



LUIZ HENRIQUE CONTATO

**ASPECTOS DIFERENCIAIS DA MANUTENÇÃO CENTRADA  
NA CONFIABILIDADE (RCM)**

---

Santa Bárbara D'Oeste  
2020

LUIZ HENRIQUE CONTATO

**ASPECTOS DIFERENCIAIS DA MANUTENÇÃO CENTRADA  
NA CONFIABILIDADE (RCM)**

Trabalho de Conclusão de Curso apresentado à Faculdade Anhanguera de Santa Bárbara D'Oeste, como requisito parcial para a obtenção do título de graduado em Engenharia Mecânica.

Orientador: Carla Marins Assis Palma

LUIZ HENRIQUE CONTATO

**ASPECTOS DIFERENCIAIS DA MANUTENÇÃO CENTRADA  
NA CONFIABILIDADE (RCM)**

Trabalho de Conclusão de Curso apresentado à Faculdade Anhanguera de Santa Bárbara D'Oeste, como requisito parcial para a obtenção do título de graduado em Engenharia Mecânica.

**BANCA EXAMINADORA**

---

Prof(a). Titulação Nome do Professor(a)

---

Prof(a). Titulação Nome do Professor(a)

---

Prof(a). Titulação Nome do Professor(a)

Santa Bárbara D'Oeste, 06 de Junho de 2020

Dedico este trabalho ao meu pai, que me ensinou a ser quem sou hoje, a minha segunda mãe, que mesmo não sendo de sangue, cuidou de mim como ninguém, a minha linda esposa que sempre me motivou e principalmente a minha mãe biológica, que mesmo partindo cedo, me ensinou valores que jamais serão esquecidos.

“O sucesso é ir de fracasso em fracasso sem  
perder entusiasmo.”

Winston Churchill

CONTATO, Luiz Henrique. **ASPECTOS DIFERENCIAIS DA MANUTENÇÃO CENTRADA NA CONFIABILIDADE (RCM)**. 2020. 30 folhas. Trabalho de Conclusão de Curso (Graduação em Engenharia Mecânica) – Faculdade Anhanguera, Santa Bárbara D'Oeste, 2020.

## **RESUMO**

Atualmente, as indústrias enfrentam crescentes pressões e demandas para se manterem competitivas no mercado global. Entre as iniciativas para trazer um diferencial competitivo para a empresa, está a otimização de seus processos, incluindo os processos que não fazem parte da competência central da empresa. A indústria enfrenta desafios relacionados à confiabilidade, segurança e custo-benefício. Existem estratégias de manutenção após falhas, baseado no tempo ou em condição, contudo, nenhuma delas é ideal para todos os casos. Com isso surgiu Manutenção Centrada em Confiabilidade (RCM) que é uma técnica sistemática para determinar os requisitos de manutenção de instalações e equipamentos. O grande diferencial de RCM, é exatamente o processo de determinar a melhor estratégia de manutenção, para obter confiabilidade com custo mínimo, ou seja, escolher a melhor estratégia para cada item, considerando a confiabilidade, os tempos, os custos e a segurança. Este trabalho explora a literatura disponível e expõe os aspectos que diferenciam o RCM das técnicas anteriores de manutenção, como a manutenção corretiva, preventiva, preditiva e detectiva, evidenciando e exemplificando suas vantagens e aplicações bem-sucedidas.

**Palavras-chave:** RCM; Manutenção; Custo-Benefício; Vantagens; Comparação.

CONTATO, Luiz Henrique. **DIFFERENTIAL ASPECTS OF RELIABILITY CENTERED MAINTENANCE (RCM)**. 2020. 30 folhas. Trabalho de Conclusão de Curso (Graduação em Engenharia Mecânica) – Faculdade Anhanguera, Santa Bárbara D'Oeste, 2020.

### **ABSTRACT**

Today's industries face increasing pressure and demands to remain competitive in the global marketplace. Initiatives to bring a competitive edge to the business include optimizing its processes, including processes that are not part of the core competency of the business. The industry faces challenges related to reliability, safety and cost effectiveness. Failure, time or condition based maintenance strategies exist, but none of them are ideal for all cases. With this came Reliability Centered Maintenance (RCM) which is a systematic technique for determining the maintenance requirements of facilities and equipment. The great differential of RCM, is exactly the process of determining the best maintenance strategy, to obtain reliability with minimum cost, that is, choosing the best strategy for each item, considering reliability, times, costs and safety. This paper explores the available literature and exposes the aspects that differentiate RCM from previous maintenance techniques, such as corrective, preventive, predictive and detective maintenance, highlighting and exemplifying its advantages and successful applications.

**Key-words:** RCM; Maintenance; cost benefit; Advantage; Comparison.

## LISTA DE ILUSTRAÇÕES

<i>Figura 1: Padrões de falha de itens e equipamentos (NOWLAN, 1978).</i> .....	23
---	----

## **LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS**

ABNT	Associação Brasileira de Normas Técnicas
SAE	Society of Automotive Engineers
RCM	Manutenção Centrada em Confiabilidade

## SUMÁRIO

<b>1. INTRODUÇÃO.....</b>	<b>14</b>
<b>2. MANUTENÇÃO E SUAS VERTENTES.....</b>	<b>15</b>
2.1 INTRODUÇÃO .....	15
2.2 MANUTENÇÃO .....	15
2.3 TIPOS DE MANUTENÇÃO .....	16
2.3.1 <i>Manutenção Corretiva</i> .....	17
2.3.2 <i>Manutenção Preventiva</i> .....	18
2.3.3 <i>Manutenção Preditiva</i> .....	19
2.3.4 <i>Manutenção Detectiva</i> .....	20
<b>3. MANUTENÇÃO CENTRADA EM CONFIABILIDADE (RCM).....</b>	<b>22</b>
<b>4. ASPECTOS DIFERENCIAIS DA RCM.....</b>	<b>26</b>
<b>5. CONSIDERAÇÕES FINAIS.....</b>	<b>29</b>
<b>6. REFERÊNCIAS .....</b>	<b>30</b>

## 1. INTRODUÇÃO

Atualmente, as indústrias enfrentam crescentes pressões e demandas para se manterem competitivas no mercado global. Entre as iniciativas para trazer um diferencial competitivo para a empresa, está a otimização de seus processos, incluindo os processos que não fazem parte da competência central da empresa. Na maioria dos casos, a manutenção não é a competência central da empresa, mas é essencial para seu desempenho. Gradualmente, a ideia de que a manutenção era apenas “um mal necessário” está se tornando uma oportunidade de diferencial competitivo para as empresas.

Com isso, várias técnicas foram desenvolvidas para a otimização da manutenção, acompanhando a evolução, tanto da gestão, quanto da tecnologia, entre elas a Manutenção Centrada em Confiabilidade (RCM). RCM é uma ferramenta para determinar a melhor estratégia de manutenção para cada item investigado. Com isso, RCM incorpora as vantagens das estratégias consideradas. Dentre as estratégias estão manutenção corretiva, manutenção preventiva, manutenção preditiva, engenharia da manutenção, entre outras.

A manutenção corretiva é a mais utilizada no Brasil, entretanto possui vantagens e desvantagens. Cada item observado apresenta diferentes características, onde um dos principais tipos de manutenção pode ser aplicado com maior sucesso que os outros. Com isso é possível observar uma grande dificuldade no cenário brasileiro atual, levando a questão de pesquisa: como escolher a estratégia de manutenção ótima para cada item?

Este trabalho tem como objetivos explicar a ferramenta RCM, e demonstrar os seus aspectos que diferenciam a RCM das técnicas anteriores de manutenção, evidenciando e exemplificando suas vantagens e aplicações bem-sucedidas, incentivando sua adoção na indústria brasileira.

Para cumprir este objetivo, este artigo explora a literatura disponível, através de artigos e trabalhos atuais sobre o tema RCM, buscando em fontes como o Google Scholar, e aproveitando as referências dos próprios artigos para encontrar também as referências clássicas sobre manutenção, seus tipos e priorizando a RCM.

## **2. MANUTENÇÃO E SUAS VERTENTES**

### **2.1 INTRODUÇÃO**

A manutenção embora despercebida, sempre existiu, mesmo nas épocas mais remotas. Começou a ser conhecida com o nome de manutenção por volta do século XVI na Europa central, se tratando da manutenção corretiva, sendo feita apenas quando a máquina ou equipamento parasse de funcionar totalmente por quebra ou defeito, tomou corpo ao longo da revolução industrial e firmou-se, como necessidade absoluta, na segunda guerra mundial, pois existia uma forte competição entre as nações para ver quem era a mais desenvolvida na área, dando uma enorme vantagem na guerra. Nesse período, como existia uma alta demanda por parte das indústrias, o objetivo principal dos engenheiros e representantes era tentar evitar ao máximo a parada na produção, pois qualquer tempo perdido daria vantagens aos adversários, sendo criado algo parecido com a manutenção preventiva, trocando componentes e peças dos equipamentos antes mesmos de quebrar, evitando danos maiores. No princípio da reconstrução pós-guerra, Inglaterra, Alemanha, Itália e principalmente Japão alicerçaram seu desempenho industrial nas bases da engenharia e manutenção. A manutenção nos dias de hoje se tornou fundamental, pois além de influenciar no produto final, ajuda a empresa no gerenciamento de seus equipamentos, visando um bom funcionamento e diminuindo os custos. Neste capítulo será explicado os tipos de manutenção, os modos de como utiliza-las e também como elaborar um plano de manutenção adequado.

### **2.2 MANUTENÇÃO**

Manutenção é um processo que visa maior tempo de utilização e maior rendimento de um equipamento, resultando em trabalho em condições seguras e redução de custos com paradas. É o conjunto de atividades e recursos aplicados aos equipamentos, visando garantir a continuidade de sua função dentro de parâmetros de disponibilidade, qualidade, prazo, custos e vida útil adequados.

São ações necessárias para que um item seja conservado, adequado, restaurado, substituído e prevenido de modo a poder permanecer de acordo com uma condição ideal estabelecida pelo fabricante.

Todos os equipamentos, sem distinção, necessitam de manutenções, para garantir a operatividade, funcionalidade e principalmente a confiabilidade dos mesmos. Esta garantia não é só a integridade, mas também a segurança, pois a não realização da manutenção coloca em risco a integridade física das pessoas envolvidas. Caso não haja manutenção, ou tenha uma má política de manutenção, as consequências são:

- Eleva as ocorrências de manutenções corretivas;
- Aumenta o custo com estoque de peças de reposição e com a própria manutenção;
- Ocasiona trocas desnecessárias de componentes ou quebra dos mesmos.
- Inspeções desnecessárias em equipamentos em bom estado
- Maior tempo de parada do equipamento para manutenção;
- Aumento da demanda de trabalho em função das manutenções corretivas;
- Colocar em risco a integridade dos usuários. (PEIXOTO, E, 2012)

## 2.3 TIPOS DE MANUTENÇÃO

A manutenção é utilizada em todo tipo de empresa para evitar possíveis falhas e quebras - em máquinas e instalações, entre outros. Ela é importante para dar confiabilidade aos equipamentos, melhorar a qualidade e até para diminuir desperdícios. Há vários tipos de manutenção que podem ser empregados, como a planejada e a preventiva. O importante é ter em mente que a máquina não vai funcionar para sempre. E que a "escolha" de quando isso vai acontecer pode ser decisão da empresa. A manutenção deve ser uma política da empresa. Para isso, é preciso dar atenção a dados técnicos e econômicos. A escolha de como e quando fazê-la é gerencial.

Implantar e praticar a engenharia de manutenção significa uma mudança cultural para a maioria das empresas. Significa deixar de ficar consertando

continuamente, para procurar as causas fundamentais e gerenciá-las. Os principais motivos para a utilização de uma boa manutenção estão a seguir:

- Aumenta a confiabilidade, a boa manutenção gera menos paradas de máquinas
- Melhora a qualidade, máquinas e equipamentos mal ajustados têm mais probabilidade de causar erros ou baixo desempenho e podem causar problemas de qualidade
- Diminui os custos, quando bem cuidados, os equipamentos funcionam com maior eficiência
- Aumenta a vida útil, cuidados simples, como limpeza e lubrificação, garantem a durabilidade da máquina, reduzindo os pequenos problemas que podem causar desgaste ou deterioração
- Melhora a segurança, máquinas e equipamentos bem mantidos têm menos chance de se comportar de forma não previsível ou não padronizada, evitando assim, possíveis riscos ao operário

As características dos equipamentos de um processo produtivo moderno podem definir diferentes critérios para a seleção do método de manutenção a ser utilizado. Diversas considerações sobre a escolha do método de manutenção são realizadas dentro dos novos conceitos de manutenção. (KOYANO, M, 2002)

Os métodos de manutenção podem ser divididos nos seguintes grupos: corretiva, preventiva, preditiva. As considerações sobre cada um destes métodos são apresentadas a seguir:

### 2.3.1 Manutenção Corretiva

Este tipo de manutenção é simples e direto: somente quando algum equipamento ou sistema quebra ou falha é que ele é consertado. O gerenciamento da manutenção corretiva não investe em manutenção preventiva ou preditiva até o momento que um equipamento ou sistema falhe.

A manutenção corretiva é uma técnica reativa e na maioria das vezes é o método mais caro de gerência de manutenção, pois em muitos casos envolvem custos com estoques de peças sobressalentes, altos custos de trabalho extra e elevado tempo de paralisação ou disponibilidade de uma unidade predial. Esta paralisação

pode impactar no desempenho econômico de uma empresa, como por exemplo, a perda de produtos perecíveis (como vacinas, etc.) armazenados sob temperatura controlada, ou a perda de conforto no caso de uma quebra do sistema de ar condicionado, ou ainda a perda momentânea de clientes insatisfeitos com a paralisação geral dos serviços.

Este método consiste em uma situação não planejada para a execução da manutenção. A intervenção somente irá ocorrer quando o equipamento perder a sua função. A manutenção corretiva também é conhecida como “Run To Failure” (RTF), que significa “operar até quebrar”.

Nas instalações industriais a utilização racional deste método está limitada a equipamentos em que a consequência da falha não seja significativa para o processo produtivo, como por exemplo: motores de pequena potência (7,5 HP), ar condicionado para conforto pessoal e exaustores de restaurantes.

Quando o uso da manutenção corretiva é praticada de forma inadequada em uma instalação podem-se ter as seguintes consequências: perda de produção, destruição catastrófica, planejamento ineficiente de mão de obra, excesso de peças em estoque, baixa disponibilidade dos equipamentos, riscos de segurança e queda da qualidade, além do reparo, a interrupção no processo de fabricação pode significar atraso em entregas e até a perda de clientes. (ALMEIDA, R, 2011)

### 2.3.2 Manutenção Preventiva

A palavra prevenção é abrangente e utilizada em várias áreas. Na área médica muito se fala na prevenção de determinadas doenças que se diagnosticadas antecipadamente aumentam as chances de cura e, conseqüentemente, a vida do paciente.

Na manutenção predial acontece o mesmo. A manutenção preventiva é baseada na estatística CTMF (Curva de Tempo Médio para Falha), que programa reparos ou recondiçionamentos de máquinas, equipamentos e sistemas, que estima a possibilidade de falha tanto no momento seguinte ao início do funcionamento, que podem ocorrer devido a falhas na instalação, ou ainda após um longo período de utilização dos equipamentos.

Os programas de manutenção preventiva podem ser simples (resumidos a lubrificações e ajustes menores) ou mais abrangentes, com a programação de reparos, lubrificação, ajustes e recondiçõamentos de máquinas para todos os equipamentos críticos de uma unidade predial ou industrial.

A Manutenção Preventiva consiste na aplicação de um programa regular de inspeção, ajustes, limpeza, lubrificação, troca de peças, calibração e reparo de componentes e equipamentos. Este método é conhecido como manutenção baseada no tempo, sendo aplicada sem considerar as condições do equipamento.

A atuação periódica da inspeção e manutenção com intervalos pré-determinados pode reduzir os níveis de falhas em emergência e melhorar a disponibilidade dos equipamentos.

Para a definição dos períodos de atuação pode ser utilizado o TMEF (Tempo Médio Entre Falhas). Porém, nem sempre é possível alcançar bons resultados com este critério, pois muitos componentes apresentam falhas aleatórias.

A utilização da Manutenção Preventiva com ação periódica pode resultar em custos excessivos devido às paradas desnecessárias de equipamentos, gastos excessivos com componentes e riscos de danos no equipamento devido à montagem incorreta. (ALMEIDA, R, 2011)

### 2.3.3 Manutenção Preditiva

A manutenção preditiva é uma filosofia ou atitude que usa a condição operacional real de equipamentos e sistemas para otimizar a operação total. Trata-se de um meio de se melhorar a produtividade, a qualidade do produto, o lucro e a efetividade global, principalmente, em plantas industriais de manufatura e de produção.

O monitoramento regular da condição mecânica real, o rendimento operacional e outros indicadores da condição operativa das máquinas e sistemas de processo fornecem os dados necessários para assegurar o intervalo máximo entre os reparos e minimizar o número e os custos de paradas não-programadas ocasionadas por falhas.

Um programa abrangente de manutenção preditiva utiliza uma combinação de técnicas não-destrutivas (monitoramento de vibração, monitoramento de parâmetro

de processo, termografia, tribologia e inspeção visual) que permite identificar problemas em máquinas e sistemas antes que se tornem sérios, já que a maioria dos problemas podem ser minimizados se forem detectados e reparados com antecedência.

As técnicas específicas dependerão do tipo de equipamento da planta industrial ou unidade predial, seu impacto sobre a produção e outros parâmetros chaves da operação do local, além dos objetivos que se deseja que o programa de manutenção preditiva atinja.

A Manutenção Preditiva é também conhecida como manutenção baseada na condição, com a utilização de técnicas de inspeção é possível monitorar a evolução do estado do equipamento e atuar no momento mais adequado.

A aplicação da Manutenção Preditiva é possível quando o componente apresenta um “sintoma” que pode caracterizar o seu processo de falha. Os principais fatores que determinam à falha dos componentes são: alteração do nível de vibração, calor, alteração de espessura, trinca e desgaste.

Diversas tecnologias foram desenvolvidas para a avaliação do estado dos equipamentos. As principais são as seguintes: Análise de Vibração, Emissão Acústica, Análise do Óleo, Termografia, Ensaio Não Destrutivo, Medidas de Fluxo, Análise de Motores Elétricos, Detecção de Vazamento, Monitoramento da Corrosão, Análise Visual e de Ruído.

A aplicação correta de um programa de Manutenção Preditiva pode trazer os seguintes benefícios: disponibilidade máxima das máquinas, planejamento efetivo da mão de obra, reposição de peças do estoque, segurança operacional, qualidade da manutenção e gerenciamento global dos recursos.

A limitação do uso da Manutenção Preditiva está na disponibilidade de uma técnica efetiva de monitoramento e nos custos/benefícios da implantação deste método. (ALMEIDA, R, 2011)

#### 2.3.4 Manutenção Detectiva

Manutenção Detectiva é a atuação efetuada em sistemas de proteção ou comando, buscando detectar falhas ocultas ou não perceptíveis ao pessoal de operação e manutenção. Um exemplo clássico é o circuito que comanda a entrada de

um gerador em um hospital. Se houver falta de energia e o circuito tiver uma falha o gerador não entra. À medida que aumenta a utilização de sistemas automatizados nas operações, o mais importante e mais utilizado será, garantindo a confiabilidade dos sistemas (XAVIER, 2003);

Fatores como o desgaste, corrosão, fadiga, fenômenos físico-químicos e acidentes, que ocorrem nas partes ou componentes de qualquer equipamento alteram as suas condições normais. Esses fenômenos e eventos que ocorrem durante o uso podem degradar essas condições o suficiente para que os componentes e equipamentos não mais apresentem o desempenho requerido atingindo a falha. (ALMEIDA, R, 2011).

A manutenção está diretamente envolvida com o processo de falha do equipamento. Para isso a função da manutenção é conhecer e dominar estes processos de falha e saber quando e como intervir para atender as necessidades dos usuários. (ALMEIDA, R, 2011).

Durante muitos anos a ação da manutenção foi baseada na troca de componentes, evitando assim a quebra em emergência. Essa fase gerou o conceito de que os equipamentos se tornam menos confiáveis na medida em que o tempo de operação, ou idade, aumenta. Assim a grande preocupação da manutenção era conhecer a idade na quais os itens iriam falhar (vida útil), para estabelecer ações de manutenção que se antecipasse à quebra. Este conceito estabelecia que a confiabilidade estivesse diretamente relacionada com o tempo de uso. Neste período o número de modos de falhas era reduzido e bem conhecido (ALMEIDA, R, 2011).

### 3. MANUTENÇÃO CENTRADA EM CONFIABILIDADE (RCM)

A indústria da aviação enfrentou desafios relacionados à confiabilidade, segurança e custo-benefício. Os regimes de manutenção baseados no tempo e ações preventivas não foram capazes de manter operações sustentáveis por mais tempo, o que quase levou a indústria da aviação comercial a uma crise. Quase todas as tarefas de manutenção recomendadas consistiam na revisão de peças antes que elas atingissem uma vida útil expressa em horas de operação, levando a altos custos de operação e baixa disponibilidade das aeronaves (SIFONTE, 2017).

Os profissionais de manutenção e confiabilidade não conseguiram encontrar uma relação clara entre as horas de manutenção preventiva aplicadas e a confiabilidade dos componentes. Além disso, alguns mantenedores perceberam que a aplicação de menos horas em intervalos de tempo mais longos resultou em maior confiabilidade. Contudo, as empresas de aviação precisavam satisfazer certos planos e padrões de manutenção para manter suas certificações. Estes desafios, em conjunto com novas aeronaves maiores, que demandavam ainda mais tempo e recursos, e um recorde de acidentes de quase 60 acidentes para cada 1.000.000 de decolagens, sendo 65% dos acidentes causados por falhas de equipamento, exigiram novas perspectivas de projeto, operação e manutenção de aeronaves (SIFONTE e REYES-PICKNELL, 2017).

Os esforços para entender os padrões de falha dos componentes não estruturais da aeronave levaram Stanley Nowlan e Howard Heap, ambos da United Airlines, a desenvolver uma nova abordagem para a manutenção. Durante sua pesquisa, eles observaram que a taxa de falha dos itens e equipamentos, em sua maioria, não estava sujeita aos mesmo padrão do gráfico da banheira (*Bath tube curve*) idealizado anteriormente, os resultados foram sumarizados na **Error! Reference source not found.** Nas pesquisas, apenas 11% dos itens tinham um comportamento no qual a taxa de falhas aumenta junto com a idade ou tempo de uso (*Bath tube curve*, *Wear out* e *Steady increace*), mostrando que a Manutenção Preventiva, com revisões e trocas programadas, não era o ideal para a maioria dos casos.

O padrão de falha *Infant mortality*, foi observado em 68% do estudo. Neste padrão, o item ou equipamento apresenta alta taxa de falhas no início da sua

operação. Com isso, o cuidado na instalação, os testes iniciais e treinamento dos manutentores, se torna mais importante para a redução de falhas do que a modalidade de manutenção escolhida.

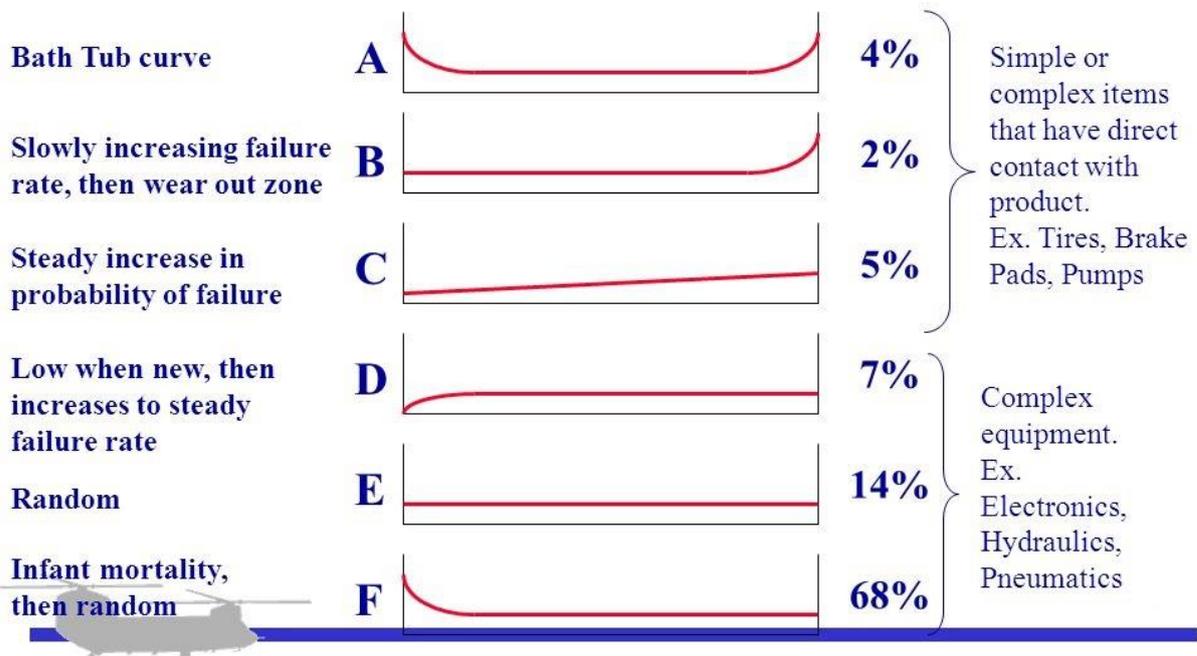
**Figura 1 - Padrões de falha de itens e equipamentos**



## Six Patterns of Failure



Stanley Nowlan and Howard Heap: Engineers, United Airlines



Fonte: (NOWLAN, 1978).

Nowlan e Heap, documentaram sua metodologia para o desenvolvimento de políticas de gerenciamento de consequências de falhas, em um relatório publicado pelo Departamento de Defesa dos EUA, em 1978. Seu processo foi chamado de *Reliability centered maintenance* (RCM) e foi baseado em um procedimento de senso comum, com um diagrama de decisão para criar estratégias de manutenção para proteger as funções dos ativos (SIFONTE e REYES-PICKNELL, 2017). Manutenção Centrada em Confiabilidade ou MCC é o termo em português para RCM.

RCM é uma técnica sistemática para determinar os requisitos de manutenção de instalações e equipamentos em seu funcionamento (DIXEY, 1993). Desde suas origens, o RCM tem sido usado em muitas indústrias e em quase todos os países

industrializados do mundo. Houve muitas interpretações individuais do relatório de Nowlan e Heap que levaram à criação de uma variedade de métodos, que diferem amplamente do processo original (SIFONTE e REYES-PICKNELL, 2017).

RCM é um processo para garantir que os sistemas continuem a fazer o que o usuário exige em seu atual contexto operacional. Geralmente, é utilizado para obter níveis de manutenção mínimos seguros para a aplicação. A implementação bem-sucedida levará a um aumento na confiabilidade, no tempo de atividade do equipamento, no aproveitamento de recursos financeiros e uma maior compreensão do nível de risco que a organização está gerenciando. É definido pela norma técnica SAE JA1011 (SAE, 2009).

A norma técnica SAE JA1011 define os critérios mínimos que qualquer processo de manutenção deve atender antes de poder ser chamado de RCM. A definição começa com as sete perguntas abaixo (SAE, 2009):

1. O que o item deve fazer e quais os seus padrões de desempenho associados?
2. De que maneiras o item pode falhar e deixar de fornecer as funções requeridas?
3. Quais são os eventos que causam cada falha?
4. O que acontece quando ocorre cada falha?
5. De que maneira cada falha é importante?
6. Que tarefa sistemática pode ser realizada de forma proativa para prevenir ou diminuir satisfatoriamente as consequências da falha?
7. O que deve ser feito se uma tarefa preventiva adequada não for encontrada?

Se respondidas corretamente as 7 questões acima, RCM permite a definição de um regime de manutenção completo. Como disciplina, permite que as partes interessadas do maquinário monitorem, avaliem, prevejam e compreendam o funcionamento de seus ativos físicos. RCM é utilizado para criar uma estratégia de manutenção econômica para lidar com causas dominantes de falha de equipamento. É uma abordagem sistemática para definir um programa de manutenção de rotina composto de tarefas econômicas, que preservam funções importantes (SAE, 2009).

RCM é utilizado para otimizar estratégias de manutenção e é um dos dispositivos mais conhecidos e mais utilizados para preservar a eficiência operacional de sistemas de vapor (AFEFY, 2010). RCM atua equilibrando os altos custos de

manutenção corretiva com o custo das políticas de manutenção programadas (preventivas ou preditivas), levando em conta a vida útil do item considerado. Contudo, não é uma tarefa fácil selecionar uma estratégia de manutenção adequada para cada equipamento e cada modo de falha, para a grande quantidade de equipamentos de uma empresa (AFEFY, 2010).

A implementação bem-sucedida de RCM requer grupos multidisciplinares treinados para aplicar o processo, com a orientação de um gerenciador que domine sua execução. Os resultados de uma implementação correta incluem: tarefas de manutenção periódica otimizadas e o redesenvolvimento da manutenção e dos procedimentos operacionais. Implementações bem-sucedidas apresentam redução significativa de horas-homem na manutenção, melhor segurança e maior confiabilidade e disponibilidade de ativos (SIFONTE e REYES-PICKNELL, 2017).

Os autores Sousa e Lima citam os seguintes benefícios de RCM entre outros (SOUZA e LIMA, 2003):

- **Maior Segurança e Proteção Ambiental:** são resultados das informações geradas pelo RCM, para identificar todos os possíveis riscos de falha nos equipamentos.
- **Melhora do Desempenho Operacional:** por garantir uma maior disponibilidade dos equipamentos no sistema produtivo e uma redução no tempo de reparo.
- **Maior Eficiência da Manutenção:** com RCM, são adotadas melhores práticas de manutenção, para garantir que o capital investido na manutenção tenha o melhor retorno.
- **Aumento da vida útil dos equipamentos:** com a melhora dos métodos de manutenção, também é observado o aumento vida útil do equipamento.
- **Melhora no Banco de Dados de Manutenção:** os registros gerados pelo RCM proporcionam um excelente banco de dados para uso tanto pela manutenção como pela operação, inspeção e projeto.

#### 4. ASPECTOS DIFERENCIAIS DA RCM

Como descrito no capítulo anterior, RCM é uma ferramenta para determinar a melhor estratégia de manutenção para cada item investigado. Com isso, RCM incorpora as vantagens das estratégias consideradas. Dentre as estratégias estão (CHOPP, 2003):

- Uso até a falha (manutenção corretiva)
- Manutenção baseada no tempo (manutenção preventiva)
- Manutenção baseada na condição (manutenção preditiva)
- Ações proativas (engenharia da manutenção)

A manutenção corretiva é a mais utilizada no Brasil e possui certas vantagens. Em itens não críticos, ela pode ser vantajosa em relação a outras estratégias que demandam mais investimentos em treinamento e tecnologias. Entretanto, a aplicação exclusiva dessa estratégia traz desvantagens que necessitam serem consideradas antes da sua escolha. A manutenção baseada no tempo supera algumas desvantagens da manutenção corretiva, porém traz desvantagens se não aplicada corretamente. Do mesmo modo, a manutenção baseada na condição também complementa as estratégias anteriores porém demanda maiores investimentos em treinamento, tecnologias e ou terceirização (CHOPP, 2003)

Como exemplo, pode ser aplicado rapidamente RCM em item como uma lâmpada incandescente. Utilizando as perguntas já descritas no capítulo anterior, definidas pela norma técnica SAE JA1011, temos a seguinte situação: em uma planta de produção, uma lâmpada tem como função iluminação do local de trabalho (pergunta 1), e a forma primária de falha é a queima do filamento (pergunta 2), que pode ser causado por tempo de uso, variações na alimentação elétrica ou impactos no item (pergunta 3), causando uma redução na luminosidade do local de trabalho (pergunta 4). Porém, em raros casos, existe apenas uma lâmpada executando essa tarefa sozinha, portanto a importância da falha é extremamente baixa, por ser um item duplicado e de pouco efeito em outros sistemas (pergunta 5). Para prevenir o modo de falha, pode-se evitar impactos com uma proteção física em torno da lâmpada, a proteção da rede elétrica com estabilizadores e realizar a troca da lâmpada após o tempo especificado de uso. Porém, Manutenção Preventiva em um item de baixa importância, demanda muito tempo e recursos. A Manutenção Preditiva, traria gastos

ainda maiores para a o monitoramento da condição e detecção de falhas, não sendo viável (pergunta 6). Como nenhuma ação preventiva é apropriada para o item, e a importância da falha é extremamente baixa, é recomendado substituir o item após a falha (pergunta 7), ou seja, a Manutenção Corretiva é a mais adequada para a lâmpada.

Em outro exemplo mais complexo, como um sistema de supressão de incêndio, após as 7 perguntas da RCM, pode-se concluir que a Manutenção Corretiva não é possível por questões de segurança. Manutenção Preventiva, ou seja, a troca do sistema ou suas partes, demanda muito tempo e recursos. A Manutenção Preditiva depende do monitoramento do uso, também trazendo dificuldades. A Manutenção Detectiva é a mais apropriada, utilizando métodos de detecção de falhas ocultas, focados na lista dos modos de falha gerada durante a aplicação de RCM no sistema.

Para itens mais complexos e de maior importância, as estratégias de manutenção podem variar consideravelmente, e RCM é a ferramenta que permite encontrar a melhor estratégia. Em itens com condição dinâmica e com maior quantidade de modos de falha, a Manutenção Preditiva pode ser mais eficaz. Em itens com menor quantidade de modos de falha, e com desgaste claro e previsível, a Manutenção Preventiva pode ser a mais vantajosa.

O grande diferencial de RCM, é exatamente o processo de determinar a melhor estratégia de manutenção, para obter confiabilidade com custo mínimo, ou seja, escolher a melhor estratégia para cada item, considerando a confiabilidade, os tempos, os custos e a segurança.

Como exemplo desse diferencial, em relação aos tempos de manutenção e disponibilidade dos equipamentos, pode ser mencionado o cronograma de manutenção de aeronaves nos anos 1970, um dos motivadores da criação de RCM. O cronograma de manutenção do avião DC-8 usou conceitos tradicionais da segunda geração da manutenção, em sua maioria estratégias corretivas e preventivas. O cronograma exigia a revisão de 339 componentes e exigiu mais de 4.000.000 horas de trabalho para que um DC-8 possa alcançar 20.000 horas de operação. Comparando isso com o cronograma de manutenção do Boeing 747-100, desenvolvido usando conceitos de RCM, foram necessárias apenas 66.000 horas de trabalho para as mesmas 20.000 horas de operação. Outra comparação interessante, é em relação ao número de itens que exigem revisões de tempo fixo. A manutenção

do DC-10 foi desenvolvida usando conceitos de RCM e exigiu a revisão de apenas 7 itens, contra 339 no DC-8. E, tanto o DC-10, quanto o Boeing 747-100 eram maiores e mais complexos que o DC-8 (HUPJÉ, 2018).

O estudo de Afefy é um exemplo sobre a aplicação de RCM em uma usina de cogeração de energia. Os resultados mostram que o custo da mão-de-obra pode ser reduzido em 25,2% do custo total, de acordo com o planejamento. Além disso, o planejamento proposto indica uma economia de cerca de 80% do custo total de tempo de inatividade, em comparação com o de manutenção anterior. O programa de peças sobressalentes proposto para os componentes da usina mostra que cerca de 22,17% do custo anual de peças sobressalentes podem ser economizados (AFEFY, 2010).

O estudo de El-Haram e Horner (EL-HARAM e HORNER, 2002) destaca alguns resultados da aplicação de RCM na manutenção de prédios, demonstrando benefícios em questões de segurança, como resultado da identificação precoce de modos de falha que podem ter consequências para a saúde e a segurança. Também foi possível identificar se as consequências do modo de falha poderiam ajudar a estabelecer programas de gerenciamento de manutenção preventiva e estabelecer prioridades de manutenção. Os autores também concluem que construir programas de manutenção baseados em RCM podem ajudar na preparação e previsão de orçamentos de manutenção, e que ferramentas como FMEA e RCM poderiam ajudar a remover as barreiras entre a manutenção dos prédios e os departamentos de arquitetos, especialmente os avaliadores das condições dos mesmos (EL-HARAM e HORNER, 2002).

Porém, como dito anteriormente, a aplicação de RCM não é uma tarefa fácil e inclui diversos requisitos na organização e no programa de manutenção existente. O trabalho de Backlund e Akerrsten (BACKLUND e AKERRSTEN, 2003) apresenta os requisitos e o gerenciamento dos mesmos na introdução de RCM em uma empresa. Os autores concluem que, para se obter um programa de manutenção baseado em RCM, é necessária uma visão holística para identificar e gerenciar esses requisitos, pois uma ampla gama de obstáculos surge durante um processo de introdução. Uma visão de processo pode facilitar a identificação de executantes, funções, responsabilidades, rotinas e sistemas de suporte, que são requisitos cruciais para a aplicação (BACKLUND e AKERRSTEN, 2003).

## **5. CONSIDERAÇÕES FINAIS**

Com o trabalho, foi possível demonstrar que o grande diferencial de RCM é exatamente o processo de determinar a melhor estratégia de manutenção para obter confiabilidade com custo mínimo, ou seja, escolher a melhor estratégia para cada item, considerando a confiabilidade, os tempos, os custos e a segurança.

RCM é uma ferramenta para determinar a melhor estratégia de manutenção para cada item investigado. Com isso, RCM incorpora as vantagens das estratégias utilizadas, desde a manutenção corretiva de itens menos críticos, passando por ações preventivas (manutenção preventiva e preditiva), chegando à engenharia de manutenção, para a correção de modos de falha inerentes aos equipamentos e instalações essenciais.

Também foram apresentados alguns casos de sucesso, onde empresas alcançaram redução de custos e tempos de manutenção, aumento de disponibilidade dos equipamentos e maior segurança nas instalações, vantagens possíveis através da aplicação de RCM.

## REFERÊNCIAS

- AFEFY, I. H. Reliability-Centered Maintenance Methodology and Application: A Case Study. **Engineering**, 2, n. 11, Outubro 2010. 863-873.
- BACKLUND, F.; AKERRSTEN, P. A. RCM introduction: process and requirements management aspects, 9, n. 3, 2003. 250-264.
- CHOPP, B. M. Energy 2003 Chopp O&M session 1.ppt, 2003. Disponível em: <[www.flinders.edu.au/medicine/fms/sites/biomedical\\_engineering/documents/BEAG/Chopp-reliability-centered-maint.pdf](http://www.flinders.edu.au/medicine/fms/sites/biomedical_engineering/documents/BEAG/Chopp-reliability-centered-maint.pdf)>. Acesso em: 10 Abril 2020.
- DIXEY, M. Putting Reliability at the Center of Maintenance. **Professional Engineering**, 6, junho 1993. 23-25.
- EL-HARAM, M. A.; HORNER, M. W. Practical application of RCM to local authority housing: a pilot study, 8, n. 2, 2002. 135-143.
- HUPJÉ, E. Reliability Centered Maintenance: 9 Principles of Modern Maintenance, 2018. Disponível em: <<https://www.roadtoreliability.com/reliability-centered-maintenance-principles/>>. Acesso em: 14 Abril 2020.
- NOWLAN, F. S. A. H. H. F. **Reliability-centered Maintenance**. San Francisco: Dolby Access Press, 1978.
- SAE. JA1011: Evaluation Criteria for Reliability-Centered Maintenance (RCM) Processes. **SAE International**, 2009. Disponível em: <[https://www.sae.org/standards/content/ja1011\\_200908/](https://www.sae.org/standards/content/ja1011_200908/)>. Acesso em: 14 Abril 2020.
- SIFONTE, J. R. Evaluation Criteria for RCM-R. **Conscious Reliability**, 2017. Disponível em: <<https://consciousreliability.com/evaluation-criteria-for-rcm-r/>>. Acesso em: 10 Maio 2020.
- SIFONTE, J. R.; REYES-PICKNELL, J. V. **Reliability Centered Maintenance – Reengineered: Practical Optimization of the RCM Process with RCM-R®**. 1. ed. [S.l.]: Productivity Press, v. 1, 2017.
- SOUZA, S.; LIMA, C. R. C. Manutenção centrada em confiabilidade como ferramenta estratégica. **XXIII Encontro Nac. de Eng. de Produção - ENEGEP**, Ouro Preto, 21 a 24 Outubro 2003.