

# Revista Femass

eISSN 2675-6153

Número 5 - jan./jun., 2022

## ESTUDO DE IMPLANTAÇÃO DA MANUTENÇÃO BASEADA EM RISCO NUMA EMPRESA DE COMÉRCIO E DISTRIBUIÇÃO DE COMBUSTÍVEIS

STUDY OF IMPLEMENTATION OF RISK-BASED MAINTENANCE IN A  
FUEL TRADING AND DISTRIBUTION COMPANY

Paulo Apicelo de Souza Pereira, D.Sc.

Universidade Federal Fluminense

pauloapicelo@id.uff.br

 <https://orcid.org/0000-0002-7765-3961>

Helton Luiz Santana Oliveira, D.Sc.

Universidade Federal Fluminense

heltonsantana@id.uff.br

 <https://orcid.org/0000-0001-5088-7541>

Recebido: 30/09/2022

Aprovado: 31/10/2022

DOI: <https://dx.doi.org/10.47518/ufv.v5i2.65>



Os artigos publicados neste número estão em acesso aberto (*Open Access*) sob a licença *Creative Commons Attribution*, que permite o uso, distribuição e reprodução em qualquer meio, sem restrições, desde que os trabalhos originais sejam corretamente citados.

**Resumo:** Este trabalho apresenta conceitos da manutenção baseada em risco (MBR) para o desenvolvimento de um plano de manutenção e, através de um estudo de caso, feito em tanques de armazenamento de uma grande empresa distribuidora de combustíveis inflamáveis, é proposta a aplicação desta metodologia. Foram consultados os dados da análise FMECA de uma empresa similar para identificar os modos de falhas principais dos componentes do tanque de armazenamento e, a partir deles, foram calculados os riscos considerando-se as pessoas, o patrimônio, as perdas financeiras, o meio ambiente e a operacionalidade dos equipamentos. O critério de aceitação de risco foi definido e propostas de manutenções foram feitas visando manter o risco geral do equipamento envolvido dentro do aceitável.

**Palavras-Chave:** Tanques de armazenamento. Manutenção baseada em risco. Modos de falha.

**Abstract:** This work presents concepts of risk-based maintenance (RBM) for the development of a maintenance plan and through a case study, carried out in storage tanks of a large company that distributes flammable fuels, the application of this methodology is proposed. Data from the FMECA analysis of a similar company were consulted to identify the main failure modes of the storage tank components and from them, the risks were calculated considering people, property and financial losses, the environment and equipment operability. The risk acceptance criterion was defined and maintenance proposals were made in order to keep the overall risk of the equipment involved within the acceptable range.

**Key-words:** Storage tanks. Risk-based inspection. Failure mode.

## 1 INTRODUÇÃO

Os negócios têm assumido configurações cada vez mais complexas nos últimos anos. Uma das razões para isso é o grande aumento na diversidade de produtos e serviços que as empresas têm disponibilizado ao mercado. Isto acirrou a competição entre mercados – nacionais e internacionais – concorrentes que visam ganhar e satisfazer o cliente, ampliando, assim, a participação no mercado e garantindo melhores resultados, graças à maior produtividade.

Grandes corporações da área de óleo e gás, que operam instalações e plantas industriais, requerem a garantia de padrões mínimos de segurança, maior eficiência de equipamentos, máxima disponibilidade para operação e custos de manutenção adequados, que exigem a utilização de técnicas estruturadas e objetivas que possam atender a todas essas questões. Então, justifica-se que estas empresas gastem milhões de dólares todo ano tentando melhorar a integridade mecânica dos seus equipamentos, mas o desafio reside em determinar onde focar os recursos limitados da indústria para causar o maior impacto na segurança do maquinário. Assim, um programa de Manutenção Baseada em Risco (MBR) será proposto para ajudar a definir um plano de manutenção que otimize e priorize a quantidade de preventivas realizadas, além de gerenciar o risco daqueles equipamentos que apresentam níveis mais altos, quando apresentados na matriz de risco da empresa.

O objetivo é definir com eficiência em termos de custos e riscos, aqueles poucos defeitos críticos que podem levar às falhas principais e, por isso, será feito um estudo de caso de uma grande distribuidora de combustíveis brasileira, com a proposta da implantação da Manutenção Baseada em Risco, tendo como resultado a maior confiabilidade dos ativos e redução dos custos de manutenção.

Para que seja possível atingir o objetivo geral, deverão ser cumpridos os seguintes objetivos específicos:

- 1 - Analisar a estrutura da empresa do estudo de caso e as formas atuais de gestão da manutenção;
- 2 - Analisar os modos de falhas, causas, efeitos e criticidades dos equipamentos onde se propõe o estudo;
- 3 - Propor a MBR, de forma a atuar com mais frequência no plano manutenção e com melhores produtos e técnicas, diminuindo as falhas e as possíveis perdas financeiras.

### 1.2. Formulação da situação problema

A motivação do trabalho é gerenciar a manutenção orientada para resultados, em cujas bases de distribuição com centenas de equipamentos, há a necessidade de se estabelecer uma metodologia ou sistemática para gerenciar

os riscos, de modo que se identifique potenciais falhas e priorize os equipamentos e modos de inspeção e de manutenção para se prevenir esses riscos de forma a mantê-los disponíveis pelo maior tempo possível.

### **1.3. Metodologia**

O presente artigo foi desenvolvido, inicialmente, por meio de pesquisa bibliográfica, delimitação do caso, coleta e análise dos dados obtidos de outra empresa de ramo similar citada no estudo de caso. A partir desses dados e estabelecida toda metodologia de análise qualitativa do risco, foi proposto um cenário hipotético, no qual o resultado final a ser apresentado será a melhoria no gerenciamento do programa de manutenção.

Para apresentar o conceito da Manutenção Baseada em Risco (MBR), é necessário citar alguns tópicos gerais sobre a manutenção industrial, algumas das técnicas mais consagradas no mercado como a Manutenção Centrada em Confiabilidade e a Inspeção Baseada em Risco, de modo a compreender o diferencial e a importância que a MBR traz para a empresa que a adota.

Segundo LIMA, SANTOS e SAMPAIO (2010), as organizações industriais demandam ações de manutenção como uma das suas atividades relevantes, fruto do reconhecimento da crescente importância para o sucesso e a sobrevivência dos negócios.

## **2 CONCEITUAÇÃO DA MANUTENÇÃO**

Para a ABNT – Associação Brasileira de Normas Técnicas (1994), a manutenção é conceituada como a combinação de todas as ações técnicas e administrativas, incluindo as de supervisão, destinadas a “manter” ou “recolocar” um item em um estado no qual possa desempenhar uma função requerida.

O nível de gerenciamento das atividades de manutenção não deve ter seu escopo voltado apenas em manter as condições originais dos equipamentos, mas também devem introduzir melhorias que visam a aumentar a produtividade alterando as condições originais de operação, desempenho e de novos patamares de confiabilidade.

Para melhor compreensão dos aspectos que envolvem a manutenção e suas fronteiras, serão explicados, nos próximos itens, os tipos de manutenção que estão sendo utilizados pelas indústrias.

### **2.1. Manutenção corretiva**

Segundo ALMEIDA (2000), a manutenção corretiva é uma técnica de gerência reativa que espera pela falha da máquina ou equipamento, antes que seja

tomada qualquer ação de manutenção. O resultado líquido deste tipo de gerência é maior custo de manutenção e menor disponibilidade de maquinaria de processo.

## 2.2. Manutenção preventiva

Manutenção preventiva é a atuação realizada de forma a reduzir ou evitar a falha ou queda de desempenho, obedecendo a um plano previamente elaborado, baseado em intervalos definidos de tempo (KARDEC e NASCIF, 2013).

## 2.3. Manutenção preditiva

São tarefas de manutenção preventiva, que visam acompanhar a máquina ou as peças, por monitoramento, por medições ou por controle estatístico e tentam prever a proximidade da ocorrência da falha. O objetivo dela é determinar o tempo correto da necessidade da intervenção mantenedora, com isso, evitando desmontagens para inspeção, estendendo sua vida útil (VIANA, 2013).

## 2.4. Manutenção centrada na confiabilidade

O objetivo da manutenção, na ótica da MCC, é assegurar que um sistema ou item continue a preencher as suas funções desejadas, pois no enfoque tradicional da manutenção, todas as falhas são ruins e, portanto, todas devem ser prevenidas (LAFRAIA, 2001).

A literatura define a MCC como uma ferramenta de manutenção que auxilia na determinação de tarefas que poderão ser adotadas no plano de manutenção. Além disso, também pode garantir a confiabilidade e a segurança operacional dos equipamentos instalados. Portanto, segundo MOUBRAY (2000), a MCC é um método que determina as atividades que devem ser feitas a fim de garantir que qualquer ativo físico continue a cumprir sua função.

## 3 TÉCNICAS DE ANÁLISE DE FALHAS

Para a obtenção do aumento da confiabilidade dos equipamentos instalados nas plantas industriais é imprescindível a utilização de técnicas de análise de falhas. Quando a manutenção, por meio de seu pessoal ou em grupos multidisciplinares, utiliza essas ferramentas, está praticando Engenharia de Manutenção. Essas técnicas, basicamente, identificam a causa do problema, sugerem uma ação de bloqueio e a solução dos problemas que impactam negativamente a confiabilidade de equipamentos ou instalações.

Dentre as técnicas de análise de falhas merecem destaque:

- FMEA – do inglês *Failure Mode and Effect Analysis*, significa Análise do Modo e Efeito da Falha.

- FMECA – do inglês *Failure Mode Effects & Criticality Analysis*, significa Análise de Criticidade, Modos e Efeitos de Falhas.
- FTA – do inglês *Failure Tree Analysis*, significa Análise de Árvore de Falhas.

### **3.1. Análise de Modos de Falha e Efeitos – FMEA**

A Análise de Modos de Falha e Efeitos (*Failure Mode and Effect Analysis*) é uma técnica indutiva, estruturada e lógica para identificar e antecipar as causas e efeitos de cada modo de falha de um sistema ou produto, segundo LAFRAIA (2001). A análise resulta em ações corretivas, classificadas de acordo com sua criticidade, para eliminar ou compensar os modos de falhas e seus efeitos.

De acordo com TONACO (2008), o plano de manutenção é uma das ferramentas de maior importância para a tomada de decisão de manutenção e, combinando esse documento com a FMEA, é possível realizar de forma eficiente o processo de manutenção. Para a MBR, a FMEA auxilia na busca por soluções mais eficazes no tratamento das falhas, suas prevenções e consequências, podendo indicar pontos críticos do equipamento sob o ponto de vista da manutenibilidade e da confiabilidade.

### **3.2. Análise de Criticidade, Modos e Efeitos de Falhas – FMECA**

A FMECA se trata de um método estruturado para identificar potenciais modos de falha, causas, efeitos e criticidades no desempenho de um sistema, indicando medidas para diminuição da ocorrência de falha e/ou mitigação de suas consequências e é aplicável a vários níveis de decomposição do sistema, tais como, equipamentos ou componentes. FMEA e FMECA são técnicas praticamente idênticas, sendo que a diferença entre as mesmas é que a FMEA não aborda a Criticidade.

### **3.3. Análise de Árvore de Falhas – FTA**

A Análise de Árvore de Falhas ou *Failure Tree Analysis* pode ser uma análise do tipo qualitativa ou quantitativa. Na análise qualitativa, o objetivo é determinar as causas básicas de um evento ou a sequência que levou ao mesmo. Já na análise quantitativa, o objetivo é determinar a probabilidade de ocorrência do evento (LAFRAIA, 2001). Com essa análise, é possível obter por um diagrama lógico o conjunto mínimo de falhas que levaram ao evento indesejado.

## **4 INSPEÇÃO BASEADA EM RISCO**

De acordo com as palavras de BEZERRA (2016), a inspeção baseada em risco (IBR) é uma nova filosofia, que leva em consideração que a finalidade de uma inspeção é a segurança e confiabilidade operacional. Essa filosofia visa, principalmente, focar o esforço de inspeção nos equipamentos e mecanismos de dano associados que representam o maior risco da unidade. Desta forma, é possível gerenciar o risco global da unidade, estabelecendo planos de inspeção e mitigação específicos para cada equipamento, com base no nível de risco e nos mecanismos de dano ativos.

A norma API 580 fornece as orientações para um programa de IBR e a API 581 fornece a metodologia de cálculo quantitativo para um plano de inspeção.

A base teórica da MBR justifica a apresentação da IBR, que veio antes historicamente, entretanto, a IBR se aplica às inspeções e a MBR às manutenções.

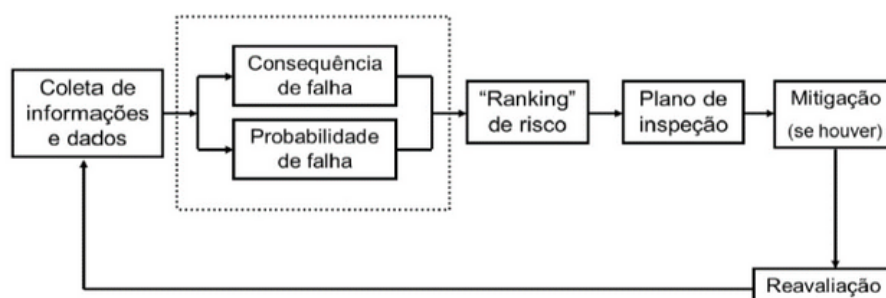
## 5 MANUTENÇÃO BASEADA EM RISCO

GARG e DESHMUKH (2006) definem a Manutenção Baseada em Risco como um modelo de gestão da manutenção que objetiva minimizar os perigos causados por falhas não previsíveis dos equipamentos, de uma maneira economicamente viável. Sobretudo, KHAN e HADDARA (2004) declaram que a MBR tem o propósito de selecionar políticas de manutenção nas mais diversas áreas da indústria, por meio da aplicação das técnicas e conceitos de análise de risco.

A implementação desses conceitos começa com a programação de inspeções baseadas em risco na indústria de gás e petróleo. A aplicação da MBR visa reduzir a ameaça global, que pode resultar como consequência de falhas inesperadas de instalações operacionais.

Em se tratando de análise do nível de risco, gerado pela falha de cada componente, deve-se dar prioridade às tarefas de manutenção para os componentes do sistema, assim, fazendo com que os riscos com alto potencial recebam mais atenção do que os de baixo risco, o que é considerado uma vantagem em termos de custo e segurança. Na Figura 1 estão descritas as etapas da metodologia MBR:

Figura 1 - Etapas da metodologia MBR



Fonte: SAKAI (2010)

- a) Identificação dos possíveis cenários de falha potenciais para cada sistema;
- b) Avaliação dos riscos baseada numa árvore de falhas ou a metodologia FMEA;
- c) Critério de risco com parâmetros de aceitação ou não para definir políticas de manutenção;
- d) Planejamento de Manutenção para redução dos riscos.

A metodologia MBR, descrita por CYRINO (2017), analisa o risco levando em consideração a probabilidade de falha e as consequências dela, que são combinadas numa matriz, designada matriz de risco na qual:

- A probabilidade de falha é a frequência da ocorrência de um determinado acontecimento por um determinado tempo, podendo ser avaliada de forma qualitativa ou quantitativa.
- A consequência da falha é o resultado de um acontecimento ou ocorrência podendo afetar de várias maneiras um ambiente. Também pode ser avaliada de forma quantitativa ou qualitativa.

Pode-se entender que esse novo método de manutenção, baseado em riscos, trouxe conceitos da visão sobre os ativos nas empresas. De alguma forma esse método tenta mostrar um cenário do quanto poderia ser oneroso as consequências de certas ocorrências de falhas nos diversos processos da operação das bases de distribuição de combustíveis. Ou seja, trata-se de um conceito que mostra as possíveis perdas no âmbito financeiro das organizações.

## 6 APRESENTAÇÃO DA EMPRESA DO ESTUDO DE CASO

A empresa distribuidora de combustíveis “Delta S.A.” atua na distribuição de combustíveis claros para veículos automotores de todo porte, aviação e transportes marítimos. Atende também o segmento industrial na área da mineração, siderurgia, papel e celulose, cimento, construção civil, abastecimento de termoeletricas a óleo diesel e combustível, entre outros setores. A seguir, pode-se visualizar os ativos industriais da empresa em números:

- + 1000 tanques de armazenamento de combustíveis
- + 20 tanques em aeroportos
- + 1800 ordens de manutenção por mês
- + 2700 válvulas de segurança
- + 900 bombas
- + 700 conjuntos de medição de vazão e volume
- + 600 braços de carregamento de caminhões e trens



Assim, percebe-se a prevalência de tanques de armazenamento, responsáveis pelo estoque de produtos, portanto toda ação positiva de conservação e manutenção do ativo é justificada.

Na Delta predominam as técnicas de manutenção corretiva e preventiva, com participação de preditivas em monitoramento de instalações elétricas por termografia, análise de vibração de bombas centrífugas, análise tribológica de óleo isolante de transformadores, além da execução de inspeções e ensaios não-destrutivos em estruturas, tanques e tubulações. A técnica citada no referencial teórico “Manutenção Centrada na Confiabilidade” exige uma melhoria significativa na gestão da manutenção e grandes investimentos que, por enquanto, não tem plano para implementação.

### 6.1. Estudo de caso

Neste item está descrito o estudo de caso da aplicação da metodologia MBR em tanques de armazenamento, um ativo com forte presença no ramo de *downstream*, na qual a empresa Delta faz parte. Há uma diversa literatura e normas para aplicação da Inspeção Baseada em Risco para estes tanques, porém, não ocorre o mesmo para a MBR. A proposta é usar os dados disponíveis dos tanques como exemplo, para consolidar a aplicação da metodologia no futuro também para outros equipamentos da empresa, como bombas e válvulas.

Então, visando melhorar a detectabilidade e a disponibilidade dos tanques de armazenamento e avaliar o risco de uma falha estrutural, devido ao acúmulo de danos, utiliza-se como ferramenta de apoio a Inspeção Baseada em Risco (IBR), que pode ser vista em BEZERRA (2016). Logo, para priorizar as manutenções a serem realizadas em função do risco analisado, recomenda-se a Manutenção Baseada em Risco (MBR).

A ausência de dados é sempre um limitante num estudo quantitativo e na empresa Delta, por isso, esse é um fato preocupante. Existem algumas alternativas a serem utilizadas quando o estudo quantitativo é indispensável e os dados estejam indisponíveis, a saber:

- 1- Consulta aos bancos de dados genéricos (OREDA, WELLMASTER, CCPS-PERD, IEEE Std-500);
- 2- Coleta de opiniões de especialistas com ponderação por Lógica Fuzzy ou CPP (Composição Probabilística de Preferências);
- 3- Estimativas de intervalos de probabilidade de falhas por simulação numérica via Monte Carlo;
- 4- Testes acelerados em bancada de laboratório para simular modos de falha de interesse;
- 5- Coleta e tratamento de dados reais de operação em campo.

O próximo subtópico faz uma breve descrição técnica dos tanques de armazenamento e as etapas que ocorrem durante sua manutenção completa.

Seguindo a metodologia apresentada em KHAN e HADDARA (2004), a unidade analisada terá os efeitos associados a cada falha relacionados com as consequências e impactos financeiros envolvidos e, neste contexto, é definido um índice de risco, responsável pela identificação das falhas cuja manutenção deve ser priorizada. Por fim, é elaborado o plano de manutenção contendo as atividades a serem realizadas e suas respectivas periodicidades.

## 6.2. Tanques de armazenamento

Tanques de armazenamento são equipamentos de caldeiraria pesada, sujeitos à pressão aproximadamente atmosférica e destinados, principalmente, ao armazenamento de petróleo e seus derivados. O presente trabalho tratará, exclusivamente, de tanques de armazenamento atmosféricos, cilíndricos, verticais, não enterrados, de fabricação soldada e construídos com chapas de aço carbono. São equipamentos tipicamente encontrados em refinarias, terminais, oleodutos, bases de distribuição e parques industriais, como no caso da empresa Delta (BARROS, 2009).

A manutenção padrão dos tanques segue as seguintes etapas:

1. Abertura de tanques
2. Remoção de borra e lavagem interna
3. Inspeção de fundo
4. Manutenção de fundo
5. Manutenção de teto flutuante
6. Manutenção de teto fixo
7. Manutenção de drenos
8. Teste hidrostático
9. Teste de emissão acústica
10. Manutenção de válvulas, tubulações e acessórios
11. Resultados dos serviços e emissão de relatórios

Estas etapas ocorrem conforme o plano de manutenção específico para cada código de tanque, sua condição de uso, tempo de vida útil e a duração dos trabalhos é função do planejamento da preventiva, do orçamento disponível e da empresa contratada. Os serviços são terceirizados e alguns deles até quarteirizados, conforme o nível de especialização requerido, podendo gerar um atraso maior na contratação. Os tanques nem sempre podem ser paralisados, conforme o cronograma de manutenção programado, pois o time das operações logísticas da empresa precisa cumprir os atendimentos de clientes por estoques e vendas e isso acabando atrasando algumas vezes a liberação para abertura dos tanques e continuidade dos trabalhos.

## 7 PROCEDIMENTOS METODOLÓGICOS PARA IMPLEMENTAÇÃO DA MBR

O corpo de engenheiros de manutenção da Delta é pequeno, porém, com muita experiência prática e teórica em manutenções corretivas, preventivas e preditivas nos equipamentos. Portanto, este estudo, caso implantado com sucesso, poderá contribuir com o aumento da disponibilidade dos tanques de armazenamento, entretanto, é importante informar que a falta de dados e estatísticas de falhas é real na empresa Delta e, por isso, foram extraídos da Norma N-2781 os dados técnicos de uma empresa de petróleo de porte similar, nesse caso, a Petrobras, para a composição de um cenário hipotético para a elaboração da matriz de risco (tabela 5), que é a base do estudo da MBR, que será explicado ao longo deste tópico.

A partir da análise FMECA apresentada na tabela 1, extraída da norma supracitada, para cada cenário de falha em itens dos tanques foram registradas e analisadas as seguintes informações:

- a) identificação do item;
- b) função;
- c) modo de falha;
- d) causa da falha;
- e) efeito da falha;
- f) modo de detecção;
- g) frequência (do modo de falha);
- h) severidade (do efeito da falha);
- i) criticidade;
- j) ações, observações e recomendações.

Tabela 1 – Análise FMECA

| Item                   | Função                                                                                          | Modo de falha                                                                       | Causa da falha                                                                                                              | Efeitos no sistema                                                                                                       |
|------------------------|-------------------------------------------------------------------------------------------------|-------------------------------------------------------------------------------------|-----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|--------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| Canaletas e bacias     | Conter e destinar resíduos oleosos para SAO                                                     | Trinca, rachadura, falha na impermeabilização                                       | Falha na impermeabilização da canaleta, rachaduras, trincas na alvenaria                                                    | Contaminação do solo                                                                                                     |
| Base                   | Impermeabilizar base dos tanques                                                                | Deterioração da manta asfáltica das bermas, rachadura do concreto                   | Respingo de combustíveis durante medição e amostragem dos tanques                                                           | Falha na impermeabilização da berma, acúmulo de produto e água na interseção costado x chapa de fundo e base de concreto |
| Chapas de fundo        | Conter produto no tanque, impedir que produto entre em contato com a base do tanque             | Perda de espessura da chapa, corrosão, desgaste da pintura.                         | Corrosão causada por deterioração e por falta de proteção e tratamento de superfície                                        | Perdas de espessura, furos, contaminação da base e solo, perda e vazamento de produto.                                   |
| Chapas costado         | Conter produtos e suportar pressão resultante do peso de coluna do líquido                      | Perda de espessura da chapa, corrosão, desgaste da pintura.                         | Corrosão causada por deterioração e por falta de proteção e tratamento de superfície                                        | Perdas de espessura, furos, contaminação do solo, perda de produto, colapso e ruptura das chapas                         |
| Pintura                | Proteger chapas do tanque contra corrosão e intempéries                                         | Desgaste, empoamento, ...                                                           | Corrosão causada por falta de proteção                                                                                      | Desgaste da pintura, corrosão das chapas                                                                                 |
| Placa identificação    | Informar dados do tanque conforme API-650                                                       | Falta da placa, desatualização da placa                                             | Não atendimento a norma                                                                                                     | Falta de informações aos usuários, não atendimento à norma                                                               |
| Teto                   | Suportar os equipamentos instalados na parte superior do tanque, proteção do tanque             | Perda de espessura da chapa, corrosão, desgaste da pintura.                         | Corrosão causada por deterioração e por falta de proteção e tratamento de superfície                                        | Perdas de espessura, furos, contaminação do solo, perda e vazamento de produto, colapso e ruptura das chapas             |
| Aterramento            | Proteger tanques e acessórios contra descargas atmosféricas e descarregar eletricidade estática | Baixa resistência (menor que 10 ohms), descontinuidade elétrica                     | Má conexão, oxidação da conexão                                                                                             | Colapso, incêndio e explosão do tanque devido a descarga atmosférica, queima de equipamentos e acessórios elétricos.     |
| Acessórios estruturais | Servir de acesso as partes do tanque, bloquear acessos para o interior do tanque                | Perda de espessura, furos, contaminação da base e solo, perda/vazamento de produto. | Corrosão causada por deterioração e por falta de proteção e tratamento de superfície, baixo torque nos parafusos de fixação | Perdas de espessura, furos, contaminação do solo, perda e vazamento de produto.                                          |

Fonte: Norma Petrobras N-2781

Para a determinação da criticidade devem ser previamente definidas as categorias de:

- frequência de falha – tabela 2;
- severidade do efeito da falha – tabela 3;
- detecção da falha (se utilizado) – tabela 4.

Cabe ao grupo de análise observar o quanto a imagem da empresa pode ser afetada em função do alcance das consequências da ocorrência dos modos de falha que lhes deram origem. Eventualmente, a severidade pode ser aumentada em função dos efeitos sobre a imagem da Companhia.

O grupo de estudo pode definir previamente quais aspectos (Segurança, Patrimônio, Meio Ambiente e Operacionalidade) devem ser considerados na análise, bem como seus eventuais pesos e o critério de combinação para determinar a categoria da severidade do efeito de falha. Essas categorias seguem as tabelas da norma N-2781 a seguir:

destinada ao gerenciamento e controle de estoque, ao levantamento das metragens da sala do almoxarifado e, assim, por meio de um gráfico, apresentar o tempo de atendimento.

A planilha contém a descrição dos materiais, a marca do produto, a data de fabricação e de validade, as quantidades em estoque, de entrada trimestral e as saídas mensais. Após a aplicação de um filtro para destacar o prazo de validade obteve-se como resultado o apresentado na Figura 7 correspondente aos materiais inservíveis totalizados monetariamente em R\$ 4.037,67 (quatro mil e trinta e sete reais e sessenta e sete centavos). Este é um desperdício considerável para uma instituição que depende de orçamento público e é administrada em cenários de escassez de recursos.

Tabela 2 – Exemplo de categorias de frequência

| <b>Categoria de Frequência</b> | <b>Denominação</b>  | <b>Descrição</b>                                                                                                                  |
|--------------------------------|---------------------|-----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| 5                              | Frequente           | Esperado ocorrer várias vezes durante a vida útil da instalação                                                                   |
| 4                              | Provável            | Esperado ocorrer mais de uma vez durante a vida útil da instalação                                                                |
| 3                              | Ocasional           | Possível ocorrer até uma vez durante a vida útil da instalação                                                                    |
| 2                              | Remota              | Não esperado ocorrer durante a vida útil da instalação, apesar de haver referências históricas                                    |
| 1                              | Extremamente remota | Conceitualmente possível, porém extremamente improvável de ocorrer durante a vida útil da instalação. Sem referências históricas. |

Fonte: Norma Petrobras N-2781

Tabela 3 – Exemplos de categorias de severidade

| <b>Categoria da Severidade</b> | <b>Denominação</b> | <b>Pessoas</b>                                                               | <b>Patrimônio</b>                                                                                                                  | <b>Meio ambiente</b>                                                                                                                                                                      | <b>Operacionalidade</b>     |
|--------------------------------|--------------------|------------------------------------------------------------------------------|------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-----------------------------|
| 5                              | Catastrófica       | Incapacitação total definitiva ou acidente fatal.                            | Danos materiais cujos valores econômicos para realizar ações reparadoras sejam muito elevados comparados com o custo de aquisição. | Impacto ambiental de difícil reversão, mesmo com ações mitigadoras, e de grande magnitude e extensão (além dos limites do empreendimento) com potencial de afetar as partes Interessadas. | Mais de 30 dias de parada   |
| 4                              | Crítica            | Incapacitação parcial definitiva ou de lenta reversão.                       | Danos materiais cujos valores econômicos para realizar ações reparadoras sejam elevados comparados com o custo de aquisição.       | Impacto de grande magnitude, reversível com ações mitigadoras, mas restrita as áreas adjacentes da Unidade.                                                                               | 15 dias de parada           |
| 3                              | Moderada           | Acidente com afastamento, por um período maior que 15 dias.                  | Danos materiais cujos valores econômicos para realizar ações reparadoras sejam moderados comparados com o custo de aquisição.      | Impacto de magnitude considerável, porém reversível com ações mitigadoras, atingindo apenas áreas internas da Unidade.                                                                    | 7 dias (1 semana) de parada |
| 2                              | Marginal           | Acidente com afastamento, por um curto período de tempo (menor que 15 dias). | Danos materiais cujos valores econômicos para realizar ações reparadoras sejam reduzidos comparados com o custo de aquisição.      | Impacto de magnitude desprezível, porém reversível com ações mitigadoras, atingindo apenas áreas internas da Unidade.                                                                     | 2 dias de parada            |
| 1                              | Desprezível        | Acidente sem afastamento ou incidente. Ex.: pequenos cortes, hematomas etc.  | Danos materiais cujos valores econômicos para realizar ações reparadoras sejam desprezíveis comparados com o custo de aquisição.   | Impacto de magnitude desprezível para o meio ambiente / restrito ao local de ocorrência, totalmente reversível com ações imediatas, não afeta partes interessadas.                        | Algumas horas de parada     |

Fonte: Norma Petrobras N-2781

Pode incluir, na planilha de FMECA, uma coluna denominada categoria de detecção, que compõe a avaliação da categoria de criticidade, conforme tabela 4.

Tabela 4 – Exemplos de categoria de detecção

| Categoria de detecção | Denominação | Critério                                                                                                                  |
|-----------------------|-------------|---------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| 4                     | Muito baixa | Inexistência de recursos para detecção (exemplo: não há presença de nenhum dos recursos citados nas categorias 1, 2 e 3). |
| 3                     | Baixa       | Existência de poucos recursos para detecção (exemplo: apenas percebido por sentidos humanos).                             |
| 2                     | Moderada    | Existência de recursos para inspeção (exemplo: equipamentos de medição).                                                  |
| 1                     | Alta        | Existência de recursos para inspeção e monitoração (exemplo: sistema “on-line” de monitoramento).                         |

Fonte: Norma Petrobras N-2781

O risco é calculado após a probabilidade de ocorrência e a consequência associadas a cada falha serem conhecidas, conforme tabelas anteriores, de acordo com o cruzamento das categorias de frequência (tabela 2) e de severidade (tabela 3), resultando na tabela 5:

Tabela 5 – Matriz de criticidade

|                         |   | Categoria de Severidade |   |   |   |   |
|-------------------------|---|-------------------------|---|---|---|---|
|                         |   | 1                       | 2 | 3 | 4 | 5 |
| Categoria de Frequência | 5 | C                       | B | A | A | A |
|                         | 4 | C                       | B | B | A | A |
|                         | 3 | C                       | C | B | B | A |
|                         | 2 | D                       | C | C | B | B |
|                         | 1 | D                       | D | C | C | B |

Fonte: Norma Petrobras N-2781

Onde:

$$\text{Risco} = \text{Frequência} \times \text{Severidade}$$

O resultado desse índice de risco pode ser visto na tabela 6, em que os resultados da avaliação de risco são categorizados em termos da tolerância admissível à criticidade de acordo com as letras A, B, C, D ou E:

Tabela 6 – Categoria de criticidade

| <b>Categoria de criticidade</b> | <b>Denominação</b> | <b>Critério</b>                                                                                                                                                                              |
|---------------------------------|--------------------|----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| <b>A</b>                        | Intolerável        | Métodos alternativos devem ser considerados para reduzir a probabilidade de ocorrência e, adicionalmente, as consequências, de modo que a criticidade seja reduzida a categorias aceitáveis. |
| <b>B</b>                        | Indesejável        | Medidas adicionais devem ser avaliadas com o objetivo de obter-se uma redução da criticidade, implementando-se aquelas consideradas praticáveis.                                             |
| <b>C</b>                        | Tolerável          | Não há necessidade de medidas adicionais. A monitoração é necessária para assegurar que a criticidade seja mantida.                                                                          |
| <b>D</b>                        | Desprezível        | Não há necessidade de medidas adicionais.                                                                                                                                                    |

Fonte: Norma Petrobras N-2781

Estabelecida toda metodologia de análise qualitativa do risco, chegou-se ao seguinte cenário hipotético, conforme a tabela 7, dos itens que compõem os tanques:

Tabela 7 – Resultado da análise de criticidade

| <b>Item</b>            | <b>Modo de detecção</b> | <b>Frequência</b> | <b>Severidade</b> | <b>Criticidade</b> |
|------------------------|-------------------------|-------------------|-------------------|--------------------|
| Canaletas e bacias     | 3                       | 3                 | 3                 | B                  |
| Base                   | 3                       | 3                 | 3                 | B                  |
| Chapas de fundo        | 2                       | 4                 | 4                 | A                  |
| Chapas costado         | 2                       | 5                 | 3                 | A                  |
| Pintura                | 2                       | 3                 | 3                 | B                  |
| Placa identificação    | 3                       | 3                 | 2                 | C                  |
| Teto                   | 2                       | 2                 | 4                 | B                  |
| Aterramento            | 2                       | 2                 | 4                 | B                  |
| Acessórios estruturais | 3                       | 3                 | 3                 | B                  |

Fonte: Norma Petrobras N-2781



Um exemplo de cálculo para as chapas de fundo dos tanques é quando se faz o cruzamento “Frequência = 4 (provável) e Severidade = 4 (crítica)”, resultando no risco “A” ao consultar a tabela 5 (Matriz de criticidade). Fazendo-se o mesmo para as chapas de costado, conclui-se que elas apresentam as maiores possibilidades de ocorrência de falha e os efeitos no sistema (ou seja, criticidade “A”), conforme a tabela 7. A tabela 1 cita que as consequências das falhas nestas chapas são a perda de espessura, com o consequente aparecimento de furos, com possibilidade de vazamentos e perdas de produto e contaminação do solo, que pode ser constatado em monitoramentos de rotina e gerar impactos ambientais, além de possíveis notificações e multas dos órgãos de fiscalização ambiental.

Seguindo a metodologia e analisando a matriz de risco (apresentada na tabela 5) e identificando na cor laranja como “A1” a criticidade das chapas de fundo (Frequência = 3 e Severidade = 5) e de “A2” a criticidade da chapa de costado (Frequência = 4 e Severidade = 4), tem-se como resultado a tabela 8, que é o status de determinado tanque antes da aplicação de qualquer melhoria pela MBR.

Tabela 8 – Resultado da análise de criticidade

|                         |   | Categoria de Severidade |   |    |    |   |
|-------------------------|---|-------------------------|---|----|----|---|
|                         |   | 1                       | 2 | 3  | 4  | 5 |
| Categoria de Frequência | 5 | C                       | B | A1 | A  | A |
|                         | 4 | C                       | B | B  | A2 | A |
|                         | 3 | C                       | C | B  | B  | A |
|                         | 2 | D                       | C | C  | B  | B |
|                         | 1 | D                       | D | C  | C  | B |

Fonte: Norma Petrobras N-2781

## 8 ANÁLISE DOS RESULTADOS

Todo o estudo de implantação, como diz o título do artigo, será conduzido sob um cenário hipotético. Cada empresa vai decidir um critério de aceitação de risco, conforme decisão do seu corpo técnico e gerencial, que é uma função dos investimentos que ela se propõe fazer e da imagem e riscos assumidos, em casos de grandes falhas. Considerando um cenário em que a criticidade “A” é intolerável pela companhia Delta e seja dada total prioridade para evitar operar sob este risco, os resultados A1 e A2, apresentados na matriz citada na tabela 8, determinam à empresa desenvolver planos de ação com elevadas recomendações de acompanhamento pelas equipes de manutenção e inspeção.



Quando se tratam das consequências com o viés econômico, como indisponibilidade operacional dos tanques para armazenar grandes estoques (que é a função principal deles), a consequência pode ser calculada assim:

$$\text{Consequência} = \text{Diárias de estoque perdidos (R\$)} \times \text{Tempo médio de reparo}$$

e

$$\text{Risco de perda financeira (R\$)} = \text{Frequência} \times \text{Consequência (financeira em R\$)}$$

Considera-se como volume médio de um tanque grande de abastecimento a quantidade de 1.000.000 litros. Segundo o site da Petrobras (2022), é possível entender como é feita a composição do preço da gasolina, mas dados internos gerenciais da empresa Delta S.A. estimam a margem média de lucro de R\$ 1,00 por litro estocado por mês, que compra os combustíveis das diversas refinarias da Petrobras e revende à rede de postos espalhados pelo Brasil inteiro, ou seja, é uma companhia de logística e distribuição nacional, logo, a indisponibilidade ou parada dos tanques causam perdas financeiras. Verificando a tabela 3, as seguintes severidades em termos de operacionalidade (ou indisponibilidade) devem ser registradas:

- Chapa de fundo - severidade “crítica” nível 4 – 15 dias de parada
- Chapa de costado - severidade “moderada” nível 3 – 7 dias de parada

Para que os reparos emergenciais ocorram durante as paradas, os tanques precisam passar pelos seguintes passos:

- a) Contratação da empresa especializada e mobilização;
- b) Liberação do equipamento;
- c) Execução da parada com transferência das instalações da Gerência de Operação para Gerência de Engenharia e Manutenção;
- d) Encerramento da parada, limpeza final, desmobilização;
- e) Finalização do contrato.

Ou seja, na prática, o tanque que apresentar uma destas falhas, pode, na melhor das hipóteses de agilidade na contratação, execução do reparo e cumprimento dos passos acima, chegar a um mês de indisponibilidade, ou seja, R\$ 1,00 x 106 (Um milhão de Reais) em lucros cessantes e ainda sofrer o impacto operacional causado ao deixar de cumprir sua função: armazenar e revender gasolina, em determinada região geográfica de atuação onde se encontra o tanque. O risco de perda financeira será mensurado pela frequência que tais falhas possam ocorrer, multiplicada a consequência financeira citada.

É óbvio que não se pode deixar de fazer as manutenções que tem categoria de criticidade B ou “indesejável”, pois como a própria denominação ressalta não é um bom resultado; o ideal é que todos itens sob avaliação de risco fossem categorizados como “tolerável (C) ou desprezível (D)”, como apresenta a tabela 6. Entretanto, o investimento no gerenciamento de um plano de manutenção preventiva perfeito ou implantação da manutenção centrada em confiabilidade com nível zero de falhas tornariam o negócio inviável e de baixo retorno financeiro. Na verdade, a empresa precisa sobreviver num cenário técnico, econômico e de preservação dos ativos físicos “tão razoável o quanto possível”.

## 9 PROPOSTA DE RESOLUÇÃO PELA MBR

Visto todo impacto financeiro hipotético discutido anteriormente, a proposta da MBR é priorizar as práticas de manutenção e diminuam a categoria de severidade dos riscos calculados. Logo, analisando a tabela 9, uma forma eficaz de atingir esse objetivo, é tentando diminuir a categoria de frequência ou probabilidade de ocorrência das falhas, conforme a tabela 2. Para o caso da chapa de fundo migrar da “categoria 5 - frequente” para “categoria 4 - provável”, deslocando a criticidade de A1 (intolerável) para B1 (indesejável), considerando a categoria de severidade “moderada” difícil de ser alterada (3).

Tabela 9 – Resultado da análise de criticidade

|                         |   | Categoria de Severidade |   |    |    |   |
|-------------------------|---|-------------------------|---|----|----|---|
|                         |   | 1                       | 2 | 3  | 4  | 5 |
| Categoria de Frequência | 5 | C                       | B | A1 | A  | A |
|                         | 4 | C                       | B | B1 | A2 | A |
|                         | 3 | C                       | C | B  | B2 | A |
|                         | 2 | D                       | C | C  | B  | B |
|                         | 1 | D                       | D | C  | C  | B |

Fonte: Norma Petrobras N-2781

A outra proposta complementar é diminuir a categoria de frequência ou a probabilidade de ocorrência na chapa de costado da “categoria 4 - provável” para “categoria 3 - ocasional”, deslocando a criticidade de A2 (intolerável) para B2 (indesejável), permanecendo na categoria de severidade que se encontra (4).

Teoricamente, analisando esses resultados, deve-se reduzir a possibilidade de ocorrência das falhas, mas, na prática, necessita-se dar mais atenção às chapas, quantitativamente intensificando seus planos de manutenção preventivas, reduzindo o intervalo de execução entre eles, ou seja, realizando mais inspeções e manutenções periódicas por quinquênio (tempo mínimo exigido por normas) e qualitativamente, com produtos e técnicas melhores, atuando diretamente nos fatos geradores ou modos de falha citados na FMECA (tabela 1) com as seguintes ações citadas na tabela 10:

Tabela 10 – Ações de manutenção com foco na MBR

| <b>MODOS DE FALHA</b>       | <b>AÇÕES DE MANUTENÇÃO</b>                                                                                                                                            |
|-----------------------------|-----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| Perda de espessura da chapa | Medição de espessura com mais frequência e uso de inibidores de corrosão para evitar deterioração.                                                                    |
| Corrosão                    | Aplicar técnicas de proteção catódica por correntes impressas e fazer a aplicação de revestimentos protetores com mais frequência e de maior durabilidade e eficácia. |
| Desgaste da pintura         | Substituição de tintas, buscando produtos mais resistentes aos ataques químicos dos combustíveis.                                                                     |

Fonte: Próprios autores (2022)

Desta forma, para reduzir o risco global de uma falha estrutural, é necessário aplicar planos de manutenção diferenciados para cada equipamento ou item, devendo priorizar os esforços naqueles que apresentam o maior risco. A empresa Delta S.A. considera que todas as falhas com índices de risco (ou criticidade), equivalente ao nível A (intolerável), deveriam ser analisadas com maior atenção pelo time de engenheiros responsáveis pela manutenção dos tanques, visto que os prováveis impactos às pessoas, ao patrimônio e ao meio ambiente, citados na tabela das categorias de severidade, são críticos e moderados.

## 10 CONCLUSÕES

A metodologia de MBR apresenta grande potencial para minimizar os riscos associados às falhas de equipamentos, cujo propósito é direcionar o processo de decisão para priorizar recursos de manutenção e inspeção no gerenciamento do risco. Sendo assim, deve-se deixar claro que a inspeção em si não vai estagnar ou mitigar um mecanismo de dano, sendo que, em caso de falha, independente do fato de uma inspeção ter sido realizada ou não, a consequência será a mesma. Portanto, a resposta é que a inspeção influencia na incerteza do risco associado ao equipamento, melhorando o conhecimento do estado de deterioração do mesmo.

As principais vantagens da MBR são aumento da confiabilidade e segurança operacional, gerenciamento para redução do risco global da unidade, por meio da criação de planos de manutenção diferenciados para equipamentos com níveis de risco distintos, auxílio no processo decisório para seleção de equipamentos que serão inspecionados e tendência de redução de custos de inspeção e manutenção, naqueles casos de baixo risco.

A identificação das falhas mais críticas foi realizada com base no cálculo do índice de risco, a partir da FMECA e da análise da matriz de risco específica do equipamento estudado. Entre os modos de falhas identificados nos tanques de armazenamento, destacaram-se as falhas nas chapas de fundo e de costado, que serviram de base para a definição das atividades de manutenção preventivas apresentadas no plano. As duas propostas podem ser aplicadas simultaneamente.

Análises mais aprofundadas, no sentido de atuar diretamente nos mecanismos de danos, são bem-vindos, em conjunto com a metodologia da MBR. O estudo pode ser aplicado a quase todos os tipos de equipamentos da área de petróleo e gás, indústria naval, metalmecânica, processos químicos, entre outros ramos, desde que eles possuem planos de manutenção que possam ser avaliados. Portanto, sugestões para estudos futuros seriam direcionados para a aplicação da manutenção baseada em risco numa gama enorme de equipamentos.

## REFERÊNCIAS

- ALMEIDA, M. T., **Manutenção Preditiva: Benefícios e Lucratividade** – UNIFEI, Itajubá/MG, 2000.
- Associação Brasileira de Normas Técnicas**, ABNT - NBR 5462, 1994.
- BARROS, Stenio Monteiro de. **Tanques de Armazenamento**, Universidade Petrobras, Rio de Janeiro/RJ, 2009.
- BEZERRA, Alexandre Campos, **Notas de Aula do Curso de Inspeção Baseada em Risco**, IBP - Instituto Brasileiro de Petróleo e Gás, 2021.
- CYRINO, Luiz, **Manutenção Baseada em Riscos**, <https://www.manutencaoemfoco.com.br/rbm-manutencao-baseada-em-riscos/> Acesso em 09/05/2021.
- GARG e DESHMUKH, *Maintenance management: literature review and directions. Journal of Quality in Maintenance Engineering*, Vol. 12, n° 3, 2006, pp. 205-238.
- KHAN, Faisal I.; HADDARA, Mahmoud R. *Risk-based maintenance of ethylene oxide production facilities. Journal of Hazardous Materials, St. John's*, 2004.
- KARDEC, Alan; NASCIF, Júlio. **Manutenção: função estratégica**. 3ª edição. Rio de Janeiro: Qualitymark Petrobras, 2013.

- LAFRAIA, J. R. B. – **Manual de Confiabilidade, Manutenibilidade e Disponibilidade**, Editora Quality Mark, 1ª edição, Rio de Janeiro, 2001.
- LIMA J. R.T.; SANTOS, A. A. B.; SAMPAIO, R. R. **Sistemas de gestão da manutenção** – uma revisão bibliográfica visando estabelecer critérios para avaliação de maturidade. XXX ENGEPI, São Carlos / SP, 2010.
- MOUBRAY, John. **Manutenção Centrada em Confiabilidade**. São Paulo, Editora Aladon, 2000.
- Norma Petrobras N-2781 - **Técnicas Aplicáveis à Engenharia de Confiabilidade**, Petrobras, 2021.
- Petrobras. 2022. Tudo o que você precisa saber sobre os preços dos combustíveis. Disponível em: <https://precos.petrobras.com.br>. Acesso em: 20/11/2022.
- SAKAI, S. **Risk-based Maintenance**. JR East Technical Review. Tóquio, n. 17, 2010.
- TONACO, Rosimarci Pacheco. **Metodologia para Desenvolvimento da Base de Conhecimento Aplicada à Manutenção Baseada em Condição de Usinas Hidrelétricas**. Dissertação de Mestrado, UnB, Brasília/DF, 2008.
- VIANA, Herbert Ricardo. **Planejamento e controle da manutenção**. 5ª edição. Rio de Janeiro, Editora Qualitymark, 2013.