na capacidade funcional do equipamento e do sistema nem possibilidade de ferimento em pessoas.

Seixas (2001) e Lafraia (2001) classificam a **severidade** do efeito das falhas segundo a interferência desta no sistema:

- ✓ **Negligenciável:** não interfere no funcionamento do sistema, passando despercebido pelo usuário;
- ✓ **Baixa:** tem um leve efeito sobre o sistema, podendo haver leve deterioração do desempenho;
- ✓ **Moderada:** o modo de falha pode provocar insatisfação do usuário/cliente;
- ✓ **Alta:** pode provocar a parada do sistema, sem violar a segurança ou normas regulamentares do governo e
- ✓ **Muito alta:** pode afetar a segurança do sistema ou não cumpre com as normas regulamentares do governo.

Exemplo de Ponderação por Pesos

Severidade dos Efeitos dos Modos de Falhas		Pesos
Negligente	Este modo de falha não tem qualquer efeito sobre o sistema. O usuário provavelmente nem irá notar a falha.	1
Baixa	Este modo de falha somente tem um leve efeito sobre o sistema. O cliente/usuário somente irá notar uma leve deterioração do desempenho do sistema.	2 a 3
Moderada	Este modo de falha irá provocar uma certa insatisfação do usuário/cliente.	4 a 6
Alta	Este modo de falha irá provocar uma alta insatisfação do cliente, como por exemplo, um sistema inoperante. Sem, entretanto, violar a segurança ou normas regulamentares do governo.	7 a 8
Muito Alta	Este modo de falha afeta a função segurança do sistema ou não cumpre as normas regulamentares do governo.	9 a 10

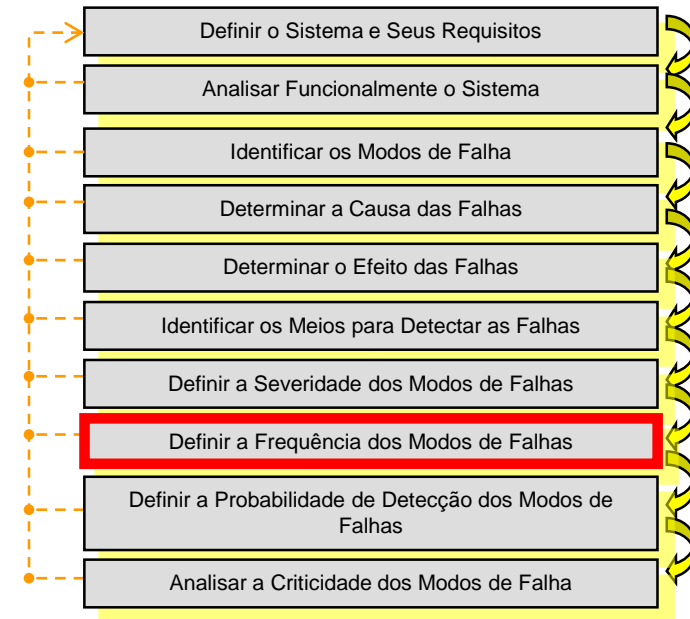
Fonte: Seixas (2001)



8 - Definir a Frequência dos Modos de Falhas

Neste passo analisar-se-á a frequência com que ocorrem as falhas.

São associadas às classificações valores numéricos, associados à taxa de falhas, que quantificarão cada análise.



Em referência à frequência das ocorrências do modo de falha, Ireson *et al.* (1988) a classificam como:

- ✓ nível A: frequente;
- ✓ nível B: razoavelmente provável;
- ✓ nível C: ocasional;
- ✓ nível D: remota e;
- ✓ nível E: improvável.

Seixas (2001) e Lafraia (2001) classificam a probabilidade de ocorrência de falha como remota, baixa, moderada, alta e muito alta.

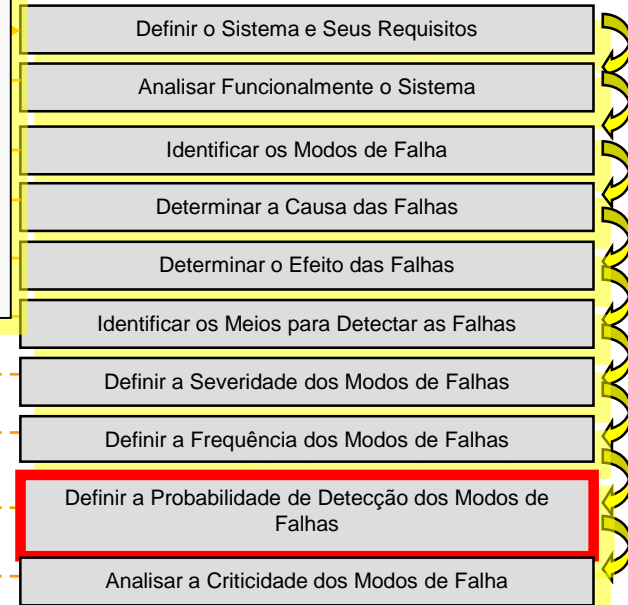
Exemplo de Ponderação por Taxa de Falhas

Frequência de Ocorrência dos Modos de Falhas		Pesos	λ
Remota	Falhas são Improváveis	1	< 1 em 10 ⁶
Baixa	Poucas Falhas	2 a 3	1 em 20.000 1 em 4.000
Moderada	Falhas Ocasionais	4 a 6	1 em 1.000 1 em 400 1 em 80
Alta	Falhas Repetitivas	7 a 8	1 em 40 1 em 20
Muito Alta	Falhas Quase Inevitáveis	9 a 10	1 em 8 1 em 2

Fonte: Seixas (2001)

9 - Definir a Probabilidade de Detecção dos Modos de Falhas

Refere-se a probabilidade que as características de projeto e os procedimentos de verificação irão detectar modos potenciais de falha a tempo de prevenir uma falha a nível de sistema. Quando esta análise está orientada para o processo, refere-se a probabilidade de que um conjunto de controles de processo tem condições de detectar e isolar uma falha antes que esta se transfira para o processo subsequente ou para o cliente/consumidor final.



Exemplo de Ponderação por Pesos

Probabilidade de Detecção dos Modos de Falhas		Pesos
Muito Alta	Procedimentos de verificação (PV) do projeto ou controle do processo (CP) em uso irão certamente detectar o modo potencial de falha.	1 a 2
Alta	PV ou CP tem uma boa chance de detectar um modo potencial de falha.	3 a 4
Moderada	PV ou CP pode detectar um modo potencial de falha	5 a 6
Baixa	PV ou CP provavelmente não irá detectar um modo potencial de falha.	7 a 8
Muito Baixa	PV ou CP tem uma probabilidade muito baixa de detectar um modo potencial de falha.	9
Certeza de não Detectar	PV ou CP não irá detectar um possível modo potencial de falha.	10

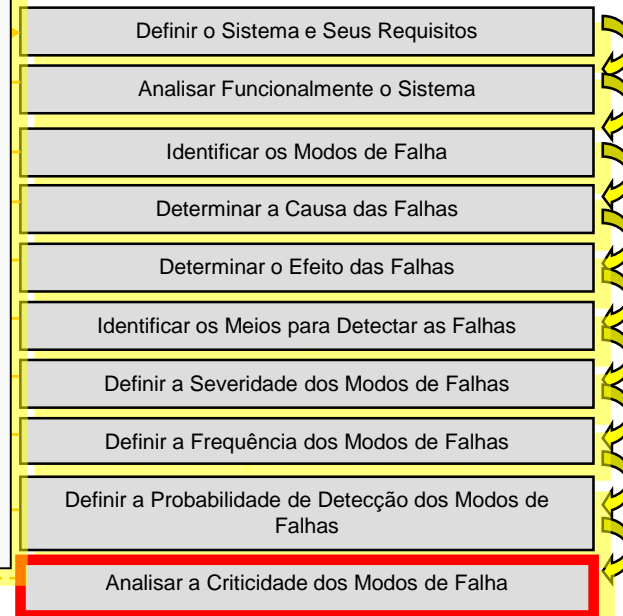
Fonte: Seixas (2001)

10 - Analisar a Criticidade dos Modos de Falha

A criticidade de um componente que compõe um sistema é uma medida de sua importância no funcionamento do mesmo. Baseia-se na análise das condições operacionais dos componentes, objetivando a segurança e a operacionalidade do sistema.

As normas MIL-STD-1629A e BS 5760 definem "**criticidade**" como uma medida relativa das consequências e a frequência de ocorrência das falha. Estas normas definem "**análise de criticidade**" como um procedimento para listar modos de falha, de forma hierarquizada, combinando a influência da severidade e a probabilidade da ocorrência.

Lafraia (2001) define "**análise de criticidade**" ou **análise de risco** como o processo ou procedimento para identificar, caracterizar, quantificar e avaliar os riscos e seu significado.

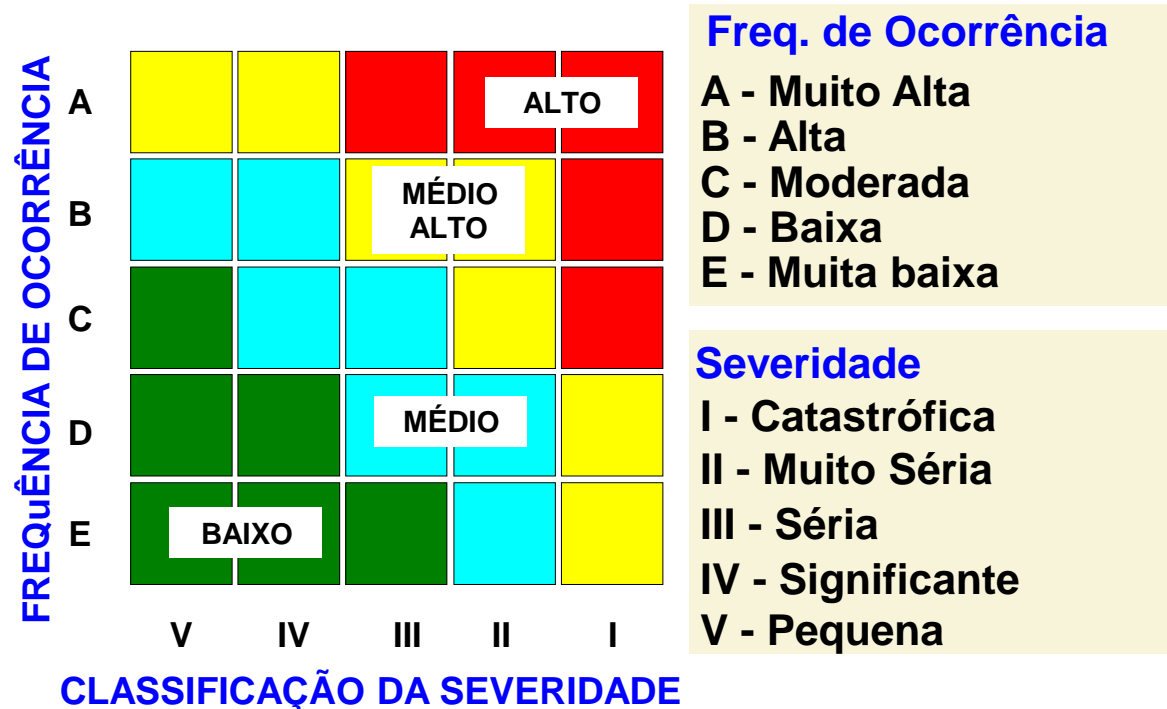


A métrica RPN (*Risk Priority Number*) ou IR (*Risk Index*), utilizado na indústria automobilística, é dada por:

$$\text{RPN} = \text{Peso da Severidade} \times \text{Peso da Frequência} \times \text{Peso de Detecção}$$

Cada um dos modos de falha identificados deve ser avaliado em termos da **pior consequência potencial** que possa resultar em uma classificação em termos de categoria de severidade. Ou seja, **um determinado modo de falha pode ter várias consequências, e o mesmo deverá ser classificado pela classificação da consequência mais crítica de todas.**

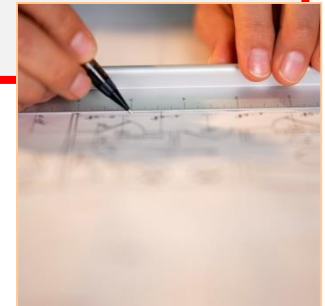
Pode-se criar uma classificação para qualificar o nível de criticidade de acordo com o resultado obtido no RPN. Um exemplo é proposto por Seixas (2001):



Mesmo depois do término do mapeamento dos modos de falhas, necessita-se dar-se continuidade ao processo, atualizando-se os procedimentos, roteiros e rotinas de operação e de manutenção.



Deve-se ainda confrontar-se as falhas potenciais registradas no FMEA com as que ocorrem no dia-a-dia, permitindo-se assim a reavaliação dos projetos existentes e correção de outros novos.



1) Exercício Proposto

Estruturar o formulário FMECA

Propostas de Sistemas para Avaliação (parte):

- ✓ Grade ferroviária;
- ✓ Material rodante;
- ✓ Sinalização;
- ✓ Energia.

Obs.: determinar 2 funções, esgotando os itens do formulário em discussões no grupo.

MÉTODO PARA ANÁLISE DOS MODOS FALHAS E SEUS EFEITOS

Obrigado!

*LABFER - Laboratório para Ensino e Pesquisa de Engenharia
Ferroviária no Estado do Rio de Janeiro*

INSTITUTO MILITAR DE ENGENHARIA
Praça General Tibúrcio, 80 - Praia Vermelha. CEP: 22.290-270 Rio de
Janeiro – RJ. Telefone: (21) 3820-4199. www.ime.eb.br

