

MANUTENÇÃO CENTRADA EM CONFIABILIDADE APLICADA À REDUÇÃO DOS MODOS DE FALHA E AUMENTO DA EFICIÊNCIA DOS EQUIPAMENTOS DE UMA EMPRESA DO SETOR BEBIDAS

João Paulo Dea

Orientador: Prof. Dr. Júlio César Ferreira

Resumo

A busca por qualidade e produtividade levou a manutenção a se tornar umas das funções mais importantes e estratégicas de uma indústria. O setor de manutenção tem o objetivo de manter a confiabilidade dos equipamentos garantindo a disponibilidade com alta performance das máquinas. Desta forma a escolha de um plano de manutenção adequado é de extrema importância para uma boa gestão da manutenção de qualquer empresa que busca a excelência em suas operações. Sendo assim, este trabalho tem o objetivo de trazer um estudo e aplicação dos conceitos de Engenharia de Confiabilidade e de sua ferramenta FMEA (*Failure Mode and Effect Analysis*) em uma indústria de bebidas. O trabalho teve como prioridade a identificação, ocorrência e severidade das falhas e avaliação da solução dos problemas por meio da análise dos modos de falha e seus efeitos.

Palavras-chave: Confiabilidade. Disponibilidade. Análise de modos de falhas e efeitos.

INTRODUÇÃO

Grandes empresas sempre estão em busca de excelência nos seus processos, investindo em tecnologias e em sistemas de gestão que lhe garantam maior competitividade no mercado. Diante deste cenário o departamento de manutenção passou a ser considerada como uma função estratégica sendo usadas várias metodologias para garantir os ganhos em produtividade, qualidade e na redução de custos de manutenção.

O RCM (Manutenção Centrada em Confiabilidade) é uma metodologia utilizada para a definição de planos de manutenção de forma a garantir um plano de manutenção eficiente, ela baseia-se na probabilidade de erro de um determinado período de tempo em que o equipamento desempenha sua função.

A ideia é realizar uma manutenção preventiva e estratégica, atuando sobre as falhas mais comuns garantindo assim que a máquina e seus componentes tenham uma vida útil maior operando com mais eficiência. Nesse contexto a manutenção passa a ser estratégica em performance e sustentabilidade dos resultados reduzindo o tempo dos técnicos em manutenções corretivas e aumentando a disponibilidade para monitoramentos e análises de deterioração forçadas e identificação das causas raiz dos problemas encontrados.

Visto isso este trabalho irá apresentar os passos de implantação do RCM como identificar os modos de falhas dos equipamentos e como esta metodologia irá ajudar a empresa na melhoria de performance e redução de custos de manutenção.

Como contribuição social, acadêmica e profissional, este trabalho demonstrar e analisar a aplicação de metodologia da manutenção centrada em confiabilidade.

O objetivo geral deste trabalho é demonstrar as etapas de implantação do RCM e como esta metodologia pode ajudar a empresa a aumentar a eficiência e performance dos seus equipamentos.

Como objetivos específicos, tem-se:

- Apresentar os principais conceitos da metodologia RCM.
- Apresentar as etapas de aplicação da metodologia.
- Demonstrar a aplicação do FEMEA.
- Demonstrar um case de aplicação da metodologia.
- Apresentar os resultados e comparar com a literatura.

REFERENCIAL TEÓRICO

Nesta seção será abordado os conceitos pertinentes para a solução do estudo de caso, são eles:

Manutenção

Podemos entender a manutenção como uma série de ações e serviços técnicos, que devem ser realizados para manter o funcionamento normal e permanente dos equipamentos. Essas ações envolvem técnicas de prevenção, proteção, recuperação e correção.

A manutenção industrial surgiu no século XVI, devido a necessidade de se manter as máquinas em funcionamento para atender ao aumento da demanda de produção. Após a Segunda Guerra Mundial (a partir de 1939), a manutenção industrial tornou-se ainda mais importante, fazendo com que fossem necessários o desenvolvimento de novas técnicas para o planejamento, organização e controle das manutenções.

Segundo Kardec e Nascif (2009), a evolução da manutenção pode ser dividida em cinco gerações:

- Primeira geração: abrange o período antes da Segunda Guerra Mundial, quando os equipamentos eram simples. A produtividade não era prioridade, então, eram realizados apenas serviços de limpeza e lubrificação, além de reparos após a quebra, caracterizando uma manutenção corretiva não programada.
- Segunda geração: entre os anos 1950 e 1970, houve aumento da mecanização e necessidade de maior disponibilidade, confiabilidade e produtividade. Os custos de manutenção começaram a se elevar e surgiu o conceito de manutenção preventiva.
- Terceira geração: inicia a partir da década de 1970, quando o sistema Just in time fazia com que pequenas pausas para manutenção paralisassem a fábrica. A necessidade de monitoramento de condições deu origem à manutenção preditiva, facilitada pelo uso de tecnologias.
- Quarta geração: caracterizada por minimização de manutenções corretivas e preventivas, análise de falhas, preocupação com segurança e meio ambiente, gerenciamento de ativos.
- Quinta geração: ocorre a partir de 2005, em que o foco é a gestão de ativos, que devem produzir em sua capacidade máxima para obter o melhor retorno. A manutenção preditiva ganha ainda mais atenção com o monitoramento das condições de forma *on* e *off-line*.

Com a necessidade das empresas aplicarem os conceitos e técnicas de manutenção, iniciam o uso de um conjunto de ferramentas, com o objetivo de gerir e operar a manutenção sob um sistema organizado, culminando no surgimento das metodologias de manutenção: *Reliability Centered Maintenance* (RCM) na indústria aeronáutica americana, *Total Productive Maintenance* (TPM) no Japão, Terotecnologia na Inglaterra e combinação destas técnicas (KARDEC e NASCIF, 2009; MOUBRAY, 1997).

Classificação da manutenção

Tradicionalmente a classificação da manutenção é realizada em função da forma de planejamento das atividades e em função dos objetivos do método de manutenção aplicado (SIQUEIRA; 2009). Com relação ao planejamento, a

Manutenção pode ser realizada de forma planejada, executada sob um tempo e condições pré-estabelecidas, ou de forma não planejada, em função da necessidade. (FILHO, 2008; SIQUEIRA; 2009).

Conforme Viana (2006), alguns fatores como, recomendação dos fabricantes, segurança do trabalho e meio ambiente, características dos equipamentos e fatores econômicos devem ser levados em consideração para a definição da melhor estratégia de manutenção industrial.

Após a análise desses fatores, é escolhida a melhor estratégia de manutenção que pode ser corretiva, preventiva ou preditiva.

Manutenção corretiva

Bloom (2006) define manutenção corretiva como: todo trabalho executado em uma máquina ou equipamento em falha com objetivo de repará-la. Essa manutenção tem o objetivo de recolocar um item em condições de executar a função requerida e pode ser subdividida em:

- Manutenção corretiva não programada: corrige uma falha quando ela ocorre, paralisando as atividades produtivas do equipamento.
- Manutenção corretiva programada: corrige desempenho inferior ao esperado, ou seja, defeito que não tenha implicado falha.

Para Viana (2006), a manutenção corretiva é uma intervenção imediata, a fim de evitar consequências graves ao equipamento, ao trabalhador e ao meio ambiente.

Manutenção Preventiva

A manutenção preventiva é realizada de forma planejada, com intervalos pré-determinados definidos por um plano de manutenção, as intervenções são realizadas mesmo que os equipamentos não estejam em falha. Esse tipo de manutenção tem o objetivo de reduzir a probabilidade de falha e evitar o desgaste forçado dos componentes de um equipamento, evitando assim uma parada indesejada da produção. Este tipo de manutenção necessita de uma equipe permanente e de peças disponíveis para a troca conforme a periodicidade pré-estabelecida.

Filho (2008) afirma que manutenção preventiva são todas as ações de manutenção e reparo executados quando o sistema apresenta condições operacionais, ainda que com algum defeito. Segundo Mobley (2008) essas ações podem ser realizadas em intervalos de tempo predeterminados, em função da vida útil e do ciclo de operação, ou em função da condição do sistema.

Manutenção preditiva

Para (FILHO, 2008; MARÇAL, 2000) A manutenção preditiva consiste em toda a ação de acompanhamento ou monitoramento das condições de um sistema, seus parâmetros operacionais e sua eventual degradação, sendo realizada através de medições ou inspeções que não interfiram na operação do sistema. Ela se aplica, de forma planejada e sistemática, com técnicas de análise com o objetivo de reduzir ao mínimo as manutenções preventiva e corretiva. No entanto os custos de manutenção são elevados, pois são utilizadas ferramentas ou empresas especializadas para a detecção de fenômenos como: alteração no nível de vibração de equipamentos rotativos, contaminação de óleos lubrificantes, alteração nos níveis de pressão.

A diferença fundamental entre a manutenção preventiva e manutenção baseada nas condições, é que a preventiva é realizada logo que um intervalo. Predeterminado tenha decorrido, enquanto a baseada em condições requer

verificação em intervalos predeterminados. A ação de manutenção é realizada apenas se a inspeção mostrar necessidade. (BLOCH e GEITNER, 2005).

A escolha do método de manutenção adequado dependerá de razões técnicas e econômicas para cada equipamento ou sistema, podendo-se optar por um método isolado ou uma mescla dos três. Um programa de manutenção eficaz será alcançado através de uma combinação apropriada, a partir de vantagens e desvantagens dos diferentes métodos de manutenção existentes (MARÇAL, 2000; PAPIC et al., 2009).

Podemos identificar outros tipos de estratégias de manutenção sendo utilizados pelas empresas. Cada um com as suas características e particularidades ou apenas com nomenclaturas diferentes. O importante é definir um sistema eficiente para manter o equipamento o maior tempo possível disponível para o ciclo produtivo e encontrar um equilíbrio nos custos para tornar o processo de manutenção uma iniciativa viável para toda a empresa.

RCM (*Reliability-Centered Maintenance*) e MCC (Manutenção Centrada Na Confiabilidade)

Todos os equipamentos utilizados na indústria estão susceptíveis a defeitos e falhas que podem gerar paradas inesperadas durante sua operação. Estas paradas podem trazer perda de eficiência no processo produtivo e também prejuízos financeiros para a organização. Portanto, é muito importante que a área de manutenção conheça os equipamentos e seus modos de falha, para que possa realizar de forma preventiva e eficiente a intervenção necessária e em momento oportuno para que a produção não seja interrompida de forma inesperada. Corroborando com a ideia Souza e Lima (2003), afirmam que o RCM, identifica e mensura a confiabilidade de um sistema (equipamentos, máquinas e processos) e, de maneira científica, propõe meios para aumentar essa confiabilidade.

História da RCM e conceito

A Manutenção Centrada na Confiabilidade surgiu na década de 1970. Com a necessidade de certificar a nova linha de aeronaves Boeing 747, pela FAA – *Federal Aviation Authority* nos Estados Unidos. Esse avião tinha níveis

de tecnologia muito superior comparado com qualquer aeronave existente na época.

O uso de metodologias de manutenção existentes na época não iria atender as exigências para a certificação da FAA. Isso foi o ponto de partida inicial para que em 1968 fosse criada uma equipe liderada pelo então Vice-Presidente de Planejamento de Manutenção – Thomas D. Matteson – e outros três engenheiros que tiveram a missão de desenvolver uma política de manutenção que garantisse a confiabilidade operacional das aeronaves sem gerar custos elevados. (SMITH 1993).

Siqueira (2005) afirma que a origem da Manutenção Centrada na Confiabilidade (MCC) está relacionada aos processos tecnológicos e sociais que se desenvolveram após a Segunda Guerra Mundial. No campo tecnológico, foram decisivas as pesquisas iniciadas pela indústria bélica americana, seguidas pela automação industrial em escala mundial, viabilizadas pela evolução da informática e telecomunicações, presentes em todos os aspectos da sociedade atual.

A RCM é um processo utilizado para determinar requisitos de manutenção de qualquer item físico no seu contexto operacional, estudando as diversas formas pelas quais um componente pode falhar e realizando ações para evitar essas falhas. A RCM pode ser considerada uma ferramenta para tomada de decisão sobre quais políticas de manutenção devem ser adotadas.

Para Siqueira (2009, p. 17), as principais expectativas deste serviço de manutenção são baseadas na preservação da eficácia do funcionamento do sistema, dando ênfase nos dados com documentação obrigatória e sistemática, combatendo as consequências das falhas, seguindo normatizações e priorizando as funções.

De acordo com Smith (1993, p. 51), a MCC tem o propósito de "preservar as funções do sistema, identificar os modos de falha que afetam essa função de determinar a importância das falhas funcionais [...] e selecionar as tarefas aplicáveis e efetivas na prevenção das falhas". Utilizando as diferentes formas de manutenção, o RCM pretende diminuir as falhas dos equipamentos a partir na elaboração das necessidades de manutenção de cada equipamento e seus subconjuntos.

De acordo com Moubray (2000), os resultados esperados com a implementação do RCM são:

- Maior segurança humana e proteção ambiental;
- Melhoria do desempenho operacional em termos de qualidade;
- Maior efetividade do custo da manutenção;
- Aumento da vida útil dos itens físicos mais dispendiosos;
- Maior motivação do pessoal envolvido com a manutenção;
- Melhoria do trabalho em equipe.

FMEA (*Failure Mode and Effects Analysis*)

A Manutenção Centrada na Confiabilidade sugere uma metodologia estruturada para que a gestão da manutenção seja realizada com foco nas atuações preventivas. A metodologia FMEA (*Failure Mode and Effects Analysis*, em português, Análise do Modo e Efeitos de Falha) é uma ferramenta eficiente utilizada para identificar e avaliar as falhas potenciais que podem surgir em um processo, para que se possa definir as ações, podendo assim eliminar ou reduzir a chance de ocorrência dessas falhas.

Para Kardec e Nascif (2001), o FMEA é uma abordagem que contribui na identificação e priorização das falhas e causas potenciais em equipamentos, componentes, sistema e processos, ou seja, hierarquiza as possíveis falhas e propõe ações preventivas.

Segundo Yang et al. (2006), a ferramenta FMEA pode ser entendida como uma metodologia sistemática que permite identificar os potenciais falhas de um sistema, projeto e/ou processo, com o objetivo de eliminar ou minimizar os riscos associados, antes que tais falhas aconteçam. O objetivo é eliminar os modos de falha ou reduzir os riscos associados.

Fernandes (2005) destaca que os passos para a execução do FMEA são:

- Identificação dos modos de falha conhecidos e potenciais.
- Identificação dos efeitos de cada modo de falha e a severidade de cada um.
- Identificação de todas as causas possíveis para cada modo de falha e a possibilidade de ocorrência de falhas relacionadas a cada causa.

- Identificação do meio de detecção no caso da ocorrência do modo de falha e sua respectiva probabilidade de detecção.
- Avaliação do potencial de risco de cada modo de falha e definição de medidas de eliminação ou redução do risco de falha.

Por fim, a equipe deve ajustar as escalas de classificação e de seus valores específicos antes de desenvolver o FMEA. Não existe uma regra obrigatória para o índice. Todos devem conhecer o que foi adotado pela empresa e isso levará a uma economia de tempo em relação ao desenvolvimento. Conseqüentemente, aumentará a precisão das classificações de cada membro da equipe. As organizações utilizam muitas vezes escalas próprias, onde valores diferentes não possuem definições distintas, o que pode gerar discussões por parte dos integrantes da equipe. (PALADY, 2007).

METODOLOGIA

Procedimentos metodológicos

O ponto de partida de uma pesquisa científica é a determinação do objetivo e do tipo de abordagem, qualitativa ou quantitativa. Assim, um estudo quantitativo considera tudo que pode ser quantificável, o que significa traduzir em números opiniões e informações para classificá-las e analisá-las, utilizando de recursos e técnicas estatísticas (TURRIONI; MELLO, 2012). Enquanto a pesquisa qualitativa “difere em princípio, do quantitativo, à medida que não emprega um instrumental estatístico como base na análise de um problema, não pretendendo medir ou numerar categorias” (DALFOVO et al., 2008, p. 09).

Segundo Yin (2005, p. 32), “o estudo de caso é uma investigação empírica que investiga um fenômeno contemporâneo dentro de seu contexto da vida real” .

A metodologia utilizada para a realização neste trabalho consiste, inicialmente, na revisão bibliográfica acerca do tema manutenção industrial e aplicação da manutenção centrada em confiabilidade.

A segunda parte do trabalho é o estudo de caso, onde os conceitos estudados acerca da metodologia RCM foram aplicados em um equipamento de uma indústria de bebidas.

Descrição do estudo de caso

Segundo pesquisa realizada pela abras, em 2018, ao contrário do Brasil, a indústria global de refrigerantes voltou a crescer, movimentando 216,5 bilhões de litros, um aumento de 0,3%. “Apesar da China ter ultrapassado o Brasil no volume absoluto, o consumo per capita ainda é maior aqui”. No ano passado, os brasileiros consumiram o equivalente a 14 latas de refrigerantes (350ml) por mês, 12 a mais do que a média chinesa (ABRAS, 2019). Mostrando que no Brasil há uma grande oportunidade de crescimento no consumo de refrigerantes.

Embora exista uma tendência de os brasileiros substituírem os refrigerantes por opções mais saudáveis, com menos açúcar, por exemplo, ainda assim o consumo continuará muito forte.

Baseado nesses dados, onde existe um grande potencial de crescimento na indústria de refrigerantes, a empresa XYZ, objeto de pesquisa deste estudo de caso, que atua no setor de bebidas, optou por mudar sua estratégia de manutenção, que atuava apenas de forma corretiva para a solução das anomalias e esperava que os componentes chegassem ao fim de sua vida útil para realizar as trocas necessárias, implantando o RCM iniciando uma revisão e alteração de todos os seus planos de manutenção.

Portanto o objetivo deste estudo é analisar os passos para a implantação do RCM, bem como as dificuldades encontradas na sua aplicação e os benefícios que esta metodologia pode trazer para uma empresa se manter cada vez mais competitiva no mercado .

RESULTADOS E DISCUSSÃO

Dentro dos processos de manutenção após certo tempo de utilização dos equipamentos se aplica a ferramenta de manutenção (estratégica) - manutenção centrada em confiabilidade que tem como principal objetivo a definição de planos de manutenção eficientes e enxutos, utilizando no máximo 40% do tempo da mão de obra técnica e com baixo custo.

Historicamente os planos de manutenção eram criados geralmente em reuniões de rotina, sem análise de deterioração natural e forçada, e ao invés de

gerar ações para eliminar causa raiz (que são 80% das causas das falhas), incluía-se um novo plano de manutenção, gerando uma demanda desnecessária e sobrecarregando a equipe técnica.

Com o RCM os planos de manutenção passam a ser estratégicos para a performance e resultados da empresa, ocupando cerca de 40% do tempo dos técnicos para as falhas geradas pela deteriorização natural e, liberando 60% do tempo deles para análises de 5 porquês. A solução da causa raiz das anomalias geradas por deteriorização forçada, execução de monitoramentos, capacitação e manutenções de oportunidades.

Abaixo seguem alguns passos importantes que devem se seguidos para a revisão e implantação de planos de manutenção eficientes e enxutos:

- Definir planos de manutenção apenas para modos de falhas de deteriorização natural, com maiores impactos;
- Não se define plano de manutenção em reunião;
- Não se faz cópia de plano de manutenção, pois cada um deles possui um contexto operacional diferente;
- Todos os planos de troca de mandatória e serviços devem ser valorizados para um planejamento dos recursos necessários para a execução;
- As inspeções devem ser qualitativas, possuir parâmetros para comparação;
- As inclusões de peças em estoque visam atender o plano de manutenção, devido a isso devem ter giro;
- Ordem de manutenção não se discute, se executa na frequência definida.

Deterioração natural e forçada

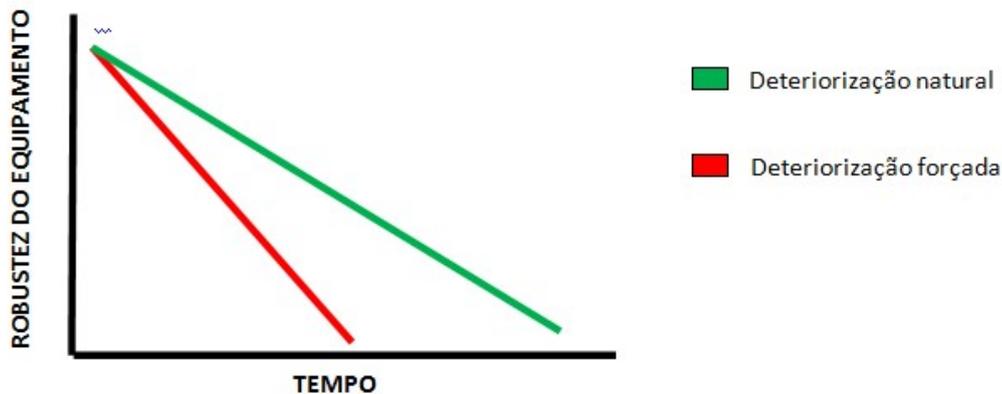
É importante diferenciar estes dois tipos de deteriorização, pois cada um exige uma abordagem de manutenção diferente.

Deterioração Natural: este tipo de deterioração ocorre quando o equipamento opera em condições de projeto, na velocidade certa, temperatura certa, limpeza correta, lubrificante certo e com os planos de manutenção sendo executados na frequência correta.

Deterioração Forçada: este tipo de desgaste ocorre quando o equipamento opera em condições que não foram projetadas como velocidade incorreta, muita vibração, temperatura alta no painel, lubrificante incorreto e não se executa as manutenções na frequência correta.

A Figura 1 demonstra a diferença entre deterioração forçada e natural. O eixo vertical representa a robustez do equipamento e seus componentes, enquanto o eixo horizontal representa o tempo. À medida que o tempo avança, a deterioração do equipamento ocorre até que atinja o ponto de falha.

Figura 1 - Diferença entre deterioração forçada e natural



Fonte: O autor (2021).

Com a deteriorização forçada o equipamento deteriora-se a um ritmo muito mais rápido, resultando em falhas que ocorrem mais rapidamente em comparação com a deteriorização natural. Devido a isso que a deteriorização natural deve ser tratada com planos de manutenções e a forçada com solução e tratamento da causa raiz que gera a falha.

Aplicando o RCM

Para iniciar a definição de um plano de manutenção, devemos primeiramente avaliar o motivo pelo qual o equipamento ou subconjunto existe, isso se faz com a avaliação dos padrões de desempenho do equipamento. Os padrões de desempenho são as faixas padrões de operação, como: temperatura, velocidade, torque, concentração, pressão etc. que assegurem

performance e qualidade ao produto, mantendo a segurança e zero riscos ao meio ambiente. Abaixo segue um exemplo de função de uma lavadora de garrafas, quanto mais detalhado melhor, já que o objetivo do plano de manutenção é manter as funções do equipamento.

Função lavadora de garrafas: lavar garrafas a uma temperatura entre 65°C e 80°C, com uma concentração de soda entre 2,1 até 2,5 ms, com velocidade de 30.000 garrafas/hora, com tempo de imersão de 10 min por garrafa. Não é aceitável que as garrafas saiam com rótulos.

Peças de desgaste natural

Após definida a função do equipamento que se deseja aplicar o RCM, deve-se questionar quais são as peças de deterioração natural que afetam a perda de função do equipamento? Estas peças devem ser todas listadas para que sejam submetidas às análises do RCM.

Modos de falha

O modo de falha é o modo com que a peça se deteriora como, por exemplo: desgaste, ressecamento, deformação, entupimento, sujidade etc.

Após identificar as peças de desgaste natural, é necessário identificar o modo de falha natural de maior impacto para cada peça. Então se faz a seguinte pergunta: Qual o modo de falha de deterioração de cada peça?

Exemplo:

Peça: Bucha do eixo principal da entrada da lavadora de garrafas.

Modo de falha: Desgaste mecânico.

Esta análise deve ser feita para todas as peças do equipamento.

Análise FEC (Efeitos e consequências)

Vimos até o momento como definir a função, as peças e os principais modos de falha dos equipamentos, o próximo passo é avaliar os efeitos e as consequência da falha. Esta avaliação deverá ser atribuindo um grau de importância que ajudará a definir qual tipo de plano de manutenção será usado. (corretiva, preventiva, preditiva etc.)

Efeito: é como a falha afeta a função do equipamento ou do subconjunto. Ex: o desgaste da bucha leva ao empenamento do eixo e

sobrecarga nos mancais, gerando falhas de sincronismo e consequente quebra do eixo.

Consequência: é como a perda da função do equipamento afeta a estratégia da planta (custo de manutenção, tempo de parada/ performance, qualidade segurança e meio ambiente. Ex paradas acima de 24h com alto custo de manutenção. Abaixo é demonstrado como analisar o feito e consequência de forma quantitativa.

A Figura 2 apresenta de forma quantitativa como fazer uma análise dos efeitos e suas consequências.

Figura 2 –Análise de efeito e consequência

Tabela com a lista de seleção				
	Crítérios	Alto (5)	Médio (3)	Baixo (1)
1	Efeito em custo de manutenção	> R\$10.000	>1<10	<1000
2	Efeito em produção	> 24h	>1h<8h	<30min
3	Efeito em requisito de qualidade	Requisito legal	KPI principal	Despresível
4	Efeito em segurança	Requisito legal	KPI principal	Despresível
5	Efeito em meio ambiente	Requisito legal	KPI principal	Despresível
15 - 25	Manutenção preditiva			

Fonte: O autor (2021).

Pode-se perceber analisando a Figura 2 que quanto maior for o grau de importância da falha, são exigidas tarefas de manutenção que possam identificar as falhas em seus estágios iniciais, esta tabela poderá ser usada durante a discussão para a decisão do melhor plano a ser utilizado para cada equipamento.

Dentro da análise de FEC, existe um conceito de falhas ocultas ou evidentes, que serve para definir tarefas de manutenção que visam testar a função do subconjunto devido a falha neles não ser perceptível em condições normais de operação, é o caso de falhas ocultas. Exemplos: relés de segurança de subestações e sistema de segurança em geral.

Contexto operacional

A análise do contexto operacional visa avaliar algumas características do ambiente e da instalação que possam influenciar nos modos de falhas e por

isso alterar o tipo de plano de manutenção. Exemplo: Um redutor possui acesso e outro não. No redutor que não tem acesso é inviável fazer inspeção de vibração e análise de óleo de forma tradicional, neste caso o seria ideal a aplicação de uma preditiva online. Já no redutor com acesso a inspeção tradicional seria viável.

A análise dos diferentes contextos operacionais levará a uma decisão mais assertiva do plano de manutenção.

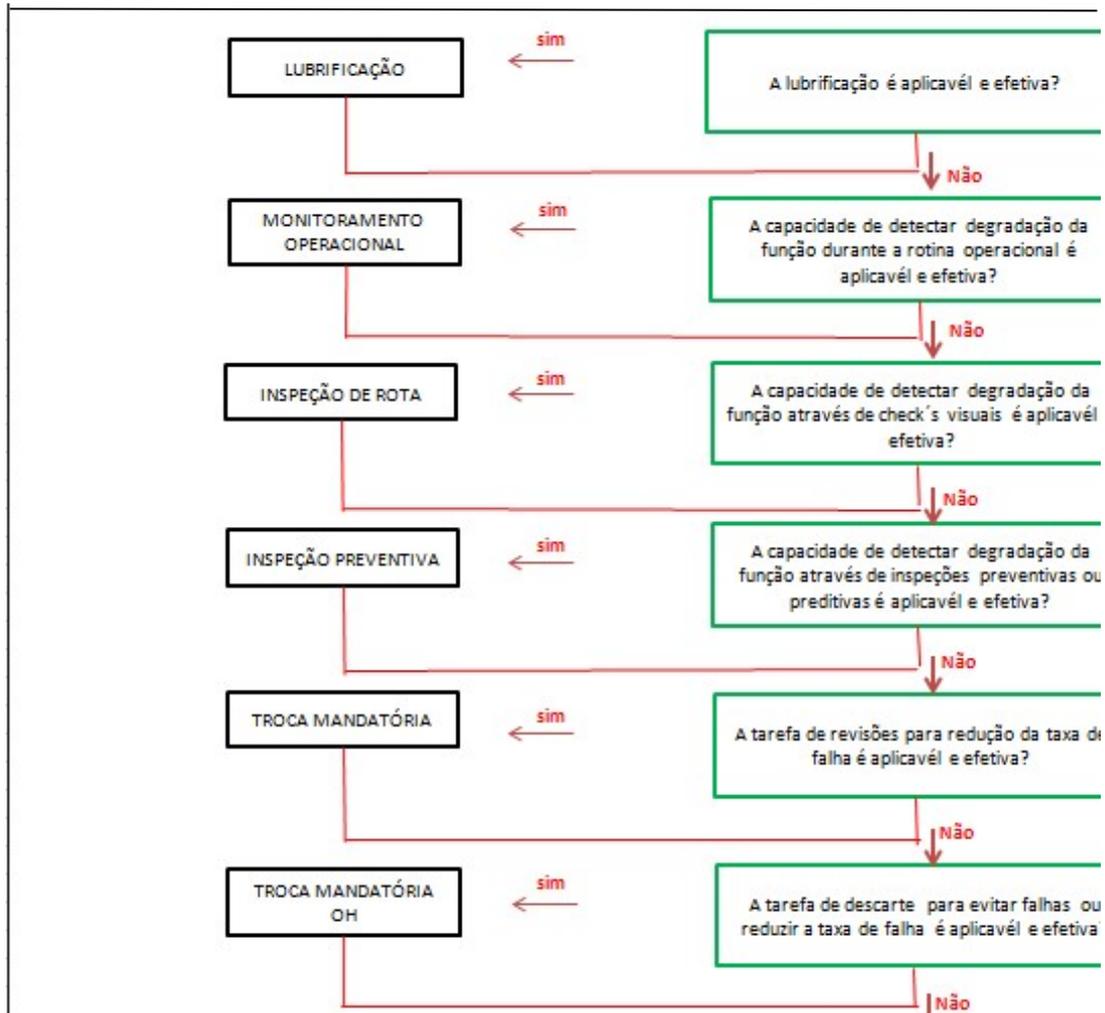
Decisão lógica

A decisão lógica é o momento em que será decidido qual o plano de manutenção será aplicado e esta decisão irá influenciar nos custos de manutenção, por isso deve ser analisada com bastante critério (modo de falha, análise FEC, contexto operacional). Abaixo, temos uma sequência lógica de avaliação, onde para cada tipo de plano se questiona a viabilidade e eficiência:

- Lubrificação;
- Limpeza técnica;
- Inspeções (operacionais);
- Inspeções (qualitativas, com parâmetros e gabaritos);
- Inspeções (preditivas: análises de óleo, vibração, termográfica, MCE);
- Trocas mandatórias/*Overall*.

A Figura 3 apresenta as perguntas que devem ser respondidas para a definição do melhor plano de manutenção para cada equipamento.

Figura 3 – Classificação de tipo de plano de manutenção



Fonte: O autor (2021).

Exemplo: Componentes com desgaste natural: Buchas do eixo principal da lavadora de garrafas.

- Principal modo de falha natural: desgaste mecânico.
- Segundo, o diagrama da primeira pergunta é: a lubrificação é uma tarefa aplicável e efetiva para o modo de falha? R.: Sim. Então sabemos que temos uma tarefa de lubrificação.
- Sabemos que é um, item de desgaste, então chegará um momento do final de sua vida útil, por isso é necessário existir uma tarefa para identificar esse momento para a substituição de peças. Fazemos a seguinte pergunta: a capacidade de detectar a degradação durante a rotina operacional é aplicável e efetiva? R.: Não, então passa para a próxima pergunta.

- A capacidade de detectar com inspeção de rota qualitativa é eficiente?
R.: Não.
- Quarta pergunta, a capacidade de detectar a degradação da peça com inspeções preventivas (desmontar para avaliar) ou preditiva eficiente?
R.: Não.
- Quinta pergunta, a tarefa de revisão é aplicável e efetiva? R.: Não, porque não se revisa (não se recupera uma bucha).
- Sexta pergunta, a tarefa de descarte e troca da peça é aplicável e eficiente? R.: Sim, obs.: Caso nenhuma das perguntas acima fossem aplicáveis, será necessária uma reformulação do equipamento, ou seja, uma mudança no projeto.

Conclusão: Neste exemplo que foi dado do eixo da entrada de garrafas as tarefas de manutenção selecionadas seriam a lubrificação e a troca mandatória.

Definição das frequências

Existem diversas formas para se definir a frequência de um plano de manutenção, as mais sofisticadas levam em conta o histórico de falhas podendo ser utilizados cálculos em software, estatística de falhas (*Weibull*, log, etc.), porém é necessário ter informações confiáveis do tempo entre falhas ao nível de componentes, aberto por modos de falhas. Um modo mais simples e que o resultado é satisfatório, é definir a frequência usando o histórico de tempo de vida útil dos subconjuntos definida pela equipe envolvida (por isso a importância de ter pessoas de diferentes conhecimentos envolvidas no RCM: operador, mecânico, eletricista, supervisão), manuais e criticidades do equipamento.

Valorização de planos

Após a definição do plano de manutenção seguindo o método RCM, devemos conhecer o custo do nosso plano de manutenção para que as rotinas de planejamento e execução funcionem bem. Não basta apenas termos um bom plano de manutenção, é necessário termos uma boa rotina de planejamento e execução para que seja efetivo.

Procedimentos de manutenção

Os procedimentos de manutenção descrevem o passo a passo para a execução de uma atividade. Uma vez elaborados fornecem informações como: tempo necessário para a execução da atividade, os recursos necessários (matérias e ferramentas), as especificações de segurança entre outros que farão parte do conjunto de informações de uma ordem de serviço.

- Requisitos mínimos;
- Cada procedimento de manutenção deve ter um número de referência do documento para controle do SGM;
- Procedimentos de manutenção devem ser específicos para cada tarefa;
- Desenhos ou fotos devem ser incluídos nos procedimentos para detalhar melhor os passos;
- Todos os procedimentos de manutenção devem estar disponíveis com uma ordem de serviço no momento e local da execução.
- Em caso de procedimentos de inspeções, sempre indicar os parâmetros para comparação (temperatura, vibração, desgaste etc).

A ideia principal das inspeções é monitorar a progressão do modo de falha de forma a permitir ter previsibilidade da falha (quanto tempo para trocar a peça). Exempla, mede-se a largura do rasgo da estrela da entrada de uma enchedora, compara -se com o parâmetro (desgaste máximo em milímetros, ex.: 10mm) e registra-se o valor. As medições executadas conforme a periodicidade do plano dará informações sobre a estimativa de vida útil da peça, por exemplo, o plano trimestral da estrala de entrada de uma enchedora:

- Medição em janeiro: desgaste de 5mm;
- Medição em abril: desgaste de 6mm;
- Medição em julho: desgaste 8mm;
- Medida padrão (parâmetro) 10mm de desgaste se for maior deve-se substituir a peça.

Em 6 meses houve 3mm de desgaste, usando um cálculo simples de reta, em 4 meses será necessário substituir a peça. Então o planejador poderá de planejar para disponibilizar a peça com antecedência.

Inclusão de peças em estoque

A inclusão em de peças em estoque visa reduzir a burocracia, buscando sempre ter as peças com maior giro disponíveis, não é viável incluir peças de baixo giro em estoque, com exceção de peças críticas (vida útil indeterminada, subconjunto reserva indisponível, alto impacto).

Tipos de inclusões de estoque para atendimento do RCM:

- **Peças de troca mandatória:** planos de manutenção de troca mandatória valorizando com periodicidade de até 6 meses.
- **Peças por troca por condição:** (inspeções com parâmetros): peças cadastradas na lista técnica e que possuem histórico de consumo de no mínimo 2 por ano.
- **Peça crítica:** vida útil indeterminada, inviabilidade técnica de inspeção/plano, alto impacto em produção.

CONCLUSÃO

Este trabalho foi feito com o objetivo de fornecer conceitos e informações para a implantação do RCM em uma empresa de bebidas, mostrando que esta metodologia é benéfica para as estratégias de manutenção adota pela empresa.

A participação de pessoas com diferentes conhecimentos para a criação do FMEA demonstra que as análises de falhas, assim como a identificação da causa raiz, devem ser realizadas em conjunto para uma melhor eficácia da ferramenta.

A confiabilidade é uma ferramenta importante para melhorar a eficiência e desempenho dos equipamentos. Com a aplicação na indústria de bebidas foi possível identificar os principais modos de falha que podem afetar disponibilidade dos equipamentos e tratar as falhas de forma eficaz.

Ficou claro que os planos de manutenção devem ser feitos de forma criteriosa e detalhados o suficiente para garantir uma execução com qualidade da equipe técnica ou operacional.

Dessa forma, a realização deste trabalho demonstrou os conceitos e os passos que devem ser seguidos com exemplos práticos para a implantação de

novas maneiras para o monitoramento das condições dos equipamentos e conformidade com a manutenção centrada em confiabilidade.

Por fim, com a utilização do FMEA foi demonstrado que é possível expandir a análise a dos feitos e modos de falha, permitindo o mapeamento das falhas que mais impactam na disponibilidade das máquinas e a priorização das ações de controle de acordo com as situações de maior risco para o processo.

Em trabalhos futuros pretende-se demonstrar os resultados da aplicação da manutenção centrada em confiabilidade como a liberação de horas de mão de obra técnica resultado da revisão dos planos de manutenção, para que esse recurso seja usado para as manutenções preventivas e melhoria contínua dos equipamentos. Demonstrar também os a melhora da eficiência dos equipamentos e a diminuição dos gastos com manutenções emergenciais em consequência da aplicação das trocas mandatórias respeitando o tempo de vida útil de cada componente.

REFERÊNCIAS

ABRAS. **Consumo de refrigerantes só deve apresentar recuperação em 2020**. Publicado em 8 de março de 2019. Disponível em: < <https://www.abras.com.br/clipping/bebidas/67449/consumo-de-refrigerantes-so-deve-apresentar-recuperacao-em-2020> >. Acesso em 23 de junho de 2021.

BLOCH, P., GEITNER, K. **Machinery Component Maintenance and Repair: practical machinery management for process plants**. 3ª. ed. Burlington: Elsevier Inc., v. 3, 2005.

BLOOM, N. **Reliability Centered Maintenance (RCM): implementation made simple**. 1ª. ed. New York: McGraw-Hill Professional, 2006.

DALFOVO, MS., LANA, RA., SILVEIRA A. **Métodos quantitativos e qualitativos: um resgate teórico**. Revista interdisciplinar científica, 2008.

FERNANDES, J. M. R. **Proposição de abordagem integrada de métodos da qualidade baseada no fmea**. 2005. 118p. Dissertação (mestrado). Pontifícia Universidade Católica do Paraná. Curitiba, 2005.

FILHO, G. B. **A Organização, o Planejamento e o Controle da Manutenção**. 1ª. ed. Rio de Janeiro: Ciência Moderna, 2008.

KARDEC A., NASCIF, J. **Manutenção: função estratégica**. 3ª edição. Rio de Janeiro: Qualitymark: Petrobrás, 2009.

MARÇAL, R. F. M. **Um método para detectar falhas incipientes em Máquinas Rotativas baseado em Análise de Vibrações e Lógica Fuzzy**. 2000. 124 f. Tese (Doutorado) –

Programa de Pós-Graduação em Engenharia Metalúrgica, de Minas e dos Materiais, Universidade Federal do Rio Grande do Sul. Porto Alegre, 2000.

MOUBRAY, J. **Gerenciamento de Manutenção: um novo paradigma** - São Paulo: SQL Systems Brasil Ltda, 1997.

MOUBRAY, J. **RCM II: manutenção centrada em confiabilidade**. Grã Bretanha: Biddles Ltd., Guilford and King's Lynn, 2000.

PALADY, P. **FMEA análise dos modos de falhas e efeitos: Prevendo e prevenindo problemas antes que ocorram**. 4.ed. São Paulo: IMAN, 2007.

PAPIC, L., ARONOV, J., PANTELIC, M. Safety Based Maintenance Concept. **International Journal of Reliability, Quality and Safety Engineering**. New Jersey (USA), v. 16, n. 6, p. 533–549, dez. 2009.

SIQUEIRA, Y. P. D. S. **Manutenção centrada na confiabilidade: manual de implantação**. 1ª (Reimpressão). ed. Rio de Janeiro: Qualitymark, 2009.

SMITH, A. M. **Reliability-Centered Maintenance**. 1ª. ed. Boston: McGrawHill, 1993.

TURRIONI, J. B., MELLO, C. H. P. **Metodologia de Pesquisa em Engenharia de Produção: estratégias, métodos e técnicas para condução de pesquisas quantitativas e qualitativas**. Universidade Federal de Itajubá (UNIFEI), 2012.

VIANA, H. R. G. **Planejamento e Controle da Manutenção**. Ed. QualityMark, 2006.

YANG, C., YUAN, C., LIN, W., LIN M., HUANG, J. A study on applying FMEA to improving ERP introduction an example of semiconductor related industries in Taiwan. **International Journal of Quality & Reliability Management**, v. 23, nº 3, pp. 298-322, 2006.

YIN. R. K. **Estudo de caso: planejamento e métodos**. 3 ed. Porto Alegre: Bookman, 2005.