

Artigo

Aplicação de Metodologia de Análise de Falhas no Sistema Hidráulico em Equipamento Utilizado para Mistura de Pastas de Cimento na Indústria de Petróleo

Dyana Alves de Oliveira^[1], Daut de Jesus Nogueira Peixoto Couras^[2] e Francisco Evaristo Uchoa Reis^[3]

^[1] Universidade Federal Rural do Semi-Árido, Engenharia Mecânica; aluno; dyanaalvesoliveira@gmail.com

^[2] Universidade Federal Rural do Semi-Árido, Engenharia Mecânica; Orientador; dautcouras@ufersa.edu.br

^[3] Universidade Federal Rural do Semi-Árido, Engenharia Mecânica; Co-Orientador; evaristo@ufersa.edu.br

Data da defesa: 17/11/2022;

Resumo: A indústria do petróleo ao longo dos anos vem aprimorando seus processos de exploração dos reservatórios. Para isso, é requerida maior confiabilidade e disponibilidade dos equipamentos em todas as etapas de abertura de um poço. Um equipamento essencial para uma das etapas do processo de cimentação de um poço é o Batch Mixer, onde ocorre a mistura da pasta de cimento. Este trabalho tem por objetivo a realização de uma análise de falhas através do FMEA do sistema hidráulico do equipamento, com o intuito de revisão do plano de manutenção. Foi possível a identificação de falhas em itens críticos, de modo que foram adicionados nos planos de manutenção preventiva.

Palavras-chave: FMEA; Batch Mixer; Análise de Falha; Sistema Hidráulico; Manutenção.

1. INTRODUÇÃO

Com o avanço da competitividade do setor industrial, cada vez mais se faz necessário manter os equipamentos que fazem parte do processo produtivo sempre disponíveis, evitando falhas e paradas desnecessárias, aumentando-se a confiabilidade e disponibilidade dos equipamentos. Para isso, são implementados planos de manutenções preventivas e preditivas, com o objetivo de evitar falha e custos com demasiadas manutenções corretivas, as quais interferem no processo produtivo.

O principal objetivo das empresas é de otimizar o seu processo produtivo, reduzindo seus custos a fim de um maior lucro. Para que isso ocorra, é imprescindível que os equipamentos que fazem parte da cadeia produtiva estejam sempre disponíveis, evitando paradas não-programadas, que atrasam o processo produtivo e elevam os gastos do processo. Segundo a NBR-5462, a disponibilidade é a “capacidade de um item estar em condições de executar uma certa função em um dado instante ou durante um intervalo de tempo determinado, levando-se em conta os aspectos combinados de sua confiabilidade, manutenibilidade e suporte de manutenção, supondo que os recursos externos requeridos estejam assegurados”. [2-4]

A confiabilidade está intrinsecamente relacionada a “capacidade de um item desempenhar uma função requerida sob condições especificadas, durante um dado intervalo de tempo”. [2] Enquanto a manutenibilidade está relacionada a “capacidade de um item ser mantido ou recolocado em condições de executar suas funções requeridas, sob condições de uso especificadas, quando a manutenção é executada sob condições determinadas e mediante procedimentos e meios prescrito” [2], ou seja, a manutenibilidade está diretamente relacionada ao projeto do produto. Desta forma, as manutenções advindas são relacionadas a esse projeto, de modo que adiem ao máximo o descarte do equipamento, sempre o mantendo em condições mais próximas possíveis do projeto do fabricante. [1]

Com o tempo, a indústria desenvolveu métodos para análise de falhas, tanto em equipamentos como em processos produtivos, com o intuito de identificar a causa raiz e seus possíveis efeitos, bem como sugestões de melhorias. Uma das técnicas utilizadas é o FMEA (Failure Mode and Effect Analysis – Análise de Modo e Efeitos de Falha Potencial), desenvolvida por volta de 1949, que foi utilizada pelo exército norte-americano

com o intuito de identificar falhas em sistemas militares. Com o passar do tempo, essa técnica foi utilizada pela NASA, assim como foi difundida pelo setor automobilístico e por toda a indústria [1,4].

A indústria dispõe dos mais variados equipamentos para a manutenção de sua produção, sejam eles desde a sua fase inicial de extração da matéria-prima até o seu processo de distribuição. Portanto, é imprescindível mantê-los em pleno funcionamento. Tendo em vista que o FMEA auxilia no processo de apontamento das falhas, identificando as suas causas e efeitos, conseguimos propor melhorias com o objetivo de mitigar as possíveis falhas que possam ocorrer em qualquer processo ou equipamento [4,7].

Estudos demonstram a importância da aplicação dessa ferramenta para o seu processo. JARDIM et al aplicou a ferramenta para análise das possíveis falha afim da aplicação de ações corretivas para as mesmas [5,7].

Um estudo bastante importante realizado acerca do FMEA foi o de Franceschini e Galetto no qual seu principal objetivo foi definir um método eficaz para calcular o nível de prioridade de risco dos modos de falha, de forma a indicar de forma explícita e fácil de verificar quais os modos de falha que acarretam um maior risco para o produto, sem recorrência a conversões numéricas artificiais de escala [8]. Outro estudo de Garcia, Schirru e Frutuoso Emelo apresentaram uma abordagem de análise de dados fuzzy (DEA) para FMEA na qual os fatores de risco típicos O, S e D foram modeladas como conjuntos fuzzy conjunto ao modelo DEA para melhorar a capacidade de avaliação do FMEA, de modo que para cada uma das variáveis de entrada, definidas por especialistas, são utilizados associadas a pesos para caracterizar os vértices do triângulo das funções de pertinência finais, permitindo uma análise de quais índices são mais importantes para cada modo de falha [9].

Um fato bastante importante de ser identificado em um sistema é a criticidade dos equipamentos, podendo-lhes classificar como classe A, B ou C, sendo A os equipamentos mais críticos e C os menos críticos. Para serem classificados são analisados alguns aspectos como: impacto manutenção, impacto produção, meio ambiente, conformidade regulamentar, segurança, saúde ocupacional, impacto na imagem e probabilidade de falha. Atribui-se um peso para cada indicador citado anteriormente para o cálculo da classificação do equipamento [10].

Portanto, o presente trabalho tem por objetivo realizar uma análise de falhas no sistema hidráulico do Batch Mixer, com o intuito de melhorar o plano de manutenção preventiva já existente afim de evitar possíveis paradas não desejadas, assim como melhorar o planejamento de ações corretivas caso as falhas ocorram, realizando um bom mapeamento do sistema.

2. ESTUDO DO CASO

O equipamento para o presente estudo a ser analisado é o Batch Mixer. Ele tem por objetivo a mistura de aditivos químicos (cimento, redutor de filtrado, retardadores, sais, água, etc.) de forma a formar uma pasta de cimento com características físico-químicas e reológicas desejadas. O Batch Mixer é dividido em sistema hidráulico e pneumático. Conforme o esquema mostrado na Figura 1, o motor a combustão é o equipamento que fornece energia para acionamento das bombas hidráulicas de pistão e de engrenagem. A caixa multiplicadora é acoplada ao motor e transmite potência para as bombas. As duas bombas hidráulicas de pistão são responsáveis por rotacionar os dois motores hidráulicos, que por sua vez acionam as duas bombas centrífugas que são responsáveis pelo fornecimento de água para os dois tanques de mistura (cebolas). Já a bomba de engrenagem, por sua vez, aciona os dois motores hidráulicos que, cada um, são conectados a um redutor que acionam os dois agitadores responsáveis pela mistura da pasta de cimento. O sistema pneumático é responsável por permitir a entrada de cimento, retirado do bulk de cimento, para as cebolas.

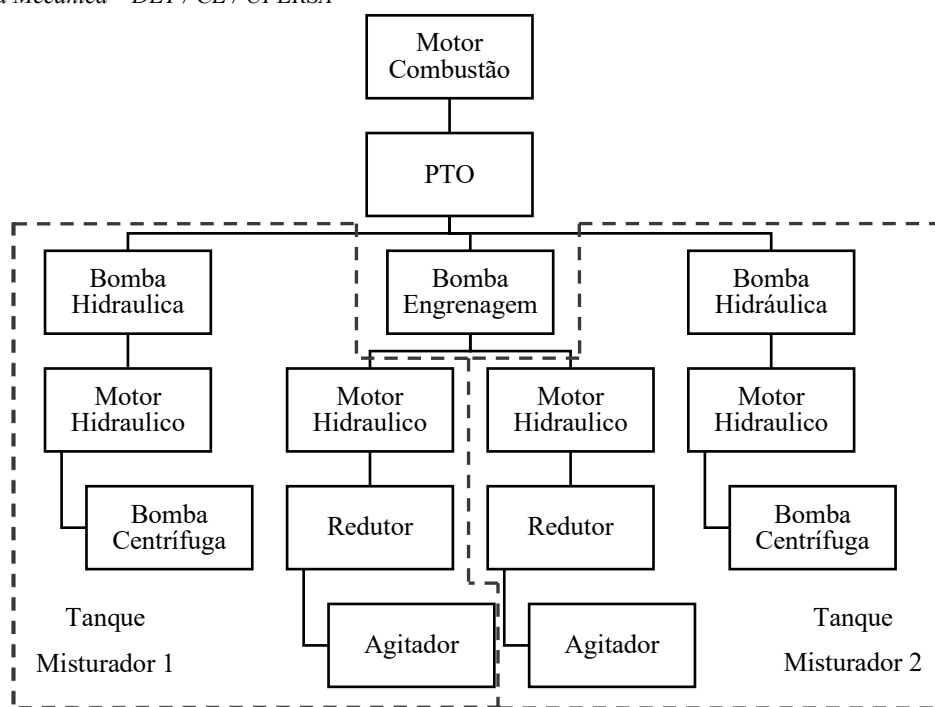


Figura 1 – Esquema do Sistema Hidráulico do Batch Mixer

Fonte: Autoria própria (2022).

O sistema hidráulico é um dos principais sistemas do Batch Mixer, pois é por meio dele que é possível realizar a mistura dos aditivos químicos bem como ter o abastecimento de água para essa mistura. As bombas de pistões e de engrenagens utilizam o óleo do tanque hidráulico para acionar os motores hidráulicos, que por sua vez acionam as centrífugas e/ou redutores. A passagem do óleo hidráulico é realizada por meio de mangueiras de alta pressão para assegurar a segurança do sistema e dos operadores. A Figura 2 mostra o equipamento completo, a Figura 3a mostra as bombas hidráulicas de pistões, a Figura 4 mostra a conexão do motor a combustão diesel e da caixa multiplicadora, consegue-se visualizar as mangueiras hidráulicas que fazem conexão com as bombas hidráulicas de pistão e engrenagem.



Figura 2 – Foto do Batch Mixer

Fonte: Autoria própria (2022).

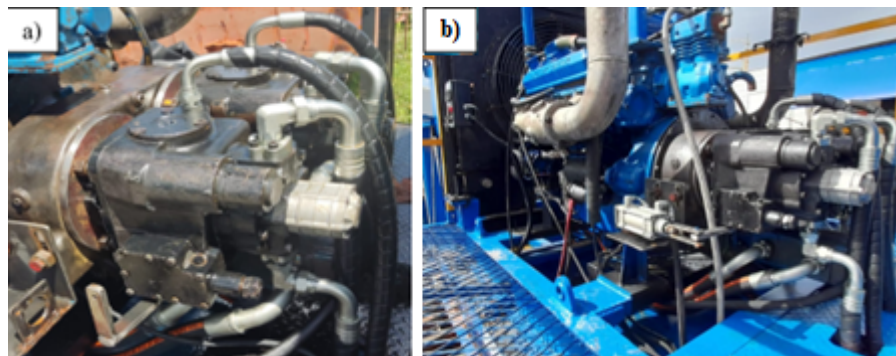


Figura 3 – a) Bomba hidráulica de pistão do sistema hidráulico, b) Motor a combustão e Caixa Multiplicadora. Fonte: Autoria própria (2022).

A Figura 4a mostra as bombas centrífugas acopladas aos motores hidráulicos, a Figura 4b mostra a bomba de engrenagem e a Figura 4c mostram os agitadores no tanque de mistura.

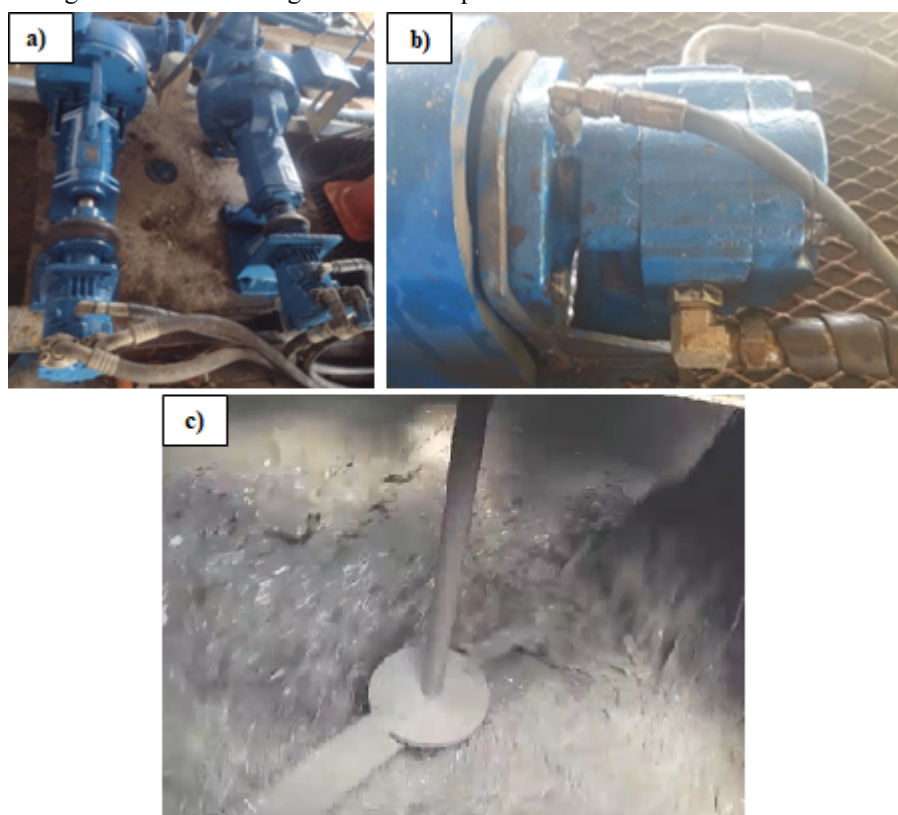


Figura 4 – a) Bombas centrífugas, b) motores hidráulicos e c) agitadores do tanque de mistura. Fonte: Autoria própria (2022).

3. MATERIAIS E MÉTODOS

Pode-se observar no esquema da Figura 5, realizou-se um estudo dos componentes do sistema hidráulico, bem como suas funções. Em seguida, realizou-se a análise através do FMEA com o intuito de identificar os modos de falha e os seus efeitos, assim como avaliar a regularidade de que elas ocorram e sejam detectadas, calculando-se as medidas de risco possibilitando a classificação das falhas e suas gravidades.

Realizou-se um mapeamento de todos os equipamentos do sistema hidráulico do Batch Mixer: motores hidráulicos, bombas hidráulicas, bomba de engrenagens, bombas centrífugas, reunindo-se todas as informações técnicas e fabricante. Com o auxílio dos manuais dos fabricantes e desenhos técnicos disponíveis, realizou-se o FMEA para cada equipamento.

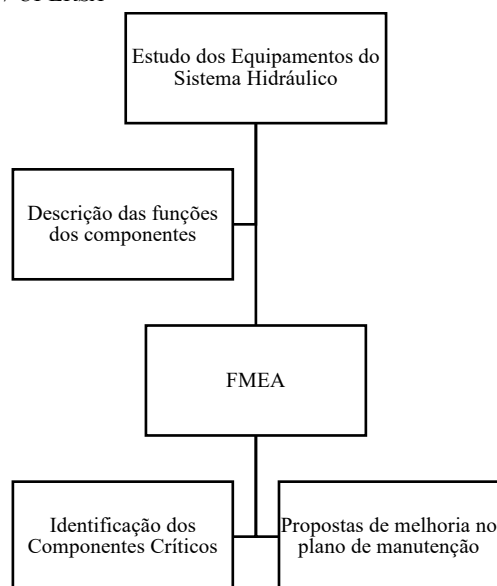


Figura 5 – Esquema da metodologia utilizada

Fonte: Autoria própria (2022).

Com base no histórico das manutenções corretivas do equipamento, elaborou-se uma escala para os componentes: Ocorrência (O), Severidade (S) e Detecção (D), a fim de calcular-se o RPN (risk priority number). As Tabelas 1, 2 e 3, observa-se a escala dos critérios que foram utilizados para realização do FMEA.

Tabela 1 – Classificação Ocorrência

Ocorrência	Probabilidade de Falha	Taxas de falha possíveis
1	Mínima	Chance Remota de Falha
2	Baixa	Frequência muito baixa: 1 vez a cada 5 anos
3	Baixa	Pouco Frequente: 1 vez a cada 2 anos
4	Moderada	Frequência baixa: 1 vez por ano
5	Moderada	Frequência ocasional: 1 vez por semestre
6	Moderada	Frequência moderada: 1 vez por mês
7	Alta	Frequente: 1 vez por semana
8	Alta	Frequência elevada: algumas vezes por semana
9	Muito Alta	Frequência muito elevada: 1 vez ao dia
10	Muito Alta	Frequência máxima: várias vezes ao dia

Fonte: Procedimento Análise do Modo de Falha do Equipamento [12].

Tabela 2 – Classificação Severidade

Severidade	Probabilidade de Falha	Efeito
1	Mínima	Efeito da falha não é perceptível ou improvável.
2	Baixa	Falha não afeta o desempenho do ativo.
3	Baixa	Falha não afeta o desempenho do ativo.
4	Moderada	Falha afeta o desempenho do ativo de forma parcial.
5	Moderada	Falha afeta o desempenho do ativo de forma parcial.
6	Moderada	Falha afeta o desempenho do ativo de forma parcial.
7	Alta	Falha afeta o desempenho do ativo de forma total e compromete a segurança do ativo.
8	Alta	Falha afeta o desempenho do ativo de forma total e compromete a segurança do ativo.
9	Muito Alta	Falha afeta o desempenho do ativo de forma total e compromete a segurança das pessoas e ativo.
10	Muito Alta	Efeito da falha não é perceptível ou improvável.

Fonte: Procedimento Análise do Modo de Falha do Equipamento [12].

Tabela 3 – Classificação Detecção

Detecção	Probabilidade de Falha	Critério de detecção
1	Certamente	Controle atual quase certamente irá detectar o modo de falha. A confiança nos controles de detecção são conhecidos em processos similares.
2	Muito Alta	Probabilidade muito alta de que o controle atual irá detectar o modo de falha.
3	Alta	Probabilidade alta de que o controle atual irá detectar o modo de falha.
4	Moderadamente alta	Probabilidade moderadamente alta de que o controle atual irá detectar o modo de falha.
5	Moderada	Probabilidade moderada de que o controle atual irá detectar o modo de falha.
6	Baixa	Probabilidade baixa de que o controle atual irá detectar o modo de falha.
7	Muito baixa	Probabilidade muito baixa de que o controle atual irá detectar o modo de falha.
8	Remota	Probabilidade remota de que o controle atual irá detectar o modo de falha.
9	Muito remota	Probabilidade muito remota de que o controle atual irá detectar o modo de falha.
10	Quase impossível	Não conhecido controle disponível para detectar o modo de falha.

Fonte: Procedimento Análise do Modo de Falha do Equipamento [12].

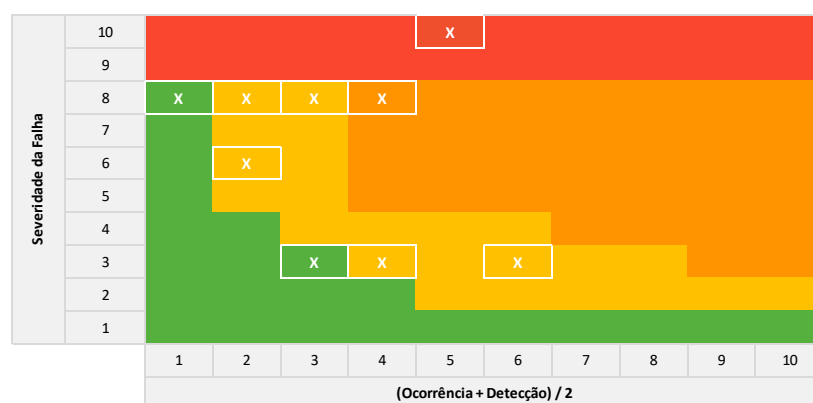
Analisou-se todos os equipamentos de acordo com o Quadro 1. O índice RPN é calculado através do produto dos índices de Ocorrência, Severidade e Detecção. A partir dele classifica-se a prioridade, de modo que as falhas com RPN > 50 devem ser analisadas [8]. Para cada falha, indicou-se uma ação preventiva.

Quadro 1 – Aplicação do FMEA

ID	Equipamento	Modo de Falha	Efeito	Ocorrência	Severidade	Detecção	Matriz 2x2	Classificação	Ação Corretiva Planejada
1									

Fonte: Procedimento Análise do Modo de Falha do Equipamento [12].

Logo após a indicação da ação corretiva para indicação no plano de manutenção, calculou-se um novo índice RPN. O índice da Matriz 2x2 define qual a classificação do risco referente a integridade do equipamento, tomando como base a matriz de prioridade de falha. O índice é definido de acordo com a interseção do índice de severidade da falha com a interseção da metade do valor da soma dos índices de ocorrência e severidade, como pode-se verificar na Figura 6.



Fonte: Procedimento Análise do Modo de Falha do Equipamento [12].

A partir da análise do índice RPN e da Matriz 2x2, chegou-se a uma revisão nos planos de manutenção preventiva dos equipamentos com base no índice de criticidade de cada um.

Na análise de criticidade os equipamentos tomam como base alguns indicadores para sua classificação: Impacto Manutenção (IM), Impacto Produção (IP), Meio Ambiente (MA), Conformidade Regulamentar (CR), Segurança, Saúde Ocupacional (SSO) e Impacto na Imagem (II). No anexo A, está disponível a tabela com a classificação de todos os índices para o cálculo da Avaliação das Diretrizes (D). O cálculo é realizado através da Equação 01:

$$D = IM \times 25\% + IP \times 35\% + MA \times 15\% + CR \times 5\% + SSO \times 10\% + II \times 10\% \quad [\text{Equação 01}]$$

O produto da Avaliação das Diretrizes (D) com a Probabilidade de Falha (P), nos remete a Criticidade do Ativo (C). Para o índice menor que 20, a criticidade é C, para maior ou igual a 20 e menor que 39, a criticidade é B, enquanto para índices maiores ou iguais a 39, a criticidade é A, sendo A o mais crítico e C o menos crítico.

4. RESULTADOS

Criou-se um plano de manutenção preventiva para bombas e motores hidráulicos do referido equipamento, tendo em vista que o mesmo sofreu modificações em seu sistema hidráulico, Apêndice A. Dos principais pontos do FMEA realizado, pode-se destacar:

Para os motores hidráulicos: um modo de falha que possui um risco elevado para o equipamento é a linha de sucção obstruída, baixo nível de óleo ou pistões presos por verniz no óleo, o que pode ocasionar a perda de pressão, aquecimento e desgaste prematuro dos componentes [13]. Uma ação no plano de manutenção é a inclusão da limpeza/troca periódica do filtro de sucção da bomba, bem como a inspeção das mangueiras de sucção, limpeza periódica do reservatório do sistema hidráulico. Outro ponto a estar atento é em relação a qualidade do óleo hidráulico utilizado no sistema, do contrário pode ocasionar perda de eficiência e elevação da temperatura do sistema, de acordo com [14] aproximadamente 50% dos problemas encontrados nos sistemas hidráulicos estão relacionados ao óleo hidráulico.

Para a bomba de engrenagens: um modo de falha que se pode destacar é a sobrecarga no sistema, de modo que se pode ocasionar sérios danos a integridade do equipamento, possivelmente ocasionando uma falha total no equipamento, conforme especificado pela [15], de modo interromper a operação, logo, deve-se incluir no plano de manutenção a inspeção dos filtros e mangueiras de sucção, filtração periódica do óleo do reservatório. Outro ponto a ser analisado são as engrenagens do sistema, os quais, devido a condições adversas, podem sofrer com abrasão e choques, ocasionando desgastes – contaminando o óleo – e/ou trincas, uma boa prática é a verificação periódica das folgas e inspeção de sua integridade [15].

Para os redutores dos agitadores: um modo de falha que se destaca é o desgaste/fadiga no eixo, devido a vibrações excessivas ou desalinhamento, de modo que se pode ocasionar a parada do redutor, consequentemente a parada da mistura das pastas. Para ser evitado, uma solução é incluir no plano de manutenção preventiva a substituição anual do óleo e filtração do mesmo em manutenções semestrais, sempre cuidando para que ocorra a troca periódica com as especificações corretas de acordo com o manual do fabricante, e verificar possíveis contaminações do sistema (por água ou limalha), verificação dos rolamentos quanto a possíveis folgas e sua lubrificação. Outro modo de falha que pode impactar de forma significativa no equipamento é o desgaste do rolamento, que pode ser ocasionado por falta de lubrificação ou fadiga, ocasionando perda de desempenho, elevação de temperatura e possível parada. Indicou-se incluir no plano de manutenção preventiva a inspeção dos rolamentos e realizar os ajustes e lubrificação dos mesmos, caso necessário [16].

Para as bombas hidráulicas: assim como os motores hidráulicos, um modo de falha que possui um risco elevado para o equipamento é o desgaste dos pistões, ocasionando uma queda de pressão no sistema, reduzindo a eficiência do equipamento, logo deve-se incluir no plano de manutenção a troca periódica (anual) do óleo e filtragem do óleo a cada 6 meses como [13] encontrou em seu estudo. Outro ponto a estar atento é a baixa pressão na linha de sucção que pode ocasionando a cavitação, por isso a importância da inspeção das mangueiras de sucção, filtragem e troca periódica e filtros e óleo hidráulico [14].

Com base na Tabela do Anexo A, pode-se verificar que, em sua maioria, os indicadores de classificação da Matriz 2x2 foram alterados com a introdução das recomendações.

Realizou-se a classificação dos equipamentos do sistema hidráulico com base em sua criticidade. De modo que as bombas hidráulicas (de engrenagens e pistão), motores hidráulicos e redutores possuem criticidade B, enquanto, por sua vez, o tanque hidráulico possui criticidade C, como podemos observar no Quadro 2.

Quadro 2 – Análise Criticidade do Sistema Hidráulico

DESCRIÇÃO	Impacto Manutenção (IM)	Impacto Produção (IP)	Meio Ambiente (MA)	Conformidade Regulamentar (CR)	Segurança, Saúde Ocupacional (SSO)	Impacto na Imagem (II)	Avaliação geral das Diretrizes (D)	Probabilidade e de Falha (P)	Criticidade do Ativo (C)	Criticidade A	Criticidade B	Criticidade C
	Peso:	Peso:	Peso:	Peso:	Peso:	Peso:	100,0%			R >= ...	39 > R >= ...	R < 20
	25,0%	35,0%	15,0%	5,0%	10,0%	10,0%				39	20	
										20%	40%	40%
TANQUE HIDRAULICO	2	4	4	1	1	1	2,8	1	2,8			2,8
BOMBA HIDRAULICA DE ENGRENAGEM	4	6	1	1	6	4	4,3	8	34,4		34,4	
MOTOR HIDRAULO	4	6	1	1	6	4	4,3	8	34,4		34,4	
BOMBA HIDRAULICA PISTÃO	4	6	1	1	6	4	4,3	8	34,4		34,4	
REDUTOR DO AGITADOR	4	6	1	1	1	1	3,5	6	21,0		21,0	

Fonte: Autoria própria (2022).

5. CONCLUSÃO

Com base nos objetivos propostos no presente trabalho, realizou-se a análise das principais falhas ocorridas em cada equipamento do sistema hidráulico do Batch Mixer. As falhas foram classificadas de acordo com seus índices de Detecção, Severidade e Ocorrência, com base nesses índices, calculou-se o RPN para classificar a prioridade de cada ação proposta, calculando-se o novo índice RPN com base nas ações propostas.

Classificou-se cada equipamento do sistema hidráulico de acordo com a sua criticidade. Para cada possível modo falha apontado, foi incluída uma ação a ser tomada para revisão do plano de manutenção, com o intuito de evitar uma possível falha nos equipamentos. Com isso, é esperado uma diminuição no número de manutenções corretivas.

Outro fator importante para a manutenibilidade dos equipamentos é o início das manutenções preditivas, realizando-se a análise do óleo do sistema hidráulico. O mesmo será difundido para os outros equipamentos do ativo.

6. REFERÊNCIAS

- [1] Ford Motor Company, Instruction Manual Process FMEA, 1988.
- [2] Associação Brasileira de Normas Técnicas. NBR 5462: Confiabilidade e Manutenibilidade. Rio de Janeiro, 1994.
- [3] FOGLIATTO, F.S.; RIBEIRO, J.L.D. Confiabilidade e manutenção industrial. São Paulo: Campus; Elsevier Editora, 2009, 265p.
- [4] PALADY, P. FMEA análise dos modos de falhas e efeitos. Prevendo e prevenindo problemas antes que ocorram. 4.ed. São Paulo: IMAN, 2007.
- [5] JARDIM, J.V., RIFFEL, D.B., COSTA, A.L. ANÁLISE DE FALHAS DE UMA BOMBA CENTRÍFUGA. Fortaleza: CONEM, 2016.
- [6] PALADY P. FMEA análise dos modos de falhas e efeitos. Prevendo e prevenindo problemas antes que ocorram. 4.ed. São Paulo: IMAN, 2007.
- [7] BRAMBILLA, H.; VOLANTE, C. R. Um estudo sobre FMEA – análise de modos e efeitos de falha. In: III SIMTEC – Simpósio de Tecnologia da FATEC Taquaritinga. Disponível em: <www.fatectq.edu.br/SIMTEC>. 10 p. Outubro de 2015.
- [8] Franceschini, F., & Galetto, M. A new approach for evaluation of risk priorities of failure modes in FMEA. International Journal of Production Research, 39, 2991–3002, 2001.

- [9] Garcia, P. A. A., Schirru, R., & Frutuoso Emelo, P. F. A fuzzy data envelopment analysis approach for FMEA. *Progress in Nuclear Energy*, 46, 359–373, 2005.
- [10] JAPAN INSTITUTE FOR PLANT MAINTENANCE (JIPM). 600 Forms Manual. Japan, 1995.
- [11] PETROBRAS. N-2781 C. TÉCNICAS APLICÁVEIS À ENGENHARIA DE CONFIABILIDADE, 2019.
- [12] Análise do Modo de Falha do Equipamento (FMEA). Procedimento Petroreconcavo. 2019.
- [13] TOVAR, P. H. ANÁLISE FMEA PARA APLICAÇÃO DA METODOLOGIA DE MANUTENÇÃO CENTRADA EM CONFIABILIDADE: ESTUDO DE CASO EM MOTOR HIDRÁULICO POCLAIN. UFRS: Vitória, 2017.
- [14] JINGYI, Z., et al. The development and prospects of hydraulic reliability engineering. *International conference on Fluid Power Transmission and Control*, 2001.
- [15] BOSCH. Causas de Falhas em Bombas de Engrenagens. Disponível em: <https://dc-br.resource.bosch.com/media/br/produtos/materiais_t_cnicos_2012_a_2015/causas_de_falhas_em_bombas_de_engrenagem.pdf>, acesso em 02 de outubro de 2022.
- [16] FERREIRA, T. D. Falhas e Avarias em Veios de Redutores Industriais: Causas vs. Efeitos. Lisboa: FCT, 2013.
- [17] Classificação da Criticidades de Ativos. Procedimento Petroreconcavo. 2020.

ANEXO A [17]

Probabilidade de Falha (PF)	Pontuação
Frequência da Falha:	
< 1 mês	10
1-6 meses	8
6-12 meses	6
1-2 anos	4
2-5 anos	2
> 5 anos	1

Impacto Manutenção (IM)	Pontuação
A indisponibilidade do ativo ao cumprir a função desejada pode resultar em:	
Custo de manutenção muito alto: Custo médio de reparo é alto; > R\$50.000; Tempo de médio de reparo (MTTR) é muito alto; > 10 dias	10
Alto custo de manutenção: Custo médio de reparo é alto; entre R\$ 25.000 e R\$50.000,00; Tempo médio de reparo (MTTR) é alto; 5 - 10 dias	8
Acima do custo total médio de manutenção: Custo médio de reparo é alto; entre R\$10.000,00 e R\$ 25.000; Tempo médio de reparo (MTTR) é maior do que o normal; 3 - 4 dias	6
Custo médio de manutenção: Ativo não é visto como caro para manter; entre R\$5.000,00 e R\$ 10.000; Tempo médio de reparo (MTTR) está alinhado com o de outros ativos; 1 - 2 dias	4
Baixo custo de manutenção: Custo médio para reparo; entre R\$ 1.000 e R\$ 5.000; Tempo médio de reparo (MTTR) é de até 24 horas	2
Custo de manutenção insignificante: Custo médio de reparo; < R\$1.000,00; Tempo médio de reparo (MTTR) é insignificante (até 6 horas)	1

Impacto Produção (IP)	Pontuação
A indisponibilidade do ativo ao cumprir a função desejada pode resultar em:	
Grande impacto sobre a produção: Resultado é produção parada por > 72 horas; Resultado de perdas irreparáveis de produção ou serviços chaves ou atividades críticas de negócios ou parada de uma planta inteira por 6 horas	10
Grande impacto sobre a produção: Resultado é produção parada entre 24 e 72 horas; Resultado de perdas de produção chaves ou atividades críticas de negócios	8
Impacto significativo na produção: Limitação significativa na eficácia de algumas operações por 12 ou 24 horas; Operações restritas em outras áreas de operação dentro de 12 horas do evento da falha	6
Produção restrita: Limitação significativa na produção de algumas operações por 4 e 12 horas; Operações restritas em outras áreas de operação dentro de 12 horas do evento da falha	4
Menor efeito sobre a produção: Limitação da operação eficaz entre 2 e 4 horas	2
Efeito sobre a produção insignificante: Limitação de produção inferior a 2 horas; Âmbito operacional normal para gerenciamento	1

Meio Ambiente (MA)	Pontuação
A indisponibilidade do ativo ao cumprir a função desejada pode resultar em:	
Impacto Internacional	10
Impacto nacional (Estado e Agência Reguladora)	8
Impacto regional (Município)	6
Impacto local (Comunidade)	4
Impacto insignificante	1

Conformidade Regulamentar (CR)	Pontuação
A indisponibilidade do ativo ao cumprir a função desejada pode resultar em:	
Penalidades consideráveis e processos e penas de prisão	10
Violação das leis com processos e penalidades consideráveis ou não conformidades graves.	8
Sérias investigações da lei com investigação de autoridades e penas moderadas,	6
Questões jurídicas menores. Descumprimento e violação de leis	4
Nenhum efeito legal ou regulamentar	1

Segurança, Saúde Ocupacional (SSO)	Pontuação
A indisponibilidade do ativo ao cumprir a função desejada pode resultar em:	
Fatalidades múltiplas / Impacto em saúde e em última instância fatal	10
Fatalidade única ou perda da qualidade de vida impacto / irreversíveis impactos na saúde	8
Perda de tempo com ferimentos / Impactos reversíveis na saúde - CAF	6
Casos de tratamento médico / Exposição a altos riscos de saúde - SAF	4
Casos de primeiros socorros / Exposição a menores riscos de saúde	2
Efeitos insignificantes em segurança e saúde	1

Impacto na Imagem (II)	Pontuação
A indisponibilidade do ativo ao cumprir a função desejada pode resultar em:	
Impacto internacional: atenção pública internacional	10
Impacto nacional: atenção pública nacional (Estado e Agência reguladora)	8
Impacto considerável: interesse público regional (PARTES INTERESSADAS)	6
Impacto limitado: interesse público local (PARTES INTERESSADAS)	4
Nenhum impacto: nenhum interesse público	1

APENDICE A

Id.	Equipamento	Modo de Falha	Efeito Potencial da Falha	Ocorrência	Severidade	Deteção	NPR	Matriz 2x2	Classificação	Ação Preventiva Planejada	Nova Ocorrência	Nova Severidade	Nova Deteção	Novo NPR	Matriz 2x2	Nova Classificação
1	Bomba Hidráulica - SPM PV 22	Baixa pressão na linha de sucção	Cavitação, aumento da temperatura, perda de eficiência	5	7	3	105	74	Risco Elevado	Incluir no plano de manutenção a limpeza/troca periódica do filtro de sucção da bomba, bem como a verificação das mangueiras	3	7	3	63	73	Risco Moderado
2		Contaminação do óleo, óleo fora das especificações	Falhas e travamento, trepidação, perda de vazão e eficiência	3	5	5	75	54	Risco Elevado	Incluir no plano de manutenção a limpeza/troca periódica do filtro de sucção da bomba, bem como a verificação das mangueiras, filtragem periódica do óleo	1	5	5	25	53	Risco Moderado
3		Desgastes nos pistões	Perda de pressão, vácuo, entrada de ar	3	7	3	63	73	Risco Moderado	Incluir no plano de manutenção a troca periódica do óleo e filtragem, início de manutenção preditiva	2	7	1	14	72	Risco Moderado
4		Sucção obstruída, baixo nível de óleo; pistões presos por verniz no óleo; ferrugem ou corrosão	Perda de pressão, aquecimento e desgaste prematuro dos componentes	4	7	3	84	74	Risco Elevado	Incluir no plano de manutenção a limpeza/troca periódica do filtro de sucção da bomba, bem como a verificação das mangueiras, limpeza periódica do reservatório do sistema hidráulico	2	7	3	42	73	Risco Moderado
Id.	Equipamento	Modo de Falha	Efeito Potencial da Falha	Ocorrência	Severidade	Deteção	NPR	Matriz 2x2	Classificação	Ação Preventiva Planejada	Nova Ocorrência	Nova Severidade	Nova Deteção	Novo NPR	Matriz 2x2	Nova Classificação
5	Motor Hidráulico - SPM PV 22	Baixa pressão na linha de sucção	Cavitação, aumento da temperatura, perda de eficiência	5	7	3	105	74	Risco Elevado	Incluir no plano de manutenção a limpeza/troca periódica do filtro de sucção da bomba, bem como a verificação das mangueiras	3	7	3	63	73	Risco Moderado
6		Contaminação do óleo, óleo fora das especificações	Falhas e travamento, trepidação, perda de vazão e eficiência	3	5	5	75	54	Risco Elevado	Incluir no plano de manutenção a limpeza/troca periódica do filtro de sucção da bomba, bem como a verificação das mangueiras, filtragem periódica do óleo	1	5	5	25	53	Risco Moderado
7		Desgastes nos pistões	Perda de pressão, vácuo, entrada de ar	3	7	3	63	73	Risco Moderado	Incluir no plano de manutenção a troca periódica do óleo e filtragem, início de manutenção preditiva	2	7	1	14	72	Risco Moderado
8		Sucção obstruída, baixo nível de óleo; pistões presos por verniz no óleo; ferrugem ou corrosão	Perda de pressão, aquecimento e desgaste prematuro dos componentes	4	7	3	84	74	Risco Elevado	Incluir no plano de manutenção a limpeza/troca periódica do filtro de sucção da bomba, bem como a verificação das mangueiras, limpeza periódica do reservatório do sistema hidráulico	2	7	3	42	73	Risco Moderado
Id.	Equipamento	Modo de Falha	Efeito Potencial da Falha	Ocorrência	Severidade	Deteção	NPR	Matriz 2x2	Classificação	Ação Preventiva Planejada	Nova Ocorrência	Nova Severidade	Nova Deteção	Novo NPR	Matriz 2x2	Nova Classificação
9	Bomba Engrenagens - P30	Desgaste, trincas e/ou quebra dos dentes das engrenagens	Perda de pressão, aquecimento e desgaste prematuro dos componentes	4	7	3	84	74	Risco Elevado	Verificar possíveis perdas de pressão substituição de filtros e limpeza do óleo	3	7	3	63	73	Risco Moderado
10		Ranhuras no flange de compensação por contaminação	Perda de desempenho, elevação de temperatura, contaminação do sistema	4	7	3	84	74	Risco Elevado	Verificar possíveis perdas de pressão substituição de filtros e limpeza do óleo	3	7	3	63	73	Risco Moderado
11		Desgaste do eixo	Perda de desempenho, elevação de temperatura, contaminação do sistema	4	7	3	84	74	Risco Elevado	Verificar possíveis perdas de pressão substituição de filtros e limpeza do óleo	3	7	3	63	73	Risco Moderado
12		Retentor do eixo danificado	Perda desempenho e vazamento de óleo	4	7	2	56	74	Risco Moderado	Verificar possíveis perdas de pressão substituição de filtros e limpeza do óleo	2	7	3	42	73	Risco Moderado
Id.	Equipamento	Modo de Falha	Efeito Potencial da Falha	Ocorrência	Severidade	Deteção	NPR	Matriz 2x2	Classificação	Ação Preventiva Planejada	Nova Ocorrência	Nova Severidade	Nova Deteção	Novo NPR	Matriz 2x2	Nova Classificação
13	Redutores dos Agitadores	Desgaste e/ou quebra/fadiga do eixo (devido a vibrações excessivas, desalinhamento)	Perda de desempenho, elevação de temperatura	3	7	3	63	73	Risco Moderado	Substituição do óleo e verificar possíveis contaminações do sistema (por água ou limalha), verificação dos rolamentos	2	7	3	42	73	Risco Moderado
14		Desgaste, trincas, empenamentos e/ou quebra dos dentes das engrenagens	Perda de desempenho, elevação de temperatura	3	7	3	63	73	Risco Moderado	Substituição do óleo e verificar possíveis contaminações do sistema (por água ou limalha), verificação dos rolamentos	2	7	3	42	73	Risco Moderado
15		Desgaste, Fratura, Deformação, Fadiga e/ou corrosão no rolamento	Perda de desempenho, elevação de temperatura	3	7	3	63	73	Risco Moderado	Substituição do óleo e verificar possíveis contaminações do sistema (por água ou limalha), verificação dos rolamentos	2	7	3	42	73	Risco Moderado
16		Vazamento de óleo (falha no retentor)	Lubrificação insuficiente, gerando atrito, aumento de temperatura e desgaste	3	4	3	24	43	Risco Moderado	Incluir no plano de manutenção preventiva a verificação da integridade dos retentores e possíveis trocas	3	4	2	24	43	Risco Moderado