

## MANUTENÇÃO CENTRADA NA CONFIABILIDADE

Estabelecendo a Política de Manutenção com Base nos Mecanismos de Falha dos Equipamentos

Eduardo de Santana Seixas  
Consultor da Reliasoft Brasil

Manutenção Centrada na Confiabilidade (RCM – Reliability Centred Maintenance) é a aplicação de um método estruturado para estabelecer a melhor estratégia de manutenção para um dado sistema ou equipamento. Esta começa identificando a funcionalidade ou desempenho requerido pelo equipamento no seu contexto operacional, identifica os modos de falha e as causas prováveis e então detalha os efeitos e conseqüências da falha. Isto permite avaliar a criticidade das falhas e onde podemos identificar conseqüências significantes que afetam a segurança, a disponibilidade ou custo. A metodologia permite selecionar as tarefas adequadas de manutenção direcionadas para os modos de falha identificados.

As estratégias de manutenção em vez de serem aplicadas independentemente são integradas para tirarmos vantagens de seus pontos fortes de modo a otimizar a operacionalidade e eficiência da instalação e dos equipamentos, enquanto minimizamos o custo do ciclo de vida.

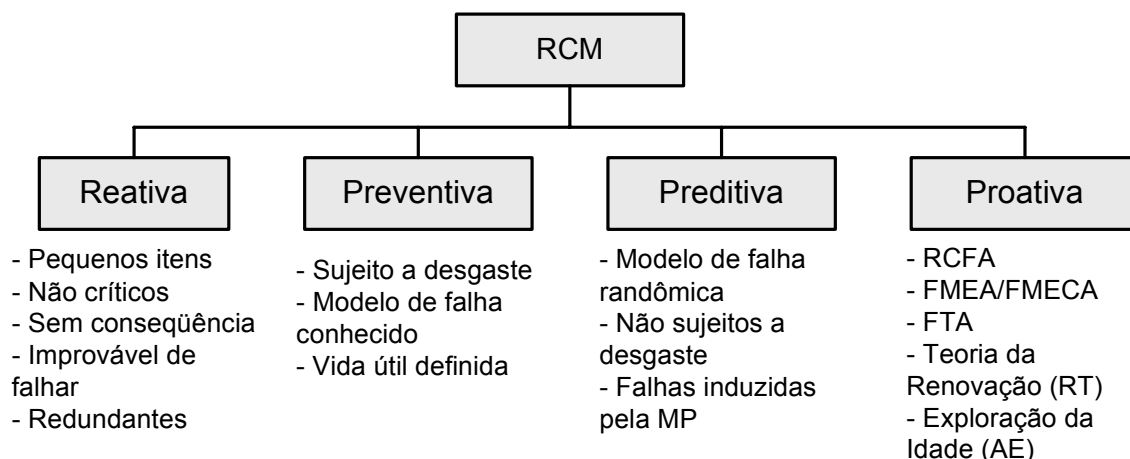


Fig. 1 – Componentes de um Programa de RCM

### Histórico

A análise das políticas de manutenção na indústria da aviação civil na década de 60 e no início dos anos 70 conduziu ao desenvolvimento dos conceitos da Manutenção Centrada na Confiabilidade. Os princípios e aplicações da RCM foram documentados na publicação de Nowlan and Heap intitulada “Manutenção Centrada na Confiabilidade”. O trabalho demonstrou que a forte correlação entre idade (tempo) e falha não existia e a premissa básica da manutenção com base no tempo (manutenção preventiva sistemática) era falsa para a grande maioria dos equipamentos.

## Característica das Falhas

A curva da taxa de falhas cai em seis tipos básicos (eixo vertical – taxa de falhas e eixo horizontal – tempo). A percentagem de equipamentos, de acordo com os seis modelos apresentados abaixo, foi determinada em quatro estudos: UAL- United Air Lines, BROMBERG, US NAVY (Navio) e US NAVY (Submarino).

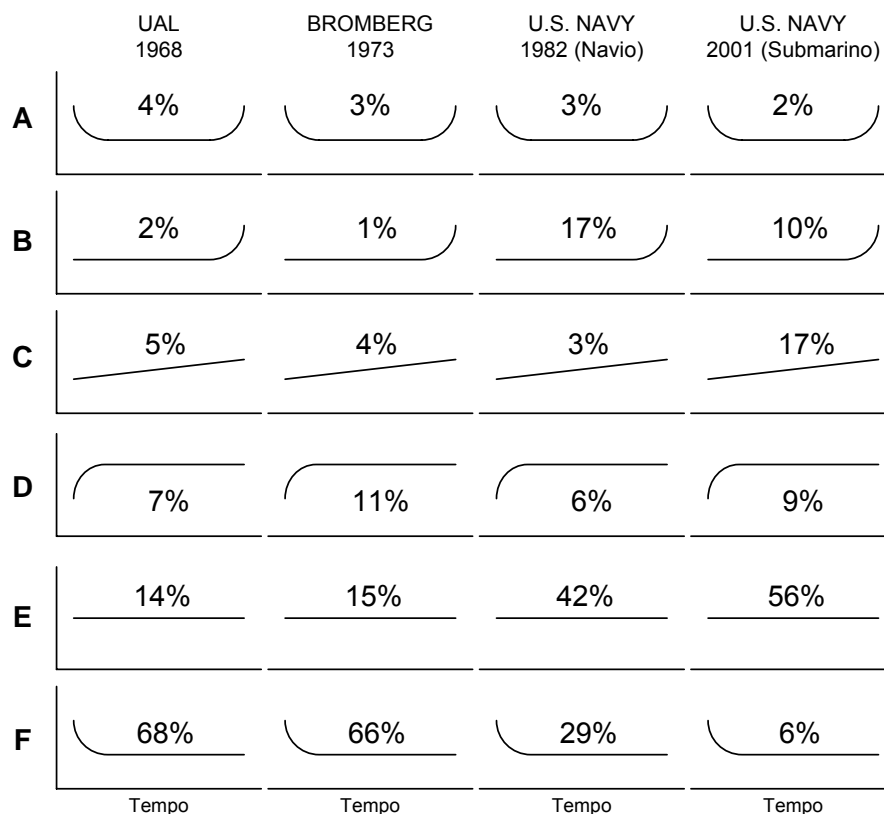


Fig. 2 – Taxa da Falha versus Tempo

As curvas A e B são típicas de pequenas peças e itens simples tais como pneus, lâminas de compressores, sapatas de freio e partes estruturais. Itens mais complexos têm as curvas de probabilidade condicional dos tipos C, D, E e F.

### Aplicando a Manutenção Centrada na Confiabilidade (RCM)

A RCM quando adequadamente conduzida deverá responder a 7 (sete) perguntas:

- 1 - Quais as funções do sistema/equipamento e os padrões de desempenho associados?
- 2 - Como o sistema pode falhar ao realizar essas funções?
- 3 - O que pode causar a falha funcional?
- 4 - O que acontece quando uma falha ocorre?
- 5 - Quais podem ser as conseqüências quando da ocorrência da falha?
- 6 - O que pode ser feito para detectar e prevenir a ocorrência da falha?
- 7 - O que deverá ser feito se uma tarefa de manutenção não pode ser identificada?

Basicamente, as seguintes ferramentas e áreas de conhecimento são empregadas para desempenhar a análise da RCM.

- FMEA / FMECA (Modos de Falha e Análise dos Efeitos / Modos de Falha, Efeito e Análise da Criticidade). Esta ferramenta analítica ajuda a responder as perguntas de 1 a 5.
- Fluxo do Diagrama de Decisão da RCM. Este diagrama auxilia na resposta das perguntas 6 e 7.
- Projeto, engenharia e conhecimento operacional do equipamento.
- Técnicas de monitoramento da condição.
- Tomada de decisão com base no risco, isto é: a frequência e consequência de uma falha em termos do impacto sobre a segurança, ambiente e operações.

Documentação e implementação são os passos finais para formalizar este processo e os seguintes pontos devem ser considerados:

- Análise e tomada de decisão
- Melhoramento contínuo com base na experiência da manutenção e operação.
- Auditoria clara dos caminhos das ações tomadas pela manutenção e maneiras de melhorá-las.

Uma vez que esteja documentado e implementado, este processo será um sistema efetivo para assegurar operações confiáveis e seguras de um sistema ou equipamento.

### Hierarquização de um Sistema

Um ponto básico para a análise da RCM é a hierarquização do sistema a ser analisado, ou seja, a identificação do sistema, subsistema, item, componente e peça.

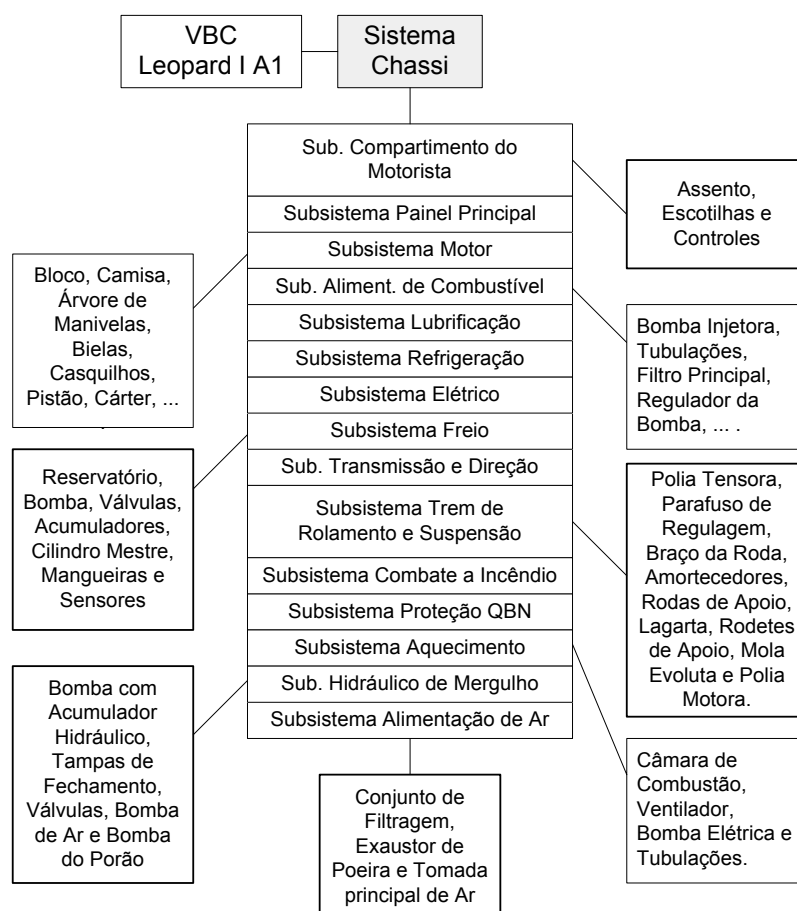


Fig. 3 – Hierarquia da Viatura Blindada de Combate (VBC) - Chassi

## Falha dos Equipamentos e Sistemas

A combinação de uma ou mais falhas de um equipamento e/ou erros humanos causa a perda da função do sistema. Os seguintes fatores geralmente influenciam a falha dos equipamentos:

- Erro de Projeto
- Falha de Material
- Fabricação e/ou Construção Inadequada
- Operação Inadequada
- Manutenção Inadequada
- Erros de Manutenção (erro humano)

Notar que a manutenção não influencia muito desses fatores. Portanto, a manutenção é meramente uma das muitas abordagens para melhorar a confiabilidade do equipamento, por conseguinte, a confiabilidade do sistema. A RCM foca a análise na redução de falhas resultantes de manutenção inadequada. Assim como, auxilia na identificação de falhas prematuras dos equipamentos introduzidas pelos erros de manutenção. A análise da RCM pode recomendar mudanças ou modificações de projeto e/ou melhoramentos operacionais quando a confiabilidade do equipamento não pode ser assegurada através da manutenção. Para desenvolver um gerenciamento efetivo das falhas, a estratégia deve estar baseada no entendimento dos mecanismos de falha.

## Modelos e Taxa de Falha dos Equipamentos

Uma distribuição matemática utilizada para representar as falhas de equipamentos é a Distribuição de Weibull. Esta distribuição é utilizada para representar falha:

- Devido à mortalidade infantil (dominada pelos pontos fracos de fabricação e erros de partida, instalação e manutenção).
- Aleatórias (dominada pelas falhas inesperadas causadas por esforços repentinos, condições extremas, erros humanos,...).
- Por desgaste (dominado pelo fim da vida de uso do equipamento).

Esta informação ajuda na determinação de uma estratégia de manutenção adequada. A análise dos dados de falha, utilizando a Distribuição de Weibull, vai nos ajudar no estabelecimento do intervalo para certos tipos de tarefas de manutenção. Outra medida associada com essa distribuição é o Tempo Médio Para Falhar (TMPF).

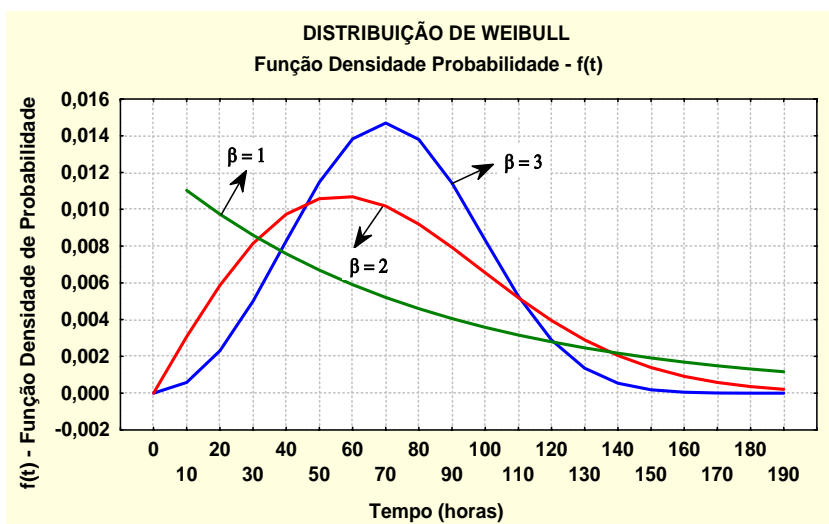


Fig. 4 – Forma das Curvas  
 $\beta < 1$  representa falhas por mortalidade infantil.  
 $\beta = 1$  representa falhas aleatórias  
 $\beta > 1$  representa falhas por desgaste

### Políticas de Manutenção

A manutenção envolve atividades diretamente ligadas à prevenção e a predição de falhas (manutenção preventiva e preditiva) e a correção de falhas (manutenção corretiva).

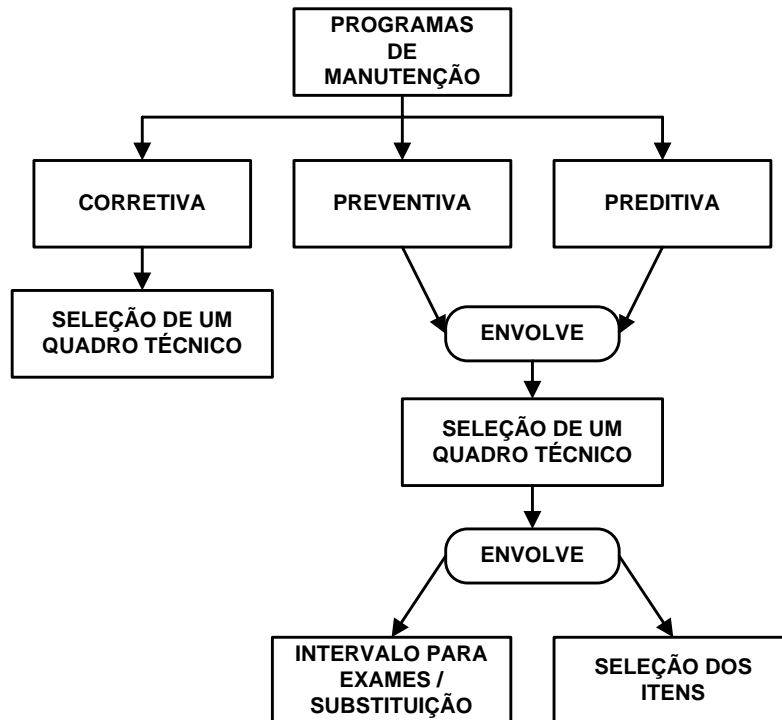


Fig. 5 – Políticas de Manutenção

O problema de planejar a manutenção preventiva envolve: a seleção de um quadro de técnicos necessários para manter o sistema, os quais estão relacionados com a determinação do tempo entre inspeções periódicas, e a seleção dos itens que irão receber manutenção preventiva e preditiva. Todos os três aspectos combinam ainda com o custo da manutenção para um determinado nível de operação do sistema.

Para manter um determinado equipamento num nível desejado de operação é necessário que se faça uma rotina regular de inspeções ou exames, de modo que se possa determinar se o equipamento se encontra ou não em condições satisfatórias de uso. Pode-se, também, desempenhar inspeções preventivas periódicas e reparos sob uma lista programada de componentes para reduzir o tempo de paralisação do equipamento devido às falhas.

## Considerações de Risco

Risco é o produto do número de vezes (frequência) que um evento perda ocorre pela severidade do efeito (conseqüência). O impacto das perdas pode ser expresso em termos da combinação do impacto do evento sobre as seguintes conseqüências:

- Investimento de Capital. Danos e custo do reparo de equipamentos.
- Comunidade. Efeito sobre o público.
- Controle Direcional. Perda completa ou redução da capacidade de manobra.
- Explosão ou fogo. Danos aos equipamentos.
- Perda de Contaminantes. Quantidade de substâncias perigosas que passam para o meio ambiente (custo de limpeza).
- Operações. Perda da eficiência, atrasos da missão, adiamentos indesejáveis, inoperância localizada,...
- Propulsão. Perda completa ou redução da capacidade de propulsão.
- Segurança. Número de pessoas afetadas (feridos e mortos).

Tendo identificado o risco de um evento perda devemos estabelecer medidas para evitar e/ou mitigar a extensão do risco de modo que possamos reduzi-lo para um nível aceitável.

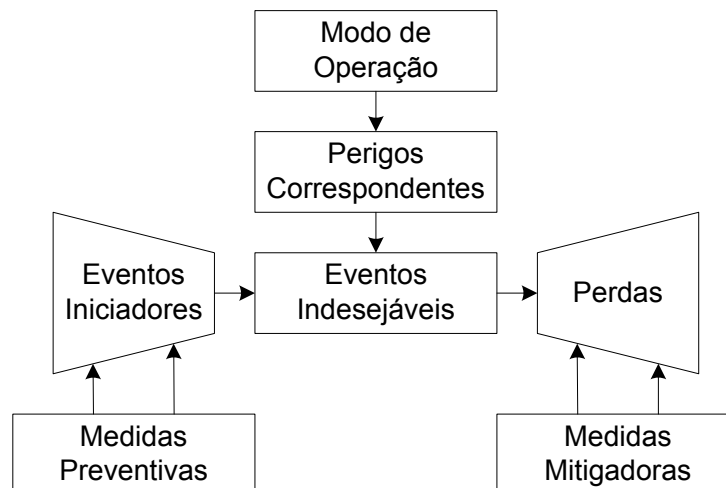


Fig. 6 – Modelo Geral de Risco

## Inspeções Preditivas

Uma grande variedade de tecnologias (vide Fig. 7 - abaixo) pode ser utilizada para avaliar as condições de sistemas e equipamentos para determinar o tempo mais efetivo para programar e desempenhar a manutenção. Os dados obtidos permitem desenvolver uma avaliação da degradação de um sistema ou equipamento. Essas técnicas podem também ser utilizadas para avaliar a qualidade de equipamentos novos ou recuperados.

Abaixo podemos observar as diversas tecnologias, que podem incluir tanto métodos intrusivos como métodos não-intrusivos, atualmente em uso e onde podem ser aplicadas. A abordagem inclui:

- Análise e Monitoramento da Vibração
- Termografia Infravermelha
- Detecção de Ruído Ultrasônico
- Análise do Lubrificante e das Partículas
- Monitoramento das Condições Elétricas
- Testes Não-Destrutivos

Podem ser aplicados em bombas, motores elétricos, geradores diesel, condensadores, guindastes, equipamentos pesados, disjuntores, válvulas, permutadores de calor, sistemas elétricos, tanques, tubulações,...

TECNOLOGIAS	INSPEÇÕES										
	APLICAÇÕES										
	BOMBAS	MOTORES ELÉTRICOS	GERADORES DIESEL	CONDENSADORES	EQUIPAMENTOS PESADOS / GUINDASTES	DISJUNTORES	VÁLVULAS	PERMUTADORES DE CALOR	SISTEMAS ELÉTRICOS	TRANSFORMADORES	TANQUES E TUBULAÇÃO
ANÁLISE E MONITORAMENTO DA VIBRAÇÃO	●	●	●		●						
ANÁLISE DO ÓLEO LUBRIFICANTE	●	●	●		●					●	
ANÁLISE DE PARTÍCULAS	●	●	●		●						
ANÁLISE TEMPERATURA DOS MANCAIS	●	●	●		●						
MONITORAMENTO DO DESEMPENHO	●	●	●	●				●		●	
DETECÇÃO DE RÚIDO ULTRASÔNICO	●	●	●	●			●	●	●	●	
FLUXO ULTRASÔNICO	●			●			●	●			
TERMOGRAFIA INFRAVERMELHA	●	●	●	●	●		●	●	●	●	
TESTE NÃO DESTRUTIVO (ESPESSURA)				●				●			●
INSPEÇÃO VISUAL	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●
ÍNDICE DE POLARIZAÇÃO		●	●						●		
RESISTÊNCIA DE ISOLAMENTO		●	●			●			●	●	
ANÁLISE DA ASSINATURA DA CORRENTE DE MOTORES		●									
ANÁLISE DO CIRCUITO DE MOTORES		●				●			●		
MONITORAMENTO ELÉTRICO									●	●	

Fig. 7 – Tecnologias Preditivas

## Processo RCM

Abaixo apresentamos os passos a serem seguidos para o desenvolvimento da RCM.

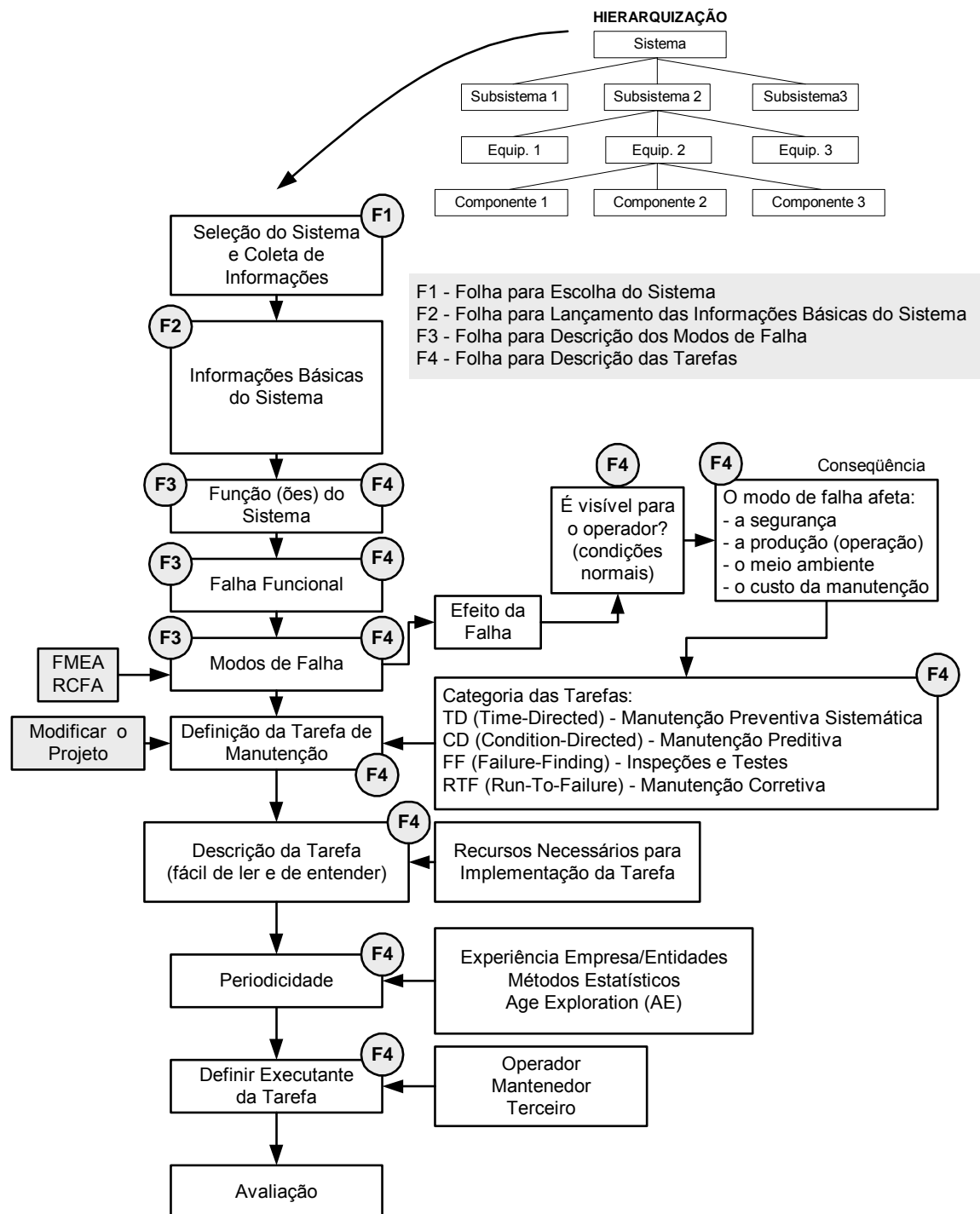


Fig. 8 – O Processo para Desenvolvimento da RCM

## Diagrama Lógico

O diagrama é utilizado para acompanhar os seguintes pontos:

- Identificar os componentes no sistema/equipamento que são críticos em termos de missão e/ou segurança.
- Fornecer um processo lógico de análise para determinar a praticabilidade e a qualidade desejável das tarefas de manutenção programada a serem definidas.
- Fornecer apoio para justificar as tarefas de manutenção programada.

As tarefas de manutenção programada deverão ser desempenhadas em componentes não-críticos somente quando o desempenho destas tarefas seja um custo efetivo com base nos recursos de manutenção e apoio.

As tarefas de manutenção programada deverão ser desempenhadas sobre itens críticos de modo a evitar qualquer redução confiabilidade, segurança ou desempenho da missão.

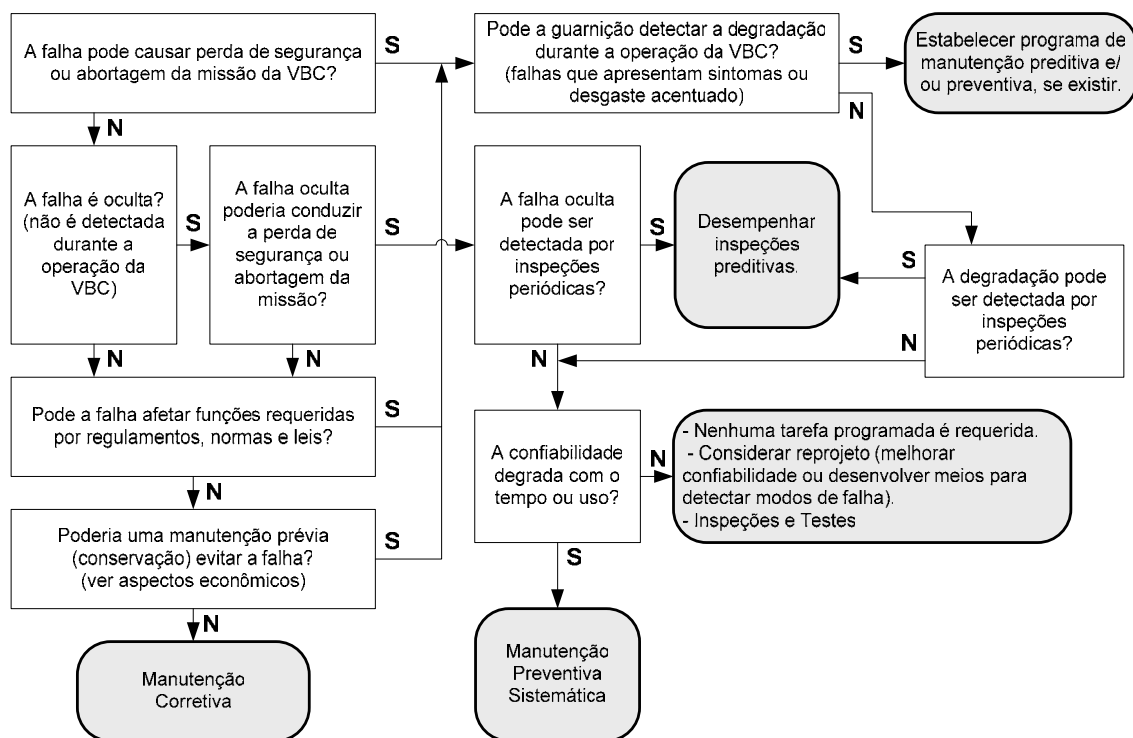


Fig. 9 – Diagrama Lógico da RCM

A aplicação da RCM conduz muitas vezes a mudanças nas atividades de manutenção, tais como:

- Mudanças nas tarefas “baseada no tempo de operação do equipamento” para “baseada nas condições do equipamento”.
- Mudança no conteúdo das tarefas correntes e/ou na frequência das tarefas.
- Adição de novas tarefas.
- Exclusão de tarefas.
- Modificação de projeto.

## **Colocação**

O objetivo deste trabalho é de apresentar os conceitos básicos de RCM (Reliability Centered Maintenance), assim como, a aplicação simplificada da metodologia em alguns itens, presentes no chassi, da VBC (Viatura Blindada de Combate) Leopard I A1.

A aplicação, não foi colocada no trabalho, pois foi desenvolvida utilizando o software RCM ++ da Reliasoft.

## **Bibliografia**

- 1-Guide to Reliability Centered Maintenance (RCM) for Fielded Equipment – Department of Army Pamphlet 750-40
- 2-Manutenção Centrada na Confiabilidade – Qualytek e Reliasoft do Brasil – Abril 2003
- 3-Guidance Notes on Reliability-Centered Maintenance – ABS Americamn Bureau of Shipping – July 2004
- 4-Reliability Centered Maintenance Guide for Facilities and Collateral Equipment - National Aeronautics and Space Administration – NASA - February 2000