



## **ENGENHARIA DE MANUTENÇÃO: UMA REVISÃO DE INDICADORES DE MANUTENÇÃO E SUAS INTER-RELAÇÕES**

**Thiago Calabreze de Azevedo, Projeto, Materiais e Manufatura, azevedo.thiago@usp.br**  
**Melkzedekue de Moraes Alcântara Calabrese Moreira, Dinâmica e Mecatrônica, melkzedekue@usp.br**  
**Samuel Ricardo da Silveira, Processamento de Sinais e Instrumentação, ssilveira7447@gmail.com**  
**Igor Nazareno Soares, Sistemas Elétricos de Potência, igor.soares@usp.br**  
**Tiago Mathes Nordi, Processamento de Sinais e Instrumentação, tmnordi@usp.br**  
**Felipe Schiavon Inocêncio de Sousa, Sistemas Elétricos de Potência, felipesousa@gmail.com**  
**Denis Mosconi, Dinâmica e Mecatrônica, denis.mosconi@usp.br**

**Resumo** Planejamento e Controle da Manutenção (PCM) é uma ferramenta utilizada para controlar e melhorar os índices de disponibilidade e confiabilidade de máquinas ao menor custo possível, além do oferecimento de práticas que proporcionem a melhoria contínua da eficiência da manutenção. A disponibilidade confere a garantia de pronto funcionamento da máquina e/ou equipamento no presente, enquanto que confiabilidade confere a garantia que esses funcionarão por um determinado período futuro, com um compromisso entre ambos, de maneira que resulte no maior benefício possível à empresa. Dessa maneira, o monitoramento de indicadores de desempenho tais como custos de manutenção, MTBF, MTTR e disponibilidade entre outros tornam-se imprescindíveis para garantia dos objetivos do PCM. Com isso, possibilita-se mensurar; analisar; melhorar; aperfeiçoar e controlar o setor de manutenção. Dessa forma o objetivo desse artigo visa apresentar uma revisão dos principais tipos de manutenção, indicadores de desempenho e suas inter-relações para garantia de um PCM eficaz.

**Palavras-chave:** Indicadores de manutenção. Custos de manutenção. MTBF. MTTR. Disponibilidade de máquinas.

### **1. INTRODUÇÃO**

No contexto das dificuldades enfrentadas por empresas americanas, europeias e principalmente japonesas pós-segunda guerra mundial e a necessidade de mudança nos processos de produção, surgiram as primeiras ideias sobre gerenciamento e controle da qualidade, e também o conceito de manutenção produtiva total (TPM – *Total Productive Maintenance*). Seichi Nakajima (1919-2015), em 1950, foi o responsável pela concepção do TPM. Com esse método, as indústrias japonesas deixaram de utilizar os métodos de Manutenções Corretivas e Emergenciais e passaram a implementar os primeiros conceitos de Manutenções Preventivas baseada no tempo de uso da máquina. Esse método possibilitou posteriormente a introdução dos conceitos de Manutenção de Sistema de Produção; de Manutenção Corretiva de Melhorias; de Prevenção da Manutenção e Manutenção Produtiva que visavam a maximização do uso e capacidade produtiva de máquinas e equipamentos (Nakajima, 1989; Nakasato, 1994; Moraes, 2004).

Nas últimas décadas, manutenção tem ganhado destaque como atividade estratégica e base para toda atividade industrial, com objetivo de garantir disponibilidade de funcionamento de máquinas para produção. A evolução do sistema de manutenção é acompanhada pela utilização sistemática de conceitos tais como Planejamento e Controle de Manutenção (PCM) – setor responsável pela elaboração, controle e execução das ações de manutenção e da Manutenção Centrada na Confiabilidade (RCM – *Reliability Centered Maintenance*) – política estruturada em manter disponibilidade e confiabilidade do processo produtivo de uma empresa (Engeteles, 2020a). Dentre os principais tipos de manutenção, citados em diversas literaturas, tem-se: manutenção preditiva; proativa; autônoma; preventiva e corretiva (Fogliatto, 2011; Teles, 2019). Mobley (2002) classifica, de forma simplificada, a manutenção em três grandes áreas, sendo estas: melhoria; prevenção e correção, conforme apresentado na Fig. (1).

Dessa forma, para monitoramento e controle das ações de manutenção e verificação de adequações ao PCM, bem como efetuar correções e ações de melhoria, torna-se indispensável o monitoramento de indicadores de performances (KPI's - *Key Performance Indicator*). Dentre os principais indicadores de manutenção tem-se: Custos de manutenção; MTBF (Tempo Médio entre Falhas); MTTR (Tempo Médio entre Reparos); Disponibilidade e Indisponibilidade. O monitoramento desses proporciona ao gestor de manutenção uma visualização ampla da eficiência do setor de manutenção e ferramentas para tomadas de decisões preventivas ou corretivas de readequação de equipamentos.

Com base nisso, o presente artigo visa apresentar os tipos de manutenção e o comparativo de custos entre essas. Além de apresentar os principais indicadores de performance de manutenção como Custos de manutenção; MTBF; MTTR; Disponibilidade e Indisponibilidade bem como a inter-relação entre esses para garantia de um PCM eficiente, e a importância do monitoramento desses indicadores para uma organização.

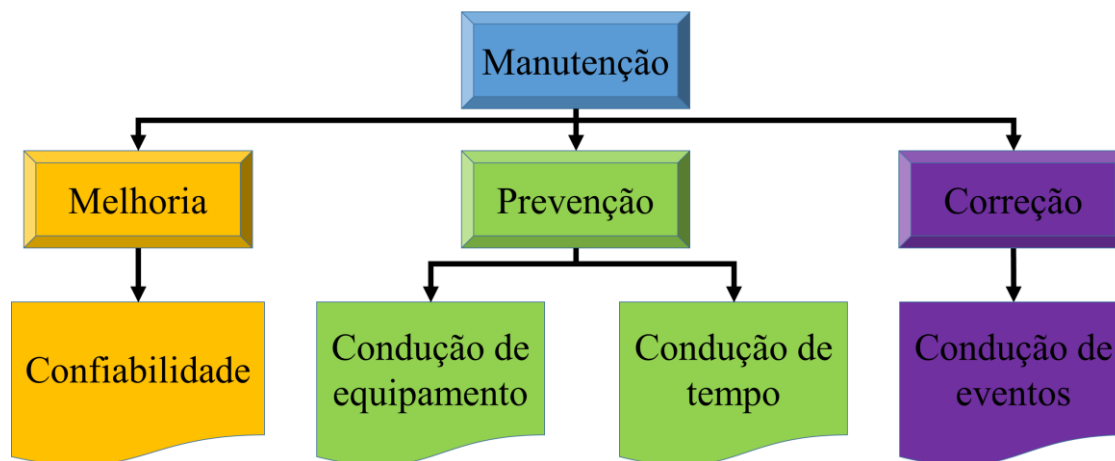


Figura 1. Estrutura de manutenção. Fonte: Adaptado de Mobley (2002).

## 2. TIPOS DE MANUTENÇÃO

Dentre os tipos de manutenção tem-se: manutenção preditiva; proativa; autônoma; preventiva; corretiva. Essas manutenções são planejadas, coordenadas e realizadas pela equipe de manutenção, e coordenadas pelo PCM que tem como uma de suas principais missões a garantia de disponibilidade e confiabilidade de máquinas e equipamentos ao menor custo à organização. Dessa forma, o balanceamento entre os tipos de manutenções deve ser bem equacionado de modo a obter-se um equilíbrio entre disponibilidade, confiabilidade e custos.

### 2.1 Manutenção Preditiva

A manutenção preditiva, regulada pela NBR-5462, utiliza a análise de dados de sensores, e através da análise desses dados, pode-se projetar o estado futuro do equipamento, permitindo o acompanhamento da deterioração da máquina e/ou equipamento, maximizando assim o tempo de uso, proporcionando uma maior vida útil em operação. Com isso, possibilita-se um aumento dos intervalos de reparos por falhas (manutenções corretivas), ou seja, melhora no índice MTBF, e também alinhamento do momento mais adequado para realização das manutenções planejadas (manutenções preventivas), sendo utilizada como complemento aos demais tipos de manutenção (Mobley, 2002).

### 2.2 Manutenção Proativa

A manutenção proativa por sua vez, além de visar a aplicação de inspeções, testes e procedimentos para evitar a falha ou quebra da máquina e/ou equipamento, também se concentra na investigação da causa-raiz promovida por essa falha. Para isso, pode-se empregar ferramentas de qualidade tais como FMEA (Análise de modos de falhas e efeitos), PDCA (*Plan* = Planejar, *Do* = Fazer/Realizar, *Check* = Controlar, *Act* = Agir), DMAIC (*Define* = Definir, *Measure* = Medir, *Analyze* = Analisar, *Improve* = Aperfeiçoar/melhorar, *Control* = Controlar), com o intuito de desenvolver ações que evitem que a falha ocorra novamente.

### 2.3 Manutenção Autônoma

A manutenção autônoma, dentre todos os outros tipos de manutenção é considerada a mais simples e de fácil implementação, porém de extrema eficiência. Pois visa treinar o colaborador que opera a máquina e/ou equipamento com técnicas simples de manutenção. Com isso, quando o colaborador detectar algum problema o qual recebeu treinamento para solucionar, esse colaborador pode tomar uma ação de correção. Dentre essas ações tem-se, por exemplo, a limpeza; lubrificação; ajustes; regulagens mecânicas; checagem de mal contato das conexões elétricas, entre outros.

### 2.4 Manutenção Preventiva

A manutenção preventiva, também regulada pela NBR-5462, é efetuada em intervalos programados e pré-estabelecidos através da análise de dados de inspeções fornecidos, por exemplo, pelas manutenções preditivas, ou de acordo com critérios de criticidade. Esses critérios são atribuídos em conformidade com o maior impacto à atividade



produtiva, sendo alta criticidade (A), média (B), e baixa (C). A manutenção preventiva tem como propósito principal reduzir a probabilidade de falhas que possam ocasionar em quebra durante o processo, bem como degradação da máquina e/ou equipamento que possa resultar em prejuízo pessoal, ambiental ou de capacidade de produção (Mobley, 1999). A manutenção preventiva é considerada bem executada quando o equipamento de interesse permanece constantemente na zona aceitável e segura para trabalho. Na Fig. (2), tem-se representado as zonas aceitáveis e inseguras versus execução de manutenção preventiva.

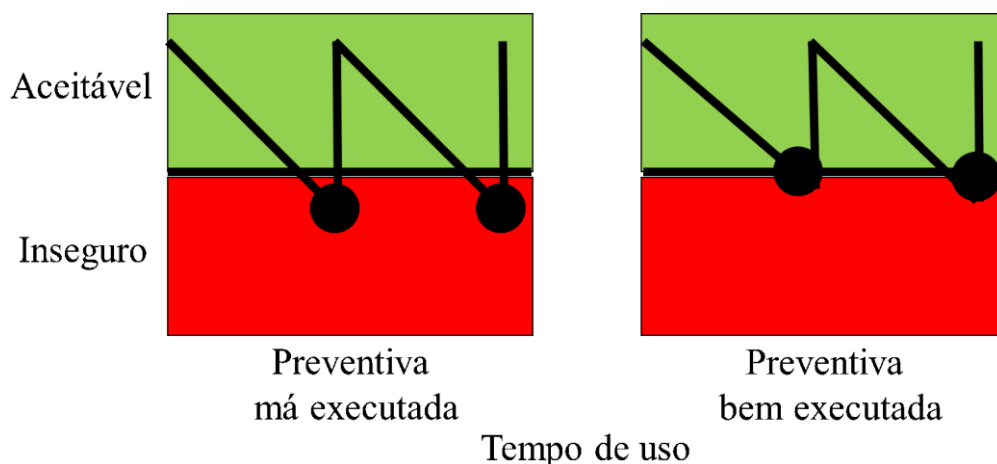


Figura 2. Zonas aceitáveis e inseguras x execução de manufatura preventiva. Fonte: Adaptado de Mobley (2002).

## 2.5 Manutenção Corretiva

A manutenção corretiva, também regulada pela NBR-5462, é considerada a mais crítica das manutenções e consequentemente a mais cara, que acarreta em um maior custo financeiro para empresa. Emprega-se esse tipo de manutenção quando se tem uma falha na máquina e/ou equipamento que ocasionou na interrupção do processo produtivo. Essa manutenção tem por finalidade uma ação imediata da manutenção, para colocar a máquina e/ou equipamento em condições de operação no menor tempo possível.

Entretanto, tem-se dois tipos de manutenção corretiva: a manutenção corretiva programada, quando se verifica uma falha potencial, evidenciando que algo está errado, mas que se pode trabalhar por um período estabelecido e programar uma manutenção posterior; e a corretiva não programada, que ocorre quando se tem uma falha funcional, impedindo o funcionamento da máquina e/ou equipamento, ou produção não conforme com os padrões de qualidade pré-estabelecidos.

Estima-se que uma manutenção corretiva não programada custa em média 7 vezes mais que uma manutenção preditiva, e uma manutenção corretiva programada custa em média 5 vezes mais que uma manutenção preditiva. E por fim uma manutenção preventiva custa em média 3 vezes mais que uma manutenção preditiva (ENGETELES, 2020b).

## 3. INDICADORES DE MANUTENÇÃO

Definição e monitoramento dos KPI's de manutenção tornam-se indispensáveis para qualquer empresa que almeja aumentar a eficiência de seus métodos e processos. Tais indicadores são utilizados para reconhecimento sistematizado da eficiência da manutenção do setor produtivo, ampliando as ferramentas e poder de decisão para ações de manutenção a longo prazo, verificação de necessidade de adequações ao PCM, bem como efetuar correções e ações de melhoria em máquinas e processos de manutenção em geral.

### 3.1 Indicador Custos de Manutenção

Os custos são considerados um importante requisito de desempenho, e dividem-se em três classes: Custos Diretos, relacionados a custos de mão de obra, ferramentas, estoques e peças de reposições, entre outros; Custos Indiretos, relacionados a depreciação de equipamentos e lucro cessante que está ligado ao tempo de parada o qual não se produz; e Custos Induzidos, oriundos de falhas no setor de manutenção que impactam no caixa da empresa, como por exemplo o atraso de entrega de um material para realização de uma manutenção. O controle desse requisito de desempenho para o setor de manutenção ou qualquer outro torna-se essencial para definição de metas de gastos, e tem impacto direto na lucratividade da empresa. Os custos do ciclo de vida dos equipamentos são claramente reduzidos por maior confiabilidade, facilidade de manutenção e segurança, por outro lado são aumentados pelas atividades necessárias para alcançá-los, sendo



necessário encontrar a otimização de alocação de recursos materiais e humanos para cada atividade e sua respectiva relevância para empresa (Smith, 2005). Na Fig. (3), tem-se representado a relação os custos de produção e disponibilidade.

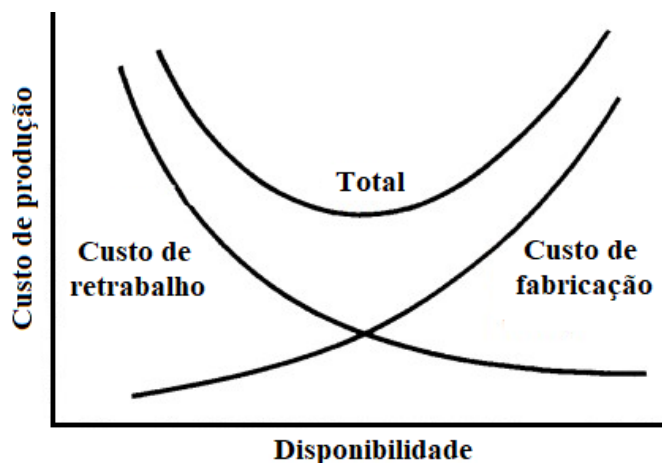


Figura 3. Relação entre custo de produção e disponibilidade de máquina. Fonte: Adaptado de Smith (2005).

### 3.2 Indicador MTBF – Tempo Médio Entre Falhas

O indicador MTBF, sigla originada do inglês “*Mean Time Between Failures*”, consiste na medição do tempo de bom funcionamento da máquina e/ou equipamento, ou seja, para o cálculo desse indicador usa-se o tempo de funcionamento líquido, já descontados os tempos de paradas por qualquer outro evento. O MTBF pode ser obtido pela razão do tempo de funcionamento líquido pelo número de falhas ocorridas no tempo em análise.

O MTBF está intimamente ligado à confiabilidade, pois deseja-se que o MTBF de cada máquina seja o maior possível, traduzindo-se em maior disponibilidade de horas em funcionamento, ou seja, maior tempo de produção. Logo, quanto maior o MTBF de uma máquina em comparação com outras, isso implica que essa máquina é mais confiável e produtiva do que as outras com MTBF menor.

Entretanto, uma vez que se deseja aumentar o tempo de MTBF, a indagação que surge seria, qual ação tomada acarretaria no aumento desse indicador. Dessa forma, para aumentar esse indicador, torna-se necessário a diminuição da frequência de falhas em um dado período. Uma ação para alcançar esse objetivo por exemplo, seria ter-se um maior cuidado com o ativo, a exemplo de melhorar a manutenção preventiva, de maneira que essa manutenção seja de maior qualidade, e que possibilite o equipamento trabalhar em um intervalo de tempo maior. Tais medidas podem melhorar os índices do MTBF, e consequentemente, a confiabilidade do ativo, uma vez que se garante um maior tempo de funcionamento da máquina e/ou equipamento.

Dessa forma, o tempo de manutenção não possui nenhum impacto no indicador MTBF. A única maneira de se ter qualquer modificação nesse indicador, somente será possível através de variações na frequência de falhas ou número de eventos. Ainda dentro do contexto de confiabilidade, tem-se o indicador OEE (*Overall Equipment Effectiveness*), chamado de eficiência global da máquina e/ou equipamento, tradicionalmente usado em programas de TPM e RCM. O OEE pode ser obtido por meio da multiplicação dos fatores de Disponibilidade, Qualidade e Performance (Produtividade) resultando em um dado percentual de eficiência da máquina e/ou equipamento (Teles, 2019).

### 3.3 Indicador MTTR – Tempo Médio de Reparos

O indicador MTTR, sigla também originada do inglês “*Mean Time to Repair*”, pode ser obtido pela razão do tempo utilizado para execução de reparo na máquina e/ou equipamento, pelo número de falhas ocorridas no tempo em análise. Esse indicador pode ser usado tanto para manutenções preventivas quanto para manutenções corretivas. Deseja-se que o índice MTTR seja o menor possível, diminuindo o tempo médio de reparo e, consequentemente, aumentando o tempo de disponibilidade do equipamento. Dessa forma, pode-se dizer que o MTTR está ligado a manutenibilidade do equipamento, ou seja o quão fácil, preciso, seguro e econômico são a realização da atividade de manutenção nesse equipamento.

Um dos fatores que podem impactar em um tempo elevado de MTTR, por exemplo, seria um mal controle de estoque. Uma vez que não se tem uma peça sobressalente para pronta substituição, esse tempo pode aumentar; complexidade do equipamento; a equipe de mantenedores não possui treinamento suficiente e/ou expertise para efetuar o reparo de maneira mais rápida e eficiente; entre outros. Desse modo, o impacto na diminuição ou aumento no tempo de manutenção, tem consequência direta na disponibilidade do equipamento.



### 3.4 Indicador Disponibilidade

Em engenharia de manutenção, um termo que aparece com recorrência é “disponibilidade”. Dessa forma, Disponibilidade também pode ser considerada um indicador de performance, uma vez que indica o percentual de tempo de funcionamento da máquina e/ou equipamento, e usado para o cálculo do OEE. A Disponibilidade pode ser obtida em unidades de porcentagem pela razão do tempo em que o ativo esteve produzindo, pelo tempo total programado para uma dada demanda de produção. Enquanto que o percentual de Qualidade pode ser obtido pela razão do total de peças produzidas dentro das especificações, pelo total de peças produzidas (dentro e fora das especificações) em um mesmo período. Assim como o percentual de Performance, que pode ser obtido pela multiplicação do percentual de Produção Real, pelo percentual de Produção Teórica o qual seria a capacidade de produção em um dado período.

### 3.4 Indicador Indisponibilidade

No setor de manutenção, muito se fala a respeito de “disponibilidade, no entanto seu complementar, a Indisponibilidade, também pode ser considerada um importante índice de desempenho a se monitorar. A Indisponibilidade por manutenção pode ser calculada, pela razão do Tempo de Parada para execução de reparos, pelo Tempo Total do período em análise, ou seja, o tempo de funcionamento sem descontar os tempos de paradas, o tempo bruto. Com isso, torna-se possível obter qual o percentual de tempo total de funcionamento da máquina e/ou equipamento esteve indisponível para operação. Deve-se descontar o tempo de manutenções preventivas, uma vez que quando se faz uma preventiva a máquina encontra-se indisponível. Caso esse tempo para preventivas não seja descontado, basta somar esse tempo ao Tempo de Reparo para então efetuar a razão do Tempo de Reparo adicionado ao Tempo de Preventiva, pelo Tempo Total do período em análise.

Como o tempo de Indisponibilidade devido a manutenções preventivas também são considerados no cálculo do indicador de Indisponibilidade, pelo fato da máquina se encontrar indisponível para produzir. Recomenda-se, que a medição desse indicador seja realizada em agrupamentos, separadamente para cada manutenção preventiva. Segundo a Associação Brasileira de Manutenção (ABRAMAN) em pesquisas realizadas em diversas empresas, verificou-se que o índice de Indisponibilidade de máquinas e/ou equipamentos gira em torno de 5 a 6% (Teles, 2019).

## 4. CONSIDERAÇÕES FINAIS

Vale ressaltar que a análise de modos e efeitos de falha via ferramentas de qualidade como FMEA para manutenções preventivas ou o uso de ferramentas como PDCA ou DMAIC para toda e qualquer ação do PCM; devem ser utilizadas somente quando se desconhecem a causa da falha. O uso de tais ferramentas é consolidado e de extrema eficiência na resolução de problemas, porém muitas vezes deseja-se colocar o ativo em pronto funcionamento e a aplicação dessas ferramentas podem consumir um tempo maior do que o tempo que se tem disponível.

A aplicação de ferramentas como FMEA torna-se muito útil em cenários sazonais, como em grandes paradas produtivas para execução de manutenção, como por exemplo em siderurgias; usinas de açúcar e álcool; empresas de papel e celulose; entre outras. Geralmente nessas grandes paradas, torna-se requerido um grande esforço do PCM e toda a sua equipe, pois são inúmeras tarefas a serem coordenadas de forma simultânea, prezando pela segurança, cumprimento de normas, e a entrega das tarefas em um prazo pré-estabelecido. Dessa forma, a aplicação de ferramentas como FMEA pela equipe de engenharia de manutenção, em aspectos macro, torna-se eficaz para evitar falhas que impactem, por exemplo, em atrasos no cronograma de execução de tarefas.

O monitorando dos requisitos de desempenho e de boas práticas de manutenção permite ao gestor de manutenção ter uma visão ampla de como estão as situações de disponibilidade, confiabilidade e custos de manutenção. Com o monitoramento, caso haja algum desvio, permite ao gestor e a equipe de manutenção a aplicação de correções e adaptações ao PCM, para assim alcançar os requisitos de desempenho, bem como propor e implementar ações de melhoria contínua.

Dessa forma, conclui-se que a prática de PCM aliadas ao monitoramento de índices de performance sobre as máquinas e/ou equipamentos de maior criticidade para o processo produtivo são de essencial relevância para garantir os objetivos da manutenção, de entregar disponibilidade e confiabilidade ao menor custo possível. Bem como colaboram para a melhoria da eficiência da manutenção. Tal qual como o uso de ferramentas da qualidade, que proporcionam aumento na produtividade e competitividade; melhora na eficiência de seus produtos; processos e serviços.

O setor de manutenção pode ser considerado fundamental, e de suma importância para garantia do funcionamento de toda e qualquer organização. Pois um PCM ineficiente, e sem o monitoramento de indicadores de desempenho KPI's torna-se impossível a tomada de ações que permita adequações ao PCM, e muito menos alcançar as metas de desempenho global de lucratividade, o que torna a manutenção um setor estratégico para toda e qualquer organização.





## 5. REFERÊNCIAS

Engeteles(a). **Manutenção Centrada em Confiabilidade**. Disponível em: <<https://engeteles.com.br/manutencao-centrada-na-confiabilidade/>>. Acesso em: 04 jul. 2020.

Engeteles(b). **Tipos e Estratégias de Manutenção**: De acordo com a NBR5462. Disponível em: <<https://engeteles.com.br/tipos-de-manutencao/>>. Acesso em: 07 jul. 2020.

Fogliato FS, Ribeiro JLD. **Confiabilidade e Manutenção Industrial**. Ed. 1. Elsevier Brasil, 2011.

Mobley RK. **Root cause failure analysis**. Newnes, 1999.

Mobley RK. **An introduction to predictive maintenance**. Butterworth-Heinemann, 2002.

Moraes PHA. **Manutenção produtiva total**: estudo de caso em uma empresa automobilística [Tese]. Taubaté: Universidade de Taubaté; 2004.

Nakajima S. **Introdução ao TPM**. São Paulo: IMC Internacional Sistemas Educativos, 1989.

Nakasato K. **Segundo Curso de Formação de Instrutores de TPM**. *Proceedings of the XV Evento Internacional de TPM*. I.M.C Internacional Sistemas Educativos. 1994.

Smith DJ. **Reliability, maintainability and risk practical methods for engineers**. Butterworth-Heinemann, 2005.

Teles J. **Bíblia do RCM**: O guia completo e definitivo da manutenção centrada na confiabilidade na indústria 4.0. Engetels Editora, 2019.

## 6. AGRADECIMENTOS

Agradecimentos ao Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico (CNPq) pela concessão da bolsa de mestrado a Thiago C. Azevedo (processo 133205/2020-7) e à Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior – Brasil (CAPES) pela concessão das bolsas de doutorado a Melkzedekue M. A. C. Moreira (Processo: 88887.498688/2020-00) e Igor N. Soares (Processo: 88887.505819/2020-00).

## 7. RESPONSABILIDADE PELAS INFORMAÇÕES

Os autores são os únicos responsáveis pelas informações incluídas neste trabalho.