

UNIVERSIDADE FEDERAL DO RIO DE JANEIRO
DEPARTAMENTO DE ENGENHARIA MECÂNICA – CAMPUS MACAÉ
CURSO DE ENGENHARIA MECANICA

GABRIEL BARBOSA TEIXEIRA

**ANÁLISE DO PROCESSO DE GESTÃO DA MANUTENÇÃO E INVESTIGAÇÃO
DE FALHAS DE UM BLOWOUT PREVENTER: UM ESTUDO DE CASO EM UMA
EMPRESA DO SETOR DE ÓLEO E GÁS**

MACAÉ/RJ

2023

GABRIEL BARBOSA TEIXEIRA

**ANÁLISE DO PROCESSO DE GESTÃO DA MANUTENÇÃO E INVESTIGAÇÃO
DE FALHAS DE UM BLOWOUT PREVENTER: UM ESTUDO DE CASO EM UMA
EMPRESA DO SETOR DE ÓLEO E GÁS**

Trabalho de Conclusão de Curso de Graduação
submetido ao Corpo Docente da Engenharia
Mecânica do Campus Macaé da Universidade
Federal do Rio de Janeiro, como requisito
parcial à obtenção do título de Engenheiro
Mecânico.

Orientador: Prof. DrThiago Gomes de Lima

MACAÉ/RJ

2023

CIP - Catalogação na Publicação

T266

Teixeira, Gabriel Barbosa

Análise do processo de gestão da manutenção e investigação de falhas de um blowout preventer : um estudo de caso em uma empresa do setor de óleo e gás / Gabriel Barbosa Teixeira - Macaé, 2023.

88 f.

Orientador(a): Thiago Gomes de Lima.

Trabalho de conclusão de curso (graduação) - Universidade Federal do Rio de Janeiro, Instituto Politécnico, Bacharel em Engenharia Mecânica, 2023.

1. Equipamentos industriais – manutenção e reparos. 2. Óleo e gás.
3. Estruturas offshore. 4. Engenharia mecânica. I. Lima, Thiago Gomes de, orient.
II. Título.

CDD 624

**ANÁLISE DO PROCESSO DE GESTÃO DA MANUTENÇÃO E INVESTIGAÇÃO
DE FALHAS DE UM BLOWOUT PREVENTER: UM ESTUDO DE CASO EM UMA
EMPRESA DO SETOR DE ÓLEO E GÁS**

GABRIEL BARBOSA TEIXEIRA

Orientador: Prof. Dr. Thiago Gomes de Lima

Aprovada em

Prof. Thiago Gomes de Lima, D. Sc.
Orientador – UFRJ Macaé

Banca: Marcelo Costa Cardoso, D. Sc
Membro interno – UFRJ Macaé

Prof. Maurício Nepomuceno, D. Sc
Membro interno – UFRJ Macaé

MACAÉ/RJ

2023

Dedico esse trabalho a minha mãe Luciana e a minha avó Neusa por sempre terem acreditado em mim e por tornarem possível esse sonho acontecer. Amo vocês!

AGRADECIMENTOS

Primeiramente, agradeço a Deus pela oportunidade de estar vivendo e completando mais um ciclo, por ter me dado sabedoria e iluminado meu caminho até aqui. Agradecer imensamente a minha família e meus amigos em geral, a todos aqueles que me apoiaram e me incentivaram durante essa longa caminhada.

A minha mãe Luciana e minha avó Neusa, minhas maiores referências, meu mais sincero obrigado. Agradeço por tornarem tudo isso possível, por terem sido minha base durante toda essa trajetória, por estarem sempre ao meu lado pra me incentivar, me cobrarem nas horas devidas, e me apoiar em todo o período. Posso dizer que durante essa longa caminhada, fomos três pessoas em busca de um único objetivo, sem elas nada seria possível.

Agradecer, também, em especial ao meu tio Luiz Carlos e minha prima Larissa, que foram minha referência antes mesmo de entrar na universidade, e que com todos ensinamentos e conselhos compartilhados ao longo da graduação, conseguiram tornar possível a conclusão desse ciclo. Obrigado pelo incentivo e todo apoio.

Por fim, ao meu orientador Thiago Gomes que me encontrou perdido em meio a tantas ideias e sem saber como colocá-las em prática, tornou possível transcrevê-las para o papel. Me motivava a cada reunião com seu humor e sua motivação, e assim tornou possível a “canjica” sair do fogo.

“Já que não nos é dado viver por longo tempo, façamos algo que fique a atestar termos vivido.”

RESUMO

O setor de manutenção é de suma importância para assegurar a confiabilidade e o bom desempenho operacional dos equipamentos. As empresas do setor óleo e gás são diretamente impactadas quando há parada de produção devido a algum desvio de processo ou falha no seu produto. O presente trabalho tem como objetivo analisar o processo de gestão de manutenção e investigação de falha em um equipamento utilizado nos processos de perfuração de poços e exploração de petróleo: o *blowout preventer*. Portanto, foi realizado um estudo de caso em uma empresa prestadora de serviço no setor de óleo e gás, no qual foram analisados os processos de manutenção e de análises de falhas aplicado ao equipamento (BOP). Os resultados mostraram que a empresa possui dois diferentes gestões de manutenção. A gestão da manutenção em máquinas da empresa que diz respeito a parte infra estrutural da empresa e a gestão da manutenção dos equipamentos em geral que são enviados para organização através de cliente para realização de serviços, que é dividida em pré-manutenção, manutenção do equipamento e entrega do equipamento. Para o processo de análise de falhas, observou-se que a empresa possui procedimentos internos para tratativas de desvios encontrados e registros de não conformidade, que definem como devem ser implementadas as ações corretivas e preventivas para cada tipo de desvio encontrado. Identificou-se também que na aplicabilidade do processo de investigação de falhas do caso estudado foi registrado ocorrência de desvio no produto e de processo. Na análise de falha do equipamento pelo cliente, encontrou-se desvio no produto e foi tratado com implementação de ações corretivas, e na análise de causa da falha notificada pelo cliente, a empresa utilizou da ferramenta cinco porquês e assim encontrou o motivo do desvio de processo, e para evitar recorrência tomou ações preventivas. Por fim, foi possível notar que o uso destes métodos para investigação e solução de problemas auxiliam o investigador a ser ágil e assertivo para solucionar o caso. Assim como as tomadas de ações corretivas e preventivas previnem a recorrência de falhas e/ou até mesmo a existência de um outro desvio.

Palavras-chave: Manutenção. BOP. Cinco porquês. Falhas. Equipamentos.

ABSTRACT

The maintenance sector is of paramount importance to ensure the reliability and good operational performance of the equipment. Companies in the oil and gas sector are directly impacted when there is a production shutdown due to some process deviation or failure in their product. The present work aims to analyze the process of maintenance management and failure investigation in an equipment used in the processes of well drilling and oil exploration: the blowout preventer. Therefore, a case study was carried out in a service provider company in the oil and gas sector, in which the maintenance processes and failure analysis applied to the equipment (BOP) were analyzed. The results showed that the company has two different maintenance managements. The management of maintenance on machines of the company that concerns the infrastructural part of the company and the management of the maintenance of the equipment in general that are sent to the organization through the customer to perform services, which is divided into pre-maintenance, maintenance of the equipment and delivery of the equipment. For the failure analysis process, it was observed that the company has internal procedures for dealing with deviations found and records of non-compliance, which define how corrective and preventive actions should be implemented for each type of deviation found. It was also identified that in the applicability of the process of investigation of failures of the case studied was recorded occurrence of deviation in the product and process. In the analysis of equipment failure by the customer, deviation was found in the product and was treated with implementation of corrective actions, and in the analysis of the cause of the failure notified by the customer, the company used the tool five whys and thus found the reason for the process deviation, and to avoid recurrence took preventive actions. Finally, it was possible to notice that the use of these methods for investigation and problem solving help the investigator to be agile and assertive to solve the case. Just as the taking of corrective and preventive actions prevent the recurrence of failures and / or even the existence of another deviation.

Key Words: Maintenance. BOP. Five whys. Failures. Equipment.

LISTA DE FIGURAS

Figura 1 - Evolução Temporal da manutenção.....	21
Figura 2 - Esquemático dos tipos de manutenção	23
Figura 3 - Estrutura de classificação de falhas	29
Figura 4 - Interligação entre Causa, Modo de Falha e Efeitos	31
Figura 5 - Exemplo de Árvore de Falhas	33
Figura 6 - Diagrama de Causa /Efeito: Desempenho Desejado	34
Figura 7 - Diagrama de Causa-Efeito: Problema	35
Figura 8 - Sonda de perfuração do método percussivo	39
Figura 9 - Sonda de perfuração do método rotativo	40
Figura 10 - Sonda de perfuração	41
Figura 11 - Coluna de perfuração	43
Figura 12 - Sistema de conexão do BOP	45
Figura 13 - BOP anular	46
Figura 14 - Ram BOP	47
Figura 15 - Operações da empresa a nível mundial	52
Figura 16 - Organograma 2023 da empresa	54
Figura 17 - Organograma: Estrutura Organizacional Setor de Manutenção	55
Figura 18 – BOP Anular.....	56
Figura 19 – BOP Gaveta Duplo	56
Figura 20 - Abertura de chamado no sistema M+	59
Figura 21 - Abertura da ordem de serviço.....	59
Figura 22 - Cronograma de manutenção conforme criticidade de equipamentos	60
Figura 23 - Fluxograma do processo de orçamentação de serviço de reparo /remanufatura / Fabricação	61
Figura 24 – Fluxograma de tratativa interna de desvios e não conformidades	65
Figura 25 - Etiqueta de não conformidade	66
Figura 26 - Desenho técnico do anular, indicativo do selo danificado no corpo do Equipamento.....	71
Figura 27 - Danos ao selo da câmara de close (2).....	71
Figura 28 - Desenho técnico do anular, indicativo do selo danificado no <i>adapter ring</i>	72
Figura 29 - Danos ao selo da câmara de open	72

Figura 30 - Pistão do anular com desprendimento de <i>xylan</i>	73
Figura 31 - Material depositado no selo do <i>adapter ring</i>	73
Figura 32 - Desenho do equipamento baseado no projeto original.....	77
Figura 33 - Instrução de revestimento - BOP.....	77
Figura 34 - Instrução de revestimento – BOP.....	78
Figura 35 - Ensaio de cura.....	78
Figura 36 - Ensaio de aderência.....	78
Figura 37 - Roteiro típico de revestimento atualizado.....	80

LISTA DE QUADROS

Quadro 1 - Manutenção segundo autores	20
Quadro 2 - Planejamento da manutenção.....	24
Quadro 3 - Características da manutenção tradicional e MCC	26
Quadro 4 - Quadro explicativo do método 5W2H.....	36
Quadro 5 - Normas aplicáveis durante manutenção de BOP	48
Quadro 6 - Serviços fornecidos pela empresa durante integração de sistemas de BOP	56
Quadro 7 – Modelo de Roteiro de Trabalho	63
Quadro 8 - Disposição de produtos/equipamentos.....	67
Quadro 9 - Investigação de causa raiz – método cinco porquês	74
Quadro 10 - Tarefa de revestimento de <i>xylan</i>	76

SUMÁRIO

1 INTRODUÇÃO	14
1.1 OBJETIVO GERAL.....	16
1.1.1 Objetivos específicos	16
1.2 JUSTIFICATIVA	16
1.3 MOTIVAÇÃO PESSOAL	17
1.4 ESTRUTURA DO TRABALHO	18
2 REFERENCIAL TEÓRICO	19
2.1 CONTEXTUALIZAÇÃO DA MANUTENÇÃO	19
2.1.1 Evolução da manutenção	20
2.1.2 Tipos de manutenção	22
2.1.3 Planejamento de manutenção	23
2.1.4 Controle da manutenção	25
2.2 MANUTENÇÃO CENTRADA NA CONFIABILIDADE (MCC)	26
2.2.1 Falhas	28
2.3 MÉTODOS PARA ANÁLISE E SOLUÇÃO DE FALHAS	31
2.3.1 <i>Brainstorm</i> (tempestade de ideias)	32
2.3.2 Diagrama da árvore	33
2.3.3 Diagrama de Causa-Efeito	34
2.3.4 5W2H	36
2.3.5 Cinco porquês (5W)	37
2.4 PERFURAÇÃO DE POÇO DE PETRÓLEO	38
2.4.1 Métodos de perfuração	39
2.5 SISTEMA DE CONTROLE DE POÇO	42
2.5.1 Blowout Preventer (BOPs)	44
2.5.1.1 BOPs Anulares	46
2.5.1.2 Ram BOP	47
2.6 NORMAS APLICADAS ÀS ATIVIDADES DE MANUTENÇÃO DO BOP	48
3 PROCEDIMENTOS METODOLÓGICOS	50
3.1 CONTEXTUALIZAÇÃO DA EMPRESA	51

3.2 ESTRUTURA ORGANIZACIONAL.....	53
3.3 TIPOS DE BOP'S MANUTEIDOS NA EMPRESA.....	55
4 RESULTADOS	57
4.1 ETAPA 1. PROCEDIMENTOS DE GESTÃO DA MANUTENÇÃO	57
4.1.1 Manutenção em maquinário da empresa	57
4.1.2 Manutenção dos equipamentos em geral que são encaminhados para organização através de clientes	60
4.1.2.1 Pré-Manutenção	62
4.1.2.2 Manutenção	62
4.1.2.3 Entrega do Equipamento	63
4.2 ETAPA 2: PROCEDIMENTO PARA INVESTIGAÇÃO DE FALHAS	64
4.2.1 Implementação de ações corretivas.....	68
4.2.2 Implementação de ações preventivas.....	69
4.3 ETAPA 3 - APLICABILIDADE DO PROCESSO DE INVESTIGAÇÃO DE FALHAS DA EMPRESA NA ANÁLISE DO EVENTO	70
4.3.1 Análise de falha do equipamento pelo cliente	70
4.3.2 Análise de causa raiz do desvio de processo.....	73
5 DISCUSSÃO RESULTADOS	81
5.1 RECOMENDAÇÕES	82
6 CONCLUSÃO.....	83
6.1 LIMITAÇÕES DO TRABALHO	84
6.2 POSSIBILIDADES DE TRABALHO FUTURO	84
REFERENCIAS BIBLIOGRAFICAS	85

1 INTRODUÇÃO

O cenário competitivo mundial tem sinalizado a necessidade de reduções significativas de custos e aumento da produtividade nas organizações. Entre as diversas ações que podem contribuir para que os objetivos sejam atendidos, um deles é o estabelecimento de medidas, neste contexto, é essencial que os equipamentos inseridos nas indústrias contem com baixas probabilidades de falhas (PALMER, 2006).

A gestão da manutenção é um tema cada vez mais abordado nas indústrias e consiste num processo de melhoria contínua. Através desta as organizações podem alcançar maior eficiência e produtividade nos processos fabris, além de conseguirem controlar e monitorar o funcionamento de máquinas e equipamentos da produção, evitando, portanto, os riscos de quebras e paradas no processo. Reitera Menezes (2022), a gestão da manutenção contempla a gestão de todos os ativos que fazem parte de uma companhia, buscando maximizar o retorno de investimento no ativo, a garantia pela segurança, proteção do meio ambiente e dos indivíduos.

Kardec e Nascif (2009) apud Souza (2021), afirmam que há algumas décadas, os gestores tinham uma percepção a respeito da manutenção como uma área incontrollável e custosa, entretanto, na atualidade as empresas têm apontado investimentos significativos na área dado a sua importância estratégica. Como exemplo, apenas a Companhia Brasileira de Petróleo (Petrobrás), investiu em 2021, cerca de R\$2,3 bilhões em paradas preventivas de manutenção de refinarias, tratando-se de um recorde de investimento na área. Tal investimento, representa um aumento superior a 50% em relação a 2020 e mais de 20% em comparação ao recorde anterior, apontado em 2019. (PETROBRAS, 2022).

Nota-se o elevado custo de manutenção nas organizações, tornando-se necessário investimentos em aprimoramentos dos processos de manutenção, treinamentos e em tipos de manutenção adequados para cada equipamento. Em especial no setor de óleo e gás, dados da Agência Nacional do Petróleo, Gás Natural, e Biocombustíveis (ANP), os investimentos deverão alcançar aproximadamente R\$ 1,8 trilhões até 2054, enquanto a arrecadação deve atingir R\$ 6 trilhões, especificamente em leilões de áreas exploratórios do pré-sal. Porém, para que todo o investimento previsto pelo setor de óleo e gás seja de fato lucrativo nos resultados das organizações, é essencial, um nível de excelência superior no que tange a gestão da manutenção, visto que falhas nos equipamentos e problemas nas operações, podem resultar em grandes desastres ambientais ou perda de vidas. (VIEIRA, 2019)

Dado a importância dessa temática, muitos pesquisadores estão realizando estudos para compreender a gestão da manutenção dentro das organizações, inclusive no setor de óleo e gás.

Menezes (2022), desenvolveu um estudo com o objetivo de sugerir uma metodologia que visa apoiar no planejamento da manutenção de componentes de sistemas que operam sob condições de risco, avaliando as suas criticidades e particularidades. Neste estudo o autor utilizou uma abordagem de multicritério, baseando-se na aplicação dos conceitos da Teoria de Utilidade e do Método *Electre Tri*, visando revelar alternativas que possam auxiliar na tomada de decisão a fim de que ações efetivas para a mitigação dos impactos de falha possam ser executadas.

Torres (2002), em seu estudo intitulado Aumento da disponibilidade operacional por meio da manutenção preventiva aplicada em chave hidráulica de tubos na indústria do petróleo, neste estudo o autor contemplou análise dos históricos de falha dos equipamentos, o uso da ferramenta 5 porquês para elaboração dos planos de manutenção preventivo de equipamentos, além da elaboração de indicadores de desempenho.

Carvalho et al. (2022), em seu trabalho reforçaram que as paradas de manutenção geram problemas que impactam diretamente na produção e exploração de petróleo nas plataformas de petróleo *offshore*, gerando prejuízos nas organizações do setor e nesta publicação o autor procurou demonstrar como o uso do *design thinking* pode colaborar para alcançar melhores resultados operacionais.

Moura et al. (2022) desenvolveram um estudo de caso a respeito de uma unidade de compressão de gás natural. Neste trabalho o autor buscou identificar as causas que estão impactando no atraso das entregas de manutenção preventiva e propor sugestões de melhorias para as causas identificadas, portanto, foi elaborado um plano de ação para cada uma das causas levantadas, com as respectivas alternativas para solucionar os problemas revelados ao longo do estudo.

Verifica-se que os termos manutenção, defeito e falha, são comuns nos estudos relacionados à gestão da manutenção. Visando compreender a diferença entre os termos a Associação Brasileira de Normas Técnicas (ABNT (1994) definiu da seguinte maneira:

- I. Manutenção: Uma combinação de todas as técnicas e administrativas, destinadas a manter ou recolocar um item em um estado no qual possa desempenhar uma função requerida.
- II. Defeito: Qualquer desvio de uma característica de um item em relação aos seus requisitos, ou seja, as condições do item podem sofrer algum desvio padrão, mas isso

não impede o seu funcionamento, porém a curto ou longo prazo pode gerar sua indisponibilidade.

- III. Falha: é definida como o término da capacidade de um item desempenhar a função requerida, ou seja, uma ocorrência pode acarretar uma perda parcial da função ou perda total da função, interferindo diretamente no escopo do projeto inicial.

Em virtude dos fatos, o presente trabalho pretende contribuir para ampliar a base de conhecimentos acerca da gestão de manutenção no setor de óleo e gás, em especial, acerca da manutenção de equipamentos submarinos.

1.1 OBJETIVO GERAL

Este trabalho tem como objetivo analisar o processo de gestão de manutenção e investigação de falhas de equipamentos utilizados em processos de perfuração de poços e exploração de petróleo. Portanto, pretende-se realizar um estudo de caso em uma empresa prestadora de serviço no setor de óleo e gás, especificamente no que tange a análise da falha de um equipamento mantido.

1.1.1 Objetivos específicos

- I. Fazer a contextualização da gestão da manutenção nas organizações do setor de óleo e gás, com foco no cenário atual;
- II. Contextualizar a indústria do petróleo e descrever alguns equipamentos envolvidos na extração de óleo e gás;
- III. Apresentar ferramentas de análise e investigação de falha;
- IV. Abordar um caso prático de aplicação de ações corretivas pela empresa analisada, os respectivos processos de gestão da manutenção, e em especial, as metodologias adotadas pela organização para investigação de problemas de falha em um equipamento.

1.2 JUSTIFICATIVA

O setor de óleo e gás no Brasil conta com uma significativa parcela de contribuição para o crescimento da produção de petróleo do mundo até 2030. No Brasil, o setor tem atraído muitos investimentos em pesquisa em função das especificidades para a exploração do petróleo no pré-

sal. 1997. Segundo dados do Instituto Brasileiro de Petróleo e Gás (IBP, 2020), o Brasil conta com aproximadamente 100 unidades de produção *offshore* em operação, sendo essas responsáveis por uma parcela significativa da produção nacional de petróleo e gás natural.

A extração do petróleo é constante, tendo suas unidades operando 24h por dia e sete dias por semana. O *downtime*, ou seja, a paralisação das operações, podem levar a perdas financeiras expressivas e são sempre indesejadas pelas companhias. Em relação ao *downtime* Talyuli (2013), reforça que a urgência para solucionar os problemas encontrados nas operações de exploração de petróleo, muitas das vezes impede que uma boa e assertiva análise seja feita durante as investigações das falhas. O aumento do número de falhas ocorre por uma manutenção inadequada, refletindo assim no tempo perdido de uma sonda, minimizando a confiabilidade da operação dos equipamentos e ferramentas mantidos

Neste sentido, os equipamentos submarinos, e principalmente os equipamentos de *drilling*, são peças fundamentais e indispensáveis para o processo de exploração de petróleo a nível mundial. Sendo de extrema necessidade a prática de uma excelente gestão de manutenção pelas organizações, visto que a falha de um equipamento, pode causar danos ambientais e enorme prejuízo financeiro nos negócios. Sabe-se que um tempo de inatividade não planejado de 1% adiciona milhões em custos de manutenção e perda de produção, conforme aponta a consultoria *Maxgrip* especializada, com ampla expertise no setor de Petróleo e Gás. (MAXGRIP, 2023)

Apesar do estudo de caso estar relacionado a um caso específico, bem como, alinhado a uma situação ocorrida em um equipamento, espera-se que este estudo seja de alta relevância para os casos semelhantes e sirva como material de consulta para engenheiros, gestores e profissionais da manutenção. Embora as organizações tenham bons planos de manutenção, para evitar as falhas de equipamentos utilizados na operação, bem como, procedimentos internos necessários frente a uma falha ou ocorrência, espera-se que uma investigação seja realizada e que a mesma possa solucionar o problema e prevenir futuras ocorrências.

1.3 MOTIVAÇÃO PESSOAL

A motivação para o desenvolvimento do trabalho de conclusão de curso se deu, em primeiro lugar, pela curiosidade de entender e debater problemas ocorridos no setor de óleos e gás.

Em segundo lugar, pela necessidade de lidar e encontrar soluções para ocorridos em equipamentos submarinos, além de entender que falhas em equipamentos são situações

indesejadas que podem acarretar morte de funcionários e também prejuízos financeiros enormes dentro de uma organização. Sendo assim, a não gestão da manutenção pode acarretar grandes perdas de receita e perda de credibilidade da companhia.

O autor deste motivou-se na escrita a partir da ocorrência de alguns eventos indesejados com equipamentos que poderiam ser mantidos dentro da sua empresa. Desta forma, surgiu a motivação e a oportunidade de direcionar os estudos referente aos aspectos que tangem a gestão da manutenção e aos processos de investigação de incidentes da Empresa X.

1.4 ESTRUTURA DO TRABALHO

Este trabalho está dividido em seis partes: introdução, referencial teórico, procedimentos metodológicos, resultados, discussão de resultados e parte conclusiva. Por fim é apresentado as referências bibliográficas.

A primeira parte busca introduzir ao leitor um breve resumo a respeito do histórico da gestão da manutenção e da contextualização do tema estudado. O referencial teórico, segunda parte, apresentará uma contextualização da manutenção, mostrará a manutenção centrada na confiabilidade (MCC), métodos para análise e solução de falhas, a contextualização da perfuração do poço de petróleo, o sistema de controle de poço e por fim as normas aplicadas às atividades de manutenção do BOP.

No decorrer da terceira parte será apresentado os procedimentos metodológicos e será conceituado a metodologia de estudo de caso, contemplando a contextualização da companhia no qual o estudo de caso ocorreu, são apresentadas as organizações estruturais da empresa e os tipos de BOP's mantidos por ela.

Na quarta parte são apresentados os resultados do estudo de caso, contemplando procedimentos de gestão da manutenção da empresa, procedimentos utilizados por ela para investigação de falhas e a aplicabilidade do processo de investigação de falhas da empresa na análise do evento. Para a quinta parte, será apresentado a discussão de resultados, e recomendações do autor para setores envolvidos diretamente no mercado petrolífero. Por fim, na sexta parte serão apresentadas as conclusões obtidas com o estudo e algumas recomendações do autor, referentes a aplicação da metodologia utilizada e elaboração de trabalhos futuros e as referências bibliográficas.

2 REFERENCIAL TEÓRICO

Com o intuito de contextualizar e apresentar as informações para melhor entendimento das metodologias e conceitos abordados no estudo de caso, nesta etapa será abordado o referencial teórico. Será apresentado de forma breve o conceito de gestão da manutenção, tipos da manutenção, seguido pelas principais ferramentas utilizadas para análise e investigação de problemas, uma contextualização da história do petróleo, além da abordagem de alguns equipamentos submarinos.

2.1 CONTEXTUALIZAÇÃO DA MANUTENÇÃO

A manutenção, mesmo que despercebida, sempre existiu. Começou a ser denominada como manutenção por volta do século XVI na Europa Central, juntamente com o surgimento do relógio mecânico, quando surgiram os primeiros técnicos em montagens e assistência. Tomou corpo ao longo da Revolução Industrial e firmou-se, como necessidade absoluta, na Segunda Guerra Mundial (MORO, 2007). Antes da Revolução Industrial, que teve seu início na segunda metade do Séc. XIX, o reparo de equipamentos era predominante, pois os sistemas já tinham uma vida tecnológica muito longa, eram facilmente reparáveis e não existia o conceito de peças substituíveis (CARDOSO, 1999).

Com a melhoria dos processos produtivos resultante da Revolução Industrial, do desenvolvimento do controle da qualidade e da automação, chegou-se à conclusão de que alguns componentes tinham qualidade suficiente para serem intermutáveis, criando-se assim o conceito de peças de substituição, que transformou o trabalho do operador de manutenção numa atividade de diagnóstico de avarias cada vez mais importantes (CABRITA E SILVA, 2002).

Nos tempos atuais, a sociedade mostra-se dependente do excelente funcionamento de diversos sistemas complexos. Todo sistema desenvolvido por humanos é, de certa maneira, passível de falha no que tange a sua degradação por tempo de fabricação ou maneira de uso. É dito que um sistema falha quando o mesmo não é capaz de atender à função que aquele é designado a fazer. A manutenção deixou de ser uma atividade realizada apenas após o início da operação, para um conceito mais estratégico, fazendo-se necessário sua consideração desde o projeto até a construção do sistema (KOBACZY et al., 2008).

Moubroy (1996), aponta que a manutenção tem desenvolvido novos modos de pensar, técnicos e administrativos, já que as exigências do mercado atual tornaram visíveis as limitações dos atuais sistemas de gestão. A manutenção visa o bom funcionamento dos ativos

ou sistema, fazendo prolongar a vida útil e, assim, evita o desgaste e avarias que poderão surgir (SHIGUNOV, 2014).

Quando se trata do termo manutenção, há um consenso entre pesquisadores que definem como objetivo principal a garantia de que os ativos estejam em excelentes condições de operação. O Quadro 1 traz algumas das abordagens, já feitas, da literatura, por diferentes pensadores.

Quadro 1 - Manutenção segundo autores.

PESQUISADORES	MANUTENÇÃO
Kardec e Nascif (2005)	Manutenção: atividades necessárias para garantir a disponibilidade das funções dos equipamentos e instalações, de maneira a atender um processo produtivo e a preservação do meio ambiente, com confiabilidade, segurança e custo adequado para a empresa.
Pereira (2011)	Manutenção é um conjunto de ações tomadas para restabelecer o bom funcionamento do equipamento, ou seja, para garantir que esse desempenha a função requerida.
Moro (2007)	Manutenção é atuar no sistema (de uma forma geral) com o objetivo de evitar quebras e/ou paradas na produção, bem como garantir a qualidade planejada dos produtos.
Gusmão (2001)	A manutenção pode ser definida como "o conjunto de atividades direcionadas para garantir, ao menor custo possível, a máxima disponibilidade do equipamento para a produção, na sua máxima capacidade: prevenindo a ocorrência de falhas, e identificando e sanando as causas da performance deficiente dos equipamentos".
Souris (1992)	A Manutenção é a garantia da disponibilidade dos equipamentos de produção, através da avaliação das imperfeições no patrimônio tecnológico investido.
Moubray (2001)	A manutenção deve assegurar que os ativos físicos continuem a fazer o que seus usuários esperam que eles façam.

Fonte:, Elaboração Própria (2023)

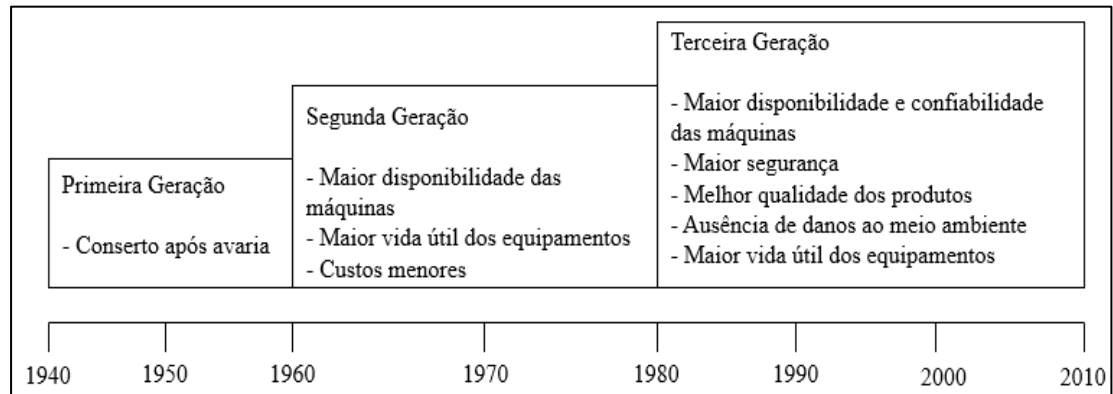
O termo manutenção tende a ser algo bem simples a ser definido, porém não é como ocorre. Para a definição e entendimento é necessário levar em consideração um contexto complexo e dinâmico, onde o principal objetivo do gerenciamento de manutenção é a otimização total do ciclo de vida do ativo (KOBACZY et al., 2008). De acordo com a NBR 5462-1994, a manutenção é uma prática que inclui ações técnicas e administrativas que devem manter um determinado item a sua capacidade de desempenhar a função esperada.

2.1.1 Evolução da Manutenção

Moubray (1997) e Siqueira (2009) concordam que a evolução da manutenção é marcada por três gerações distintas, onde cada uma das gerações vai corresponder a um período tecnológico de produção, resultando em inéditos conceitos, novas filosofias e atividades de

manutenção. A figura 1 ilustra as três gerações da manutenção em análise do histórico dos últimos 70 anos.

Figura 1 - Evolução Temporal da manutenção



Fonte: adaptado de MOUBRAY (2000, p.3)

A primeira geração é marcada pelo gerenciamento de ações estritamente corretivas. Geração essa que se estende até a Segunda Guerra Mundial, caracterizada por uma indústria altamente mecanizada, com sistemas simples e de capacidade superdimensionada, o que permitia a adoção de ações simplesmente corretivas. O desempenho não era um fator crucial, permitindo tempos inativos do sistema (MOUBRAY, 1997; SIQUEIRA, 2009).

Com o aumento da complexidade e evolução das máquinas, assim como a escassez de mão de obra devido ao período de guerra, foram necessárias algumas mudanças nas ações de gestão da manutenção. Período marcado pela segunda geração (MOUBRAY, 2020), geração marcada pela ideia de antecipar a ocorrência de uma falha, através de revisões gerais com uma periodicidade determinada, surgindo assim o conceito de manutenção preventiva. Deu início também, às pesquisas científicas no desenvolvimento de técnicas de manutenção baseadas na disponibilidade e desempenho do equipamento, conhecida como manutenção preditiva (SIQUEIRA, 2009).

De acordo com Moubray (2000), a terceira geração surgiu motivado pelos seguintes fatores: (i) novas expectativas quanto aos itens físicos com à confiabilidade, disponibilidade, integridade ambiental, segurança humana e ao aumento dos custos totais de manutenção; (ii) novas pesquisas que evidenciaram a existência de seis padrões de falhas de equipamentos; (iii) surgimento de novas ferramentas e técnicas de manutenção, tais como o monitoramento de condições dos equipamentos, projeto de equipamentos com ênfase na manutenção e no trabalho em equipe.

2.1.2 Tipos de Manutenção

Os tipos de manutenção são as formas de como as intervenções são executadas nos equipamentos de produção. Podemos dividir a atividade de manutenção em vários tipos, neste estudo pode ser verificada a definição dos mais comuns tipos. Para Kardec e Nascif (2010) entre as práticas básicas mais comuns de manutenção, encontram-se: manutenção corretiva não planejada, manutenção corretiva planejada, manutenção preventiva, manutenção preditiva, manutenção detectiva e engenharia da manutenção. Xavier (2003) considera bastante adequada a seguinte classificação em função dos tipos de manutenção sendo bastante atualizado em relação à norma ABNT:

- I. Manutenção corretiva é a atuação para correção de falha ou do desempenho menor que o esperado. É oriundo da palavra ‘corrigir’. A mesma pode ser dividida em duas fases:
 - i. Manutenção corretiva não planejada - correção da falha de maneira aleatória, ou seja, é desempenho menor que o esperado após a ocorrência do fato. Esse tipo de manutenção implica em altos custos, pois, causa perdas de produção e, em consequência, os danos aos equipamentos é maior;
 - ii. Manutenção corretiva planejada - é a correção que se faz em função de um acompanhamento preditivo, detectivo ou até mesmo pela decisão gerencial de se operar até ocorrer a falha. Devido ao planejamento, tende a ficar mais barato, mais seguro e mais ágil.

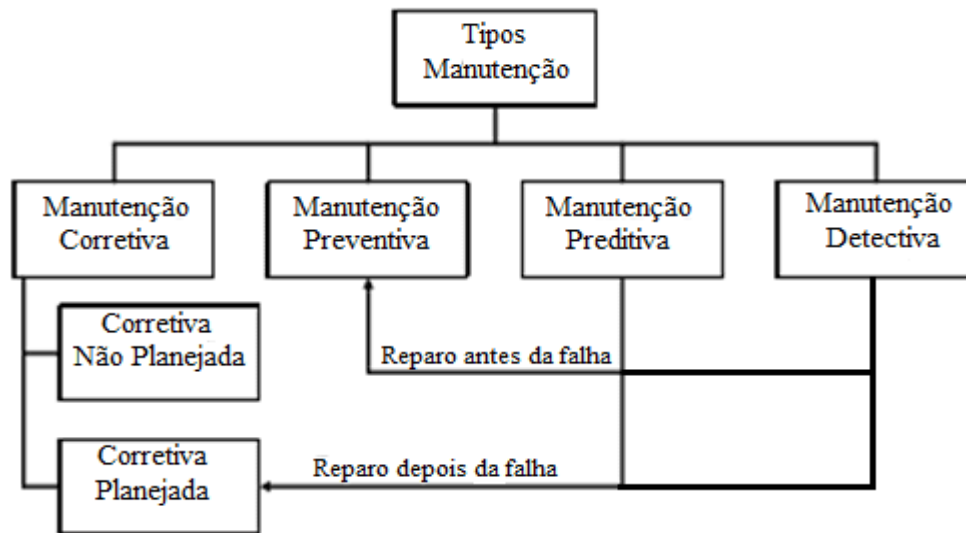
Algumas definições podem ser consideradas no que tange a manutenção preventiva, preditiva e detectiva. Sobre a Manutenção Preventiva, a Associação Brasileira de Normas Técnicas (ABNT, 1994), define como a manutenção realizada em tempos corretos, ou conforme critérios prescritos, destinada a diminuir as chances de falhas e degradação. São práticas de tarefas que são capazes de ampliar a vida dos equipamentos e máquinas, prevenindo quebras e procurando observar o equipamento com diversos métodos e análises (GUIMARÃES, 2005).

Siqueira (2005), explica que a manutenção preditiva enquanto uma técnica de previsão ou antecipação da falha, pois, permite medir os critérios que apresentam o progresso de um defeito a tempo de serem reparados (SIQUEIRA, 2005). Para Takahashi e Osada (1993), a manutenção preditiva é de grande auxílio à manutenção preventiva e corretiva, pois possibilita a intervenção com antecedência da quebra, podendo assim ser criado um plano de manutenção antecipado, melhorando a qualidade do produto final.

Já em relação a manutenção detectiva, Souza (2008), sinaliza que este termo vem da palavra detectar e começou a ser referenciado a partir da década de 90. O objetivo da prática

desta política é aumentar a confiabilidade dos equipamentos, haja vista, é caracterizada pela intervenção em sistemas de proteção para detectar falhas ocultas e não perceptíveis ao pessoal da operação. Esclarece Júnior e Parra (2018), a manutenção detectiva teve seu desenvolvimento graças ao avanço das técnicas de automação, protegendo o sistema por meio de um diagnóstico prévio. Com base no contexto apresentado, figura 2 sintetiza os tipos de manutenção:

Figura 2 - Esquemático dos tipos de manutenção



Fonte: Santos, Luís Márcio Alves. Et al. (2019)

Por fim, a engenharia de manutenção pode ser definida como sendo o aperfeiçoamento das técnicas de manutenção, transformando essa área da companhia em um setor com maior potencial de assertividade. Portanto, adota-se técnicas mais modernas, que contribuem com o suporte técnico da manutenção em si, dedicado à consolidação da rotina e a implantação de melhoria contínua, conforme Kardec e Nascif (2010). Diz Viana (2006) que a engenharia de manutenção pode ser definida como a área responsável pela evolução tecnológica da manutenção utilizando o conhecimento empírico e científico como facilitador na solução de problemas nos processos existentes.

2.1.3 Planejamento da Manutenção

O planejamento é um processo composto que tem ações devidamente coordenadas e o objetivo de atingir as determinadas metas. É visto como a ferramenta necessária para se manter na regularidade que se deseja atingir em vários aspectos como controlar o uso de recursos, bem como reduzir o tempo de trabalho e os custos. Salienta Santos (2021), o planejamento da

manutenção nada mais é que um cronograma que prevê todas as atividades dentro do setor da manutenção.

Xenos (1998, p. 171), afirma: O planejamento e a padronização são as bases para melhorar o gerenciamento da manutenção”. Os ganhos só são maiores em qualidade e eficiência quando há planejamento e planos de manutenção (TAKAHASHI, 1993).

Com o intuito de facilitar as atividades de um gestor de manutenção, Pinto e Xavier (2001, p.72) sinalizam a importância do detalhamento do serviço, do micro detalhamento, do orçamento dos serviços e da facilitação dos serviços:

- Em relação ao detalhamento do serviço deve-se considerar: definição das principais tarefas que compõem o trabalho, levantamento dos recursos necessários, e a definição do tempo estimado para cada uma delas.
- No nível do micro detalhamento deve-se incluir: as ferramentas e as máquinas de elevação de carga, máquinas operatrizes, que podem se constituir em gargalos ou caminhos críticos na cadeia da programação.
- Sobre o orçamento dos serviços: deve-se analisar os custos, que além de ser utilizado na área contábil da empresa, realimenta o módulo de planejamento de serviço, ficando disponível para utilizações futuras;
- Acerca da facilitação de serviços: é uma sistemática que visa aumentar a produtividade nos serviços de manutenção. Nesta etapa deve-se realizar a análise prévia do serviço a ser executado, fornecendo informações básicas aos executantes, de modo que eles não percam tempo indo e vindo do local de trabalho para buscar ferramentas, analisar desenhos ou consultar catálogos.

Lacombe e Heilborn (2006, p. 162) afirmam “planejar é, portanto, decidir antecipadamente o que fazer, de que maneira fazer, quando fazer e quem deve fazer”. Trata-se, portanto, da elaboração de um plano formal do que se deseja executar podendo ser mensal, semestral ou anual, conforme apresenta o quadro 2

Quadro 2 - Planejamento da manutenção

PLANEJAMENTO	
PLANEJAR É DECIDIR ANTECIPADAMENTE	O que fazer
	De que maneira fazer
	Quem deve fazer
PLANEJAMENTO DEVE IDENTIFICAR ANTECIPADAMENTE	Os custos do que vai ser feito
	Os benefícios do que vai ser feito
	Os recursos necessários para fazer o que de deseja

Fonte: adaptado de Lacombe e Heilborn (2006, p. 162)

Nota-se que um planejamento quando realizado com eficiência, com a antecipação dos recursos ou ferramentas a serem utilizadas, é capaz de atuar preventivamente e evitar falhas,

bem como, contribui para um melhor gerenciamento de cada setor.

2.1.4 Controle da Manutenção

Controle é um acompanhamento frequente das atividades desenvolvidas, para que ela seja cumprida dentro dos parâmetros desejados. Os autores Pinto e Xavier (2001, p. 68) afirmam que “Para harmonizar todos os processos que interagem na manutenção, é fundamental a existência de um Sistema de Controle da Manutenção”. O sistema de controle irá permitir identificar quais os serviços que serão executados, quais recursos serão necessários para a execução do serviço, quanto será o custo do serviço, quanto tempo irá levar para executar o serviço, que material será aplicado no serviço e quais ferramentas necessárias para a execução dos serviços.

O controle envolve a avaliação de resultados operacionais, continuada da ação remediadora quando os resultados desviam do plano. A atividade de controle é necessária para manter o negócio na direção certa e assegurar que os planos sejam contínuos.

Controle é uma função administrativa que consiste em medir e corrigir o desempenho de subordinados para assegurar que os objetivos e metas da empresa sejam atingidos e os planos formulados para alcançá-los sejam realizados. Assim, controlar abrange (a) acompanhar ou medir alguma coisa, comparar resultados obtidos como previstos e tomar as medidas corretivas cabíveis; ou, de outra forma, (b) compreende a medida do desempenho em comparação com os objetivos e metas predeterminados; inclui coleta e a análise de fatos e dados relevantes, a análise das causas de eventuais desvios, as medidas corretivas e se necessário, o ajuste dos planos. (LACOMBE; HEILBORN, 2006, p. 173).

Ainda afirma Lacombe e Heilborn (2006, p. 160) que planejar e controlar devem ser conhecidas como as funções que devem ser colocadas juntas, pois planejar sem manter o controle não adianta e não há como controlar se não houver planejamento. Por isso, diz-se que um complementa o outro, como também um depende do outro para garantir a perfeita execução dos objetivos propostos. Tavares (1996), explica que existem alguns indicadores para acompanhamento da manutenção efetiva, são eles:

- Tempo médio entre falhas;
- Tempo médio que haverá falha;
- Tempo médio entre manutenções preventivas;
- Tempo médio para intervenção de manutenção preventiva;
- Disponibilidade dos equipamentos.

Então, um dos fatores predominantes para o êxito de uma organização compete a duas ferramentas essenciais, a saber: planejar e controlar. Diante da complexidade do ambiente

interno e externo onde estão inseridas as organizações, traçar um plano e o acompanhar é fundamental para chegar ao objetivo. Neste contexto, a manutenção centrada na confiabilidade (MCC) tem sido adotada por diferentes organizações visando estabelecer alternativas inteligentes de planejamento e controle, para que os ativos se mantenham operando em excelentes condições, com os menores custos, melhor desempenho dos equipamentos e com os menores índices possíveis de riscos a operação. O tópico 2.2 pretende ampliar o entendimento acerca da MMC, suas origens, fundamentos e implementação.

2.2 MANUTENÇÃO CENTRADA NA CONFIABILIDADE (MCC)

Moubray (2001 p. 7) Simplifica quando diz, a manutenção centrada na confiabilidade pode ser definida como: “[...] um processo usado para determinar o que deve ser feito para assegurar que qualquer ativo físico continue a fazer o que seus usuários querem que ele faça no seu contexto operacional presente”. Este processo teve suas origens no final da década de 60, com o desenvolvimento das disciplinas de engenharia da confiabilidade. Inicialmente orientada para a indústria aeronáutica, com o objetivo de direcionar os esforços da manutenção, para componentes e sistemas onde a confiabilidade é fundamental (MOUBRAY, 2001).

A MCC desenvolveu-se no setor industrial nos últimos 20 anos. Com isso, os custos da manutenção começaram a se elevar muito em comparação com os custos operacionais e assim a atividade de manutenção começou a ser visualizada com planejamento e controle, no intuito de aumentar a vida útil dos itens físicos. A partir disso, a MCC passou a ser empregada como garantia da confiabilidade dos itens físicos e também como uma metodologia essencial no planejamento da manutenção preventiva (ZAIONS, 2003).

Trata-se de um novo foco para manutenção em relação ao modelo tradicional, embasando as suas ações em novos objetivos, Garza, (2002). O quadro 3 apresenta as principais características da manutenção tradicional e MCC.

Quadro 3 - Características da manutenção tradicional e MCC

CARACTERISTICAS	MANUTENÇÃO TRADICIONAL	MCC
Foco	Equipamentos	Função
Objetivo	Manter o equipamento	Preservar a função
Atuação	Componente	Sistema
Atividades	O que pode ser feito	O que deve ser feito
Dados	Pouca ênfase	Muita ênfase
Documentação	Reduzida	Obrigatória e Sistemática

Metodologia	Empírica	Estruturada
Combate	Falhas	Consequência das Falhas
Normalização	Não	Sim
Priorização	Inexistente	Por Função

Fonte: Siqueira, Iony P. (2009, p. 17)

Nota-se, portanto, que a MCC apresenta uma visão mais holística das atividades de manutenção, com ênfase significativa na função, por meio de uma abordagem sistêmica e estruturada. Segundo Siqueira (2005), a metodologia de implementação do MCC adota uma sequência estruturada, composta por sete etapas:

Etapa 1. Seleção do Sistema e Coleta de informações;

Etapa 2. Análise de Modos de Falhas e Efeitos;

Etapa 3. Seleção de Funções Significantes;

Etapa 4. Seleção de Atividades Aplicáveis;

Etapa 5. Avaliação da Efetividade das Atividades;

Etapa 6. Seleção das Atividades Aplicáveis e Efetivas;

Etapa 7. Definição da Periodicidade das Atividades.

A primeira etapa, tem como objetivo identificar e documentar o sistema ou processo que será submetido à análise. Na segunda etapa são realizadas as identificações e documentação de todas as funções e seus modos de falha, assim como os efeitos adversos produzidos por elas. Na terceira etapa referente à Seleção de Funções Significantes, utiliza-se um processo estruturado para analisar cada função identificada na etapa dois, e determinar se uma falha tem efeito significativo. Na quarta etapa Seleção de Atividades Aplicáveis, determinam-se as tarefas de manutenção preventiva que sejam tecnicamente aplicáveis para prevenir ou corrigir cada modo de falha. A quinta etapa constitui-se de um processo estruturado para determinar se uma tarefa de manutenção preventiva é efetiva para reduzir as consequências previstas para uma falha, a um nível aceitável. Já a sexta etapa refere-se à Seleção das Tarefas Aplicáveis e Efetivas, utiliza-se um processo estruturado para determinar a melhor tarefa. Por fim, na sétima etapa, estabelece-se os métodos e critérios para definição da periodicidade de execução das atividades selecionadas.

Sendo assim, a MCC é um processo contínuo que reúne dados do desempenho operacional do sistema e utiliza estes dados para melhorar o projeto e a manutenção futura. Esta estratégia é aplicada de forma integrada para que seja possível tirar vantagem de sua força de modo a otimizar a instalação, a operacionalidade e a eficiência dos equipamentos, ao mesmo tempo, minimizar o custo do ciclo de vida dos equipamentos.

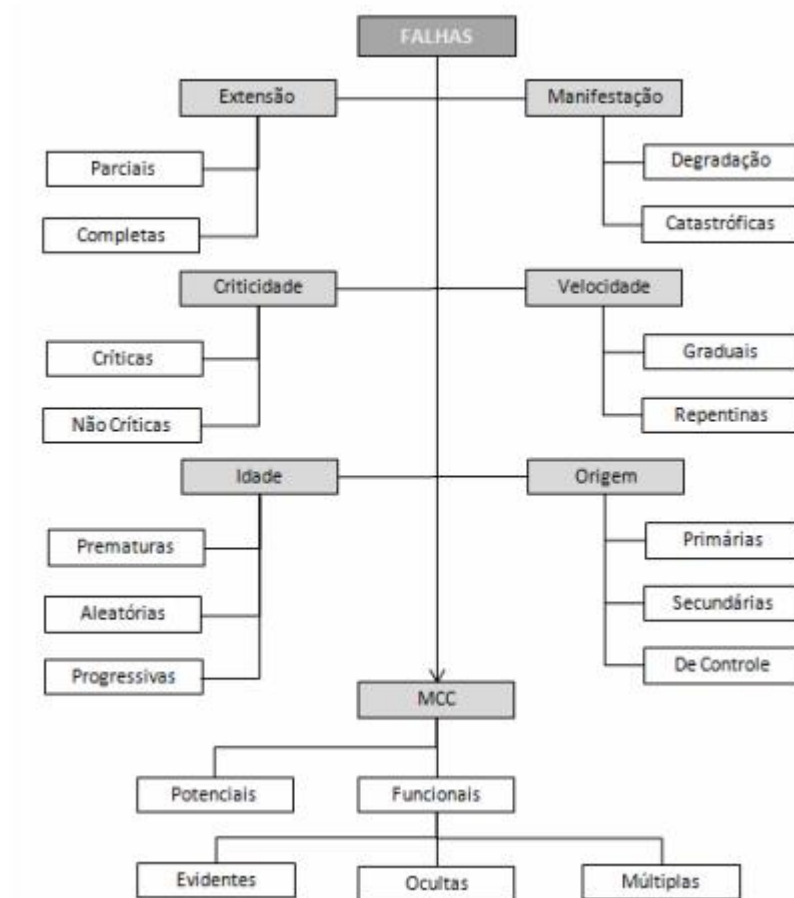
Então, a abordagem da MCC resume-se em fazer com que a falha não seja tão importante ao ponto de interromper uma atividade ou algum funcionamento. Ou seja, se a manutenção não pode prever ou mesmo prevenir as falhas, então os esforços deveriam ser dirigidos a reduzir o impacto de tais falhas. O tópico 2.2.1, abordará as falhas, suas implicações, classificações, os modos as quais são definidas, suas causas e por fim os efeitos que podem causar.

2.2.1 Falhas

As paradas programadas são um fator operacional importante quando se trata de uma unidade de serviços fabris. As paradas inesperadas de manutenção são ocasionadas por falhas de equipamentos e intervenções pela operação geram redução de confiabilidade do processo e perdas de produtividade. Moubray, (2001) já dizia que a manutenção tem como objetivo evitar ou gerenciar falhas antes de utilizar um conjunto adequado de ferramentas para gerenciar a falha é necessário identificar as falhas que podem ocorrer no equipamento.

As falhas podem ser definidas como a incapacidade do item físico de fazer o que o usuário quer que ele faça, porém, essa definição é considerada vaga. Neste sentido, o autor reforça, que é preferível definir falhas em termos de perda de função específica, ao invés do item como um todo. (MOUBRAY, 2001)

Para Siqueira (2005), de maneira geral, uma falha consiste na trava ou modificação da capacidade de desempenho na função destinada ou esperada de um item. As falhas poderão ser classificadas em diferentes aspectos, tais como origem, extensão, velocidade, criticidade, idade ou manifestação. A figura 3 ilustra estes aspectos, em acréscimo à classificação adotada pela MCC.

Figura 3- Estrutura de classificação de falhas

Fonte: Siqueira (2005) apud Souza (2008)

Siqueira (2005), conceitua: o estudo de falhas constitui parte essencial da Manutenção Centrada na Confiabilidade, seguindo-se a identificação e documentação das funções. O ato de corrigir e evitar falhas constitui um dos objetivos primários e principais da manutenção, e para isto, é necessário que se conheça as formas como os sistemas falham. As falhas são classificadas, dentro do objetivo da MCC, de acordo com o efeito que causam sobre uma função do sistema a que pertencem, podendo ser Falha Potencial ou Falha Funcional, conforme Siqueira (2005). A falha potencial pode ser vista como uma condição identificável e mensurável que indica uma falha funcional pendente ou em processo de ocorrência. Por outro lado, a falha funcional é definida pela falta de capacidade do item em desempenhar uma função específica dentro dos limites desejados de performance.

As falhas funcionais, por sua vez, são classificadas pela MCC de acordo com sua visibilidade, e divididas em falha oculta, falha evidente e falha múltipla. A falha oculta não é detectada pela equipe de operação durante o trabalho normal, a falha evidente é detectada pela equipe de operação durante o trabalho diário e já a falha múltipla é a combinação da falha oculta

mais uma segunda falha, ou evento, que a torne evidente (SIQUEIRA, 2005).

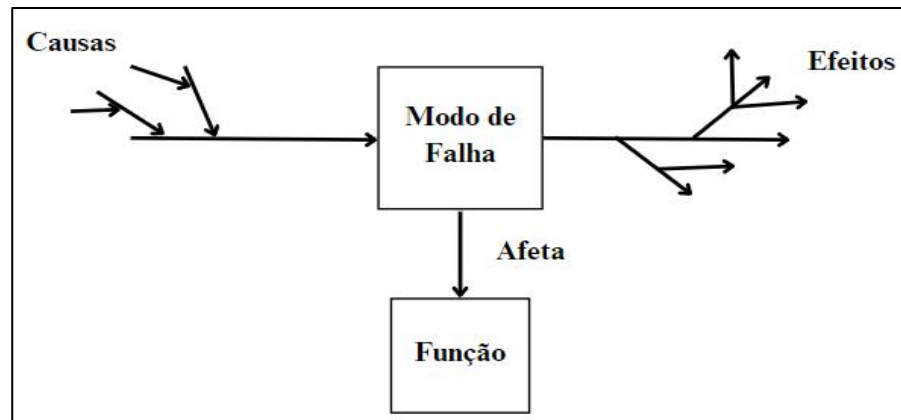
O modo de falha pode ser definido como qualquer evento que possa levar um ativo, seja sistema ou processo, a falhar, SAE JA 1011, (1999) apud Zanios, (2003) está associado às prováveis causas de cada falha funcional. Helman (1995), diz que os modos de falha são eventos que levam associados a eles, uma diminuição parcial ou total da função do produto e de suas metas de desempenho. Conforme Moubray (1997), a identificação de todos os modos de falha do sistema possibilita prever o que acontece quando o evento que pode levar a falha ocorrer, avaliando o seu impacto e decidir o que pode ser feito para antecipar, evitar, detectar, corrigir ou até mesmo eliminá-lo.

Em relação às causas das falhas, é de suma importância estabelecer a diferença entre a causa da falha e modo de falha. Siqueira (2009) explica que o modo descreve o que tem de errado na função do sistema, enquanto a causa descreve o motivo da função estar errada. A causa da falha representa os fenômenos que induzem ao surgimento dos modos de falhas. Possivelmente um modo de falha é capaz de possuir causas diferentes, originadas de sua tecnologia de fabricação e do seu modo de operação, capazes de gerar modos de falhas próprios e específicos. Zaians (2003) detalha que a causa de uma falha pode estar associada a: (i) falhas de projeto; (ii) defeitos de material; (iii) processo de fabricação dos componentes; (iv) falhas de instalação; (v) condições operacionais não previstas; e (vi) falhas de manutenção ou operacionais.

No que tange aos efeitos da falha, Moubray (2000) já reforçava que de forma direta, os efeitos da falha descrevem o que acontece quando um modo de falha ocorre. Para Helman (1995) apud Zanions (2003), os efeitos das falhas são entendidos como os modos de falha que afetam o desempenho do sistema, do ponto de vista do cliente. Alguns efeitos de falha clássicos em máquinas e equipamentos em geral são: (i) esforço de operação excessivo; (ii) vazamento de ar; (iii) desgaste prematuro; (iv) consumo excessivo etc (HELMAN, 1995).

A interligação entre Modo de Falha, Causa Potencial, Função e Efeitos pode ser visualizada na figura 4.

Figura 4: Interligação entre Causa, Modo de Falha e Efeitos.



Fonte: adaptado de Zanions (2003)

Muito se fala da consequência das falhas, pois este efeito é mais notável. De acordo com Xenos, (2014) apud. Azevedo, (2022), existem três grandes categorias de causas das falhas, sendo elas: falta de resistência, uso inapropriado e manutenção inadequada. Xenos (2014) reforça que a falta de resistência é algo inerente ao equipamento e que diversos fatores podem contribuir para os problemas em equipamentos, tais como: o uso inapropriado do equipamento, a operação inadequada do equipamento, os erros humanos, e a manutenção inadequada relacionada às formas de prevenção deficientes. Frente ao contexto apresentado, o **tópico 2.3** apresentará métodos que poderão ser adotados para análise e solução de falhas em equipamentos.

2.3 MÉTODOS PARA ANÁLISE E SOLUÇÃO DE FALHAS

A resolução de problemas torna-se menos complicada caso se conheça a causa-raiz. Então, torna-se essencial o conhecimento da mesma, para que assim a realização de potenciais soluções possam ter os efeitos esperados e eficazes se essas soluções eliminarem a causa raiz (FIGUEIREDO, 2019).

Na manutenção, os principais objetivos são prevenir e corrigir falhas, e para reduzir a ocorrência delas é preciso entender como um determinado sistema falha. É necessário utilizar uma metodologia de análise que estabeleça uma lógica e torne a compreensão dos eventos mais fácil para todos, de modo a identificar todas as causas ao nível físico, humano e primário e, por fim, tomar as ações corretivas para evitar a recorrência da falha (OLIVEIRA, 2011).

Costa e Mendes (2018) Apud Azevedo (2022), frisa que há diversos métodos e ferramentas disponíveis para encontrar a causa raiz, extinguir e evitar o surgimento de efeitos

indesejados nos processos e equipamentos. Neste tópico será abordado alguns dos métodos, visto que diversas são as técnicas que poderão ser adotadas para a solução de problemas, entre elas estão: *brainstorm*, diagrama da árvore, diagrama de causa e efeito, 5W2H e os cinco porquês.

2.3.1 *Brainstorm* (tempestade de ideias)

Um *brainstorming* ou tempestade de ideias é uma reunião destinada a incentivar a total libertação da atividade mental, sem restrições. Figueiredo, (2019). É uma técnica que tem por objetivo obter o máximo de informações acerca de um assunto por meio do conhecimento dos membros envolvidos no processo, no intuito de encontrar as possíveis causas para um determinado problema, Costa e Mendes (2028).

Lins (1993), define o *brainstorm* é uma ferramenta auxiliar de grande utilidade. Relata como a geração de ideias feita de forma livre, pode trazer, em alguns casos, ideias de cunho caótico, as quais, mesmo assim, não devem ser criticadas. Esta técnica funciona tão bem porque, entre outros motivos, as ‘ideias puxam ideias’. As ideias compartilhadas por outros são por vezes pontos de partida para as nossas melhores ideias; é a concordância de ideias de um grupo de pessoas, onde se dispensa o processo de votação, de modo que cada participante apoie a decisão escolhida. (SALES 2008 Apud. FIGUEIREDO 2019)

Declara Oliveira (2011), que o ponto forte desta técnica *brainstorming* é que ela estimula o raciocínio e a criatividade. Aqui, todas as contribuições são importantes, não se restringindo quantidade ou qualidade. A técnica possui três fases, a saber: a) Preparação; b) Geração de Ideias; c) Avaliação.

Na fase de preparação, as pessoas envolvidas de alguma maneira com o problema são convidadas para participarem do estudo. É nesse momento que definem o assunto a ser abordado e as informações necessárias são organizadas. A segunda fase está relacionada à geração de ideias, que é considerada a fase principal da técnica. Nesta fase cada membro compartilha a sua ideia, até que o processo se esgote, ou seja, que nenhuma nova ideia seja sugerida por outros membros. A terceira fase é referente a avaliação das ideias, que tem por objetivo priorizar as ideias por grau de importância. Além de critérios que possam ser mandatórios (requisitos de clientes ou legislação), uma forma de priorizar determinado grupo de ideias pode abranger os aspectos de custo e qualidade.

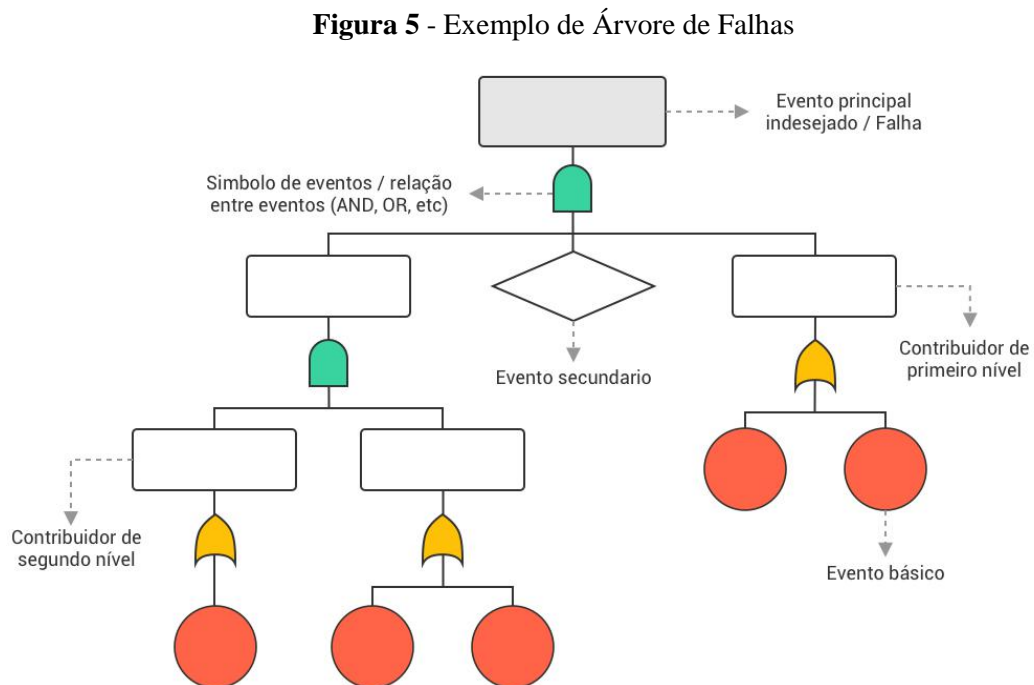
Neste sentido, o *brainstorm* pode ser considerado uma ferramenta inicial, onde a coleta de informação é dispersa e variada. A técnica pode ser utilizada como ponto de partida para a

utilização de outras ferramentas mais robustas e avançadas.

2.3.2 Diagrama da árvore

A Árvore de Falhas é uma ferramenta gráfica de análise da fiabilidade, onde a combinação das faltas é descrita por uma ocorrência em série ou paralelo de ventos e irá resultar na ocorrência do evento indesejado pré-definido. Os eventos e faltas podem ser do tipo falha do equipamento, erro humano, erro de software, ou qualquer outro evento pertinente que pode conduzir ao evento indesejado (FIGUEIREDO, 2019).

Oribe (2004) direciona a construção da árvore de causas, onde o problema deve ser colocado em um quadro e na sequência é necessário perguntar por que o problema acontece, sendo as respostas organizadas num quadro seguinte em um nível abaixo do primeiro. Para o autor, ao final de sucessivos questionamentos do porquê as causas ocorrem, o problema e suas causas estarão completamente mapeadas. Um exemplo de árvore de falha pode ser conferido na Figura 5.



Fonte: CARVALHO (2020)

Nessa técnica, a análise de falhas pode ser do tipo qualitativo ou quantitativo. Na análise qualitativa, o objetivo reside na determinação das causas básicas que levaram um evento qualquer a falhar. Na análise quantitativa, o objetivo é determinar a probabilidade de ocorrência do evento estudado. As principais vantagens do uso da Árvore de Falhas são: Fácil visualização

do problema com o conhecimento sistêmico de processos;

- I. Identificar itens que necessitam ter um elevado nível de fiabilidade;
- II. Possibilita uma análise qualitativa ou quantitativa visando a fiabilidade de um sistema;
- III. Reduções de custo no equipamento ou produto sem prejudicar o atual desempenho;
- IV. Possibilita formular planos de manutenção centrados na fiabilidade;
- V. Permite identificar procedimentos com o enfoque de diminuir a probabilidade de quebra.

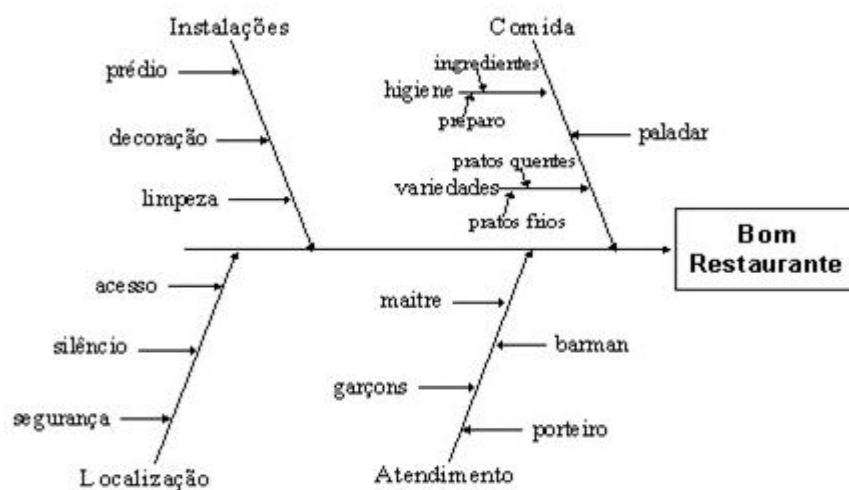
2.3.3 Diagrama de Causa-Efeito

O diagrama de Causa-efeito é a representação gráfica das causas de um fenômeno. É um instrumento muito usado para estudar:

- I. Os fatores que determinam resultados que desejamos obter (processo, desempenho, oportunidade);
- II. As causas de problemas que é necessário eliminar (defeitos, falhas, variabilidade).

A figura 6 ilustra um modelo de diagrama de causa-efeito que apresenta graficamente o processo para alcançar um desempenho desejado de um restaurante.

Figura 6 – Diagrama de Causa /Efeito: Desempenho Desejado

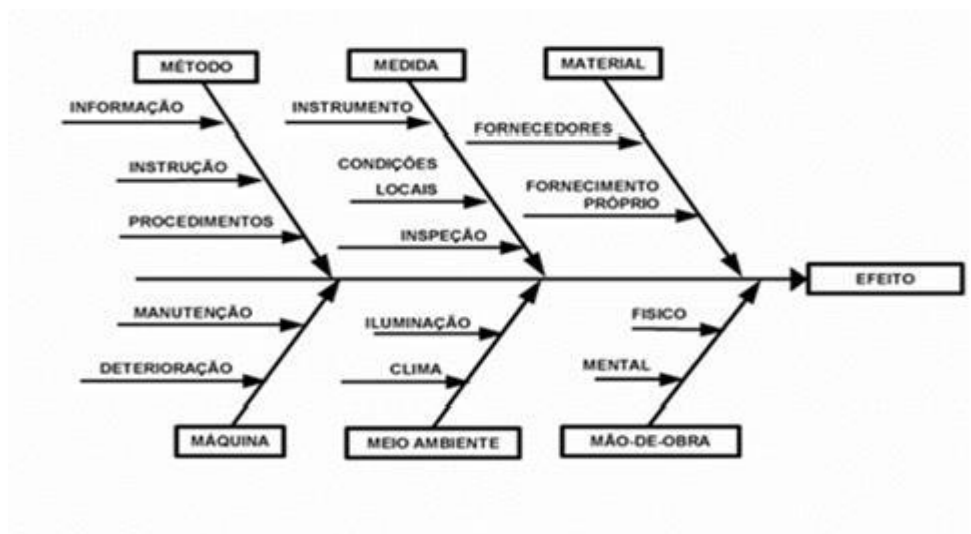


Fonte: www.dcce.lbilce.unesp.br/

O diagrama apresentado (Causa-efeito: desempenho desejado) refere-se a algo que desejamos, isto é, um bom restaurante. Os fatores que determinam um bom restaurante são: instalações, comida, localização e atendimento. Para que a comida seja boa, é necessário uma boa higiene, bom paladar e variedade. A higiene, por sua vez, depende dos ingredientes (saudáveis, bem conservados) e da preparação (receita, cuidado, etc.). O diagrama é detalhado colocando as causas do efeito desejado, depois adicionando as causas destas e assim por diante até que fique bem claro como obter o objetivo visado.

Por outro lado, a figura 7 mostra um segundo modelo de diagrama (Diagrama Causa-efeito: Problema) referente a um efeito indesejado.

Figura 7- Diagrama de Causa-Efeito: Problema



Fonte: Adaptado Firmino (2022).

O Diagrama de Causa e Efeito apresentado, é também conhecido como, diagrama de espinha de peixe ou 6M. Essa ferramenta foi desenvolvida pelo engenheiro químico *Kaoru Ishikawa*, por volta de 1943. O diagrama traz consigo as possíveis indicações para o problema encontrado, depois é adicionado possíveis causas e através da técnica dos porquês (2.3.5), questiona-se cada um dos motivos, até que a causa raiz venha ser identificada. De forma sequencial pode-se inicialmente identificar o problema, elaborar os principais fatores envolvidos, e identificar as possíveis causas, por fim analisa-se o diagrama como um todo.

2.3.4 5W2H

Conforme o Serviço Brasileiro de Apoio às Micro e Pequenas Empresas – (SEBRAE) (2008) a técnica 5W2H é uma ferramenta prática que possibilita planejar ações de um projeto ou de uma unidade de produção em qualquer que seja o momento. A técnica possibilita identificar as responsabilidades de cada colaborador dentro da organização, o que faz e porque realiza tais atividades. De acordo com o quadro 4, o método 5W2H é construído através de sete perguntas, utilizadas para implementar soluções:

Quadro 4 - Quadro explicativo do método 5W2H

MÉTOD0 5H2W			
5W	What	O que?	Que ação será executada?
	Who	Quem?	Quem irá executar/participar da ação?
	Where	Onde?	Onde será executada a ação?
	When	Quando?	Quando a ação será executada?
	Why	Por quê?	Por que a ação será executada?
2H	How	Como?	Como será executada a ação?
	How much	Quanto custa?	Quanto custa para executar a ação?

Fonte: Adaptado de Lima (2023)

- a) *What*: O quê? Qual a atividade? Qual é o assunto? O que deve ser medido? Quais os resultados dessa atividade? Quais atividades são dependentes dela? Quais atividades são necessárias para o início da tarefa? Quais os insumos necessários?
- b) *Who*: Quem? Quem conduz a operação? Qual a equipe responsável? Quem executará determinada atividade? Quem depende da execução da atividade? A atividade depende de quem para ser iniciada?
- c) *Where*: Onde? Onde a operação será conduzida? Em que lugar? Onde a atividade será executada? Onde serão feitas as reuniões presenciais da equipe?
- d) *Why*: Por quê? Por que a operação é necessária? Ela pode ser omitida? Por que a atividade é necessária? Por que a atividade não pode fundir-se com outra atividade? Por que A, B e C foram escolhidos para executar esta atividade?
- e) *When*: Quando? Quando será feito? Quando será o início da atividade? Quando será o término? Quando serão as reuniões presenciais?
- f) *How*: Como? Como conduzir a operação? De que maneira? Como a atividade será executada? Como acompanhar o desenvolvimento dessa atividade? Como A, B e C vão interagir para executar esta atividade?
- g) *How much*: Quanto custa realizar a mudança? Quanto custa a operação atual? Qual é a relação custo / benefício? Quanto tempo está previsto para a atividade?

O SEBRAE (2008) reforça que a técnica 5W2H é uma ferramenta simples, e de grande valor para os gestores, pois pode auxiliar na análise e no conhecimento sobre determinado processo, problema ou ação a serem efetivadas, podendo ser usado em três etapas na solução de problemas:

- a) Diagnóstico: usado para investigar um problema ou processo, para aumentar o nível de informações e buscar rapidamente as falhas;
- b) Plano de ação: utilizado no auxílio da montagem de um plano de ação sobre o que deve ser feito para eliminar um problema;
- c) Padronização: utilizado para auxiliar na padronização de procedimentos que devem ser seguidos como modelo, para prevenir o reaparecimento de modelos.
- d) Para Gomes e Barcelos (2019) apud. Azevedo (2022) é de grande valia utilizar questionamentos para sanar dúvidas a respeito de problemas existentes, ou até mesmo para facilitar tomadas de decisões. Sendo este método um norte para atribuição de responsabilidades dos indivíduos envolvidos.

2.3.5 Cinco porquês (5W)

De acordo com Ohno (1997), o método dos 5 porquês é uma abordagem científica, utilizada no sistema Toyota de Produção, para se chegar à verdadeira causa raiz do problema, que geralmente está escondida através de sintomas óbvios. Afirma Ohno (1997) apud. Costa (2018), a ferramenta tem como objetivo, mediante a utilização de cinco perguntas (por quês), identificar a causa raiz do problema. O autor sintetiza que a utilização dessa ferramenta parte do princípio de evitar a recorrência de um defeito, eliminando a causa básica dele sem que seja feita somente a substituição da parte com o problema, pois seria provável de ocorrer novamente.

Trata-se de uma ferramenta simples para solucionar problemas que foi desenvolvida por Taiichi Ohno, pai do Sistema de Produção *Toyota* e consiste em formular a pergunta ‘Por quê’ cinco vezes para compreender o que aconteceu (a causa-raiz). É importante salientar que nada impede que mais (ou menos) do que 5 perguntas sejam feitas. O número cinco vem da observação de Ono de que esse número costuma ser suficiente para se chegar à causa raiz.

Weiss (2011) apud. Costa (2018), também sinalizam que na análise dos 5 por quês, pode-se utilizar menor quantidade de pôr quês (3 por exemplo), ou maior quantidade de pôr quês, sempre dependerá da necessidade da análise para que se encontre a causa raiz.

Nesta técnica adota-se um conjunto específico de etapas, com instrumentos associados, para encontrar a causa primária do problema, de modo que você pode: Determinar o que aconteceu; determinar por que isso aconteceu; descobrir o que fazer para reduzir a

probabilidade de que isso aconteça novamente.

Weiss (2011), de forma simplificada, descreve os cinco passos que devem ser seguidos para aplicar o método:

- 1º. Passo. Inicie a análise com a afirmação da situação que se deseja entender – ou seja, deve-se iniciar com o problema;
- 2º. Passo. Pergunte por que a afirmação anterior é verdadeira.
- 3º. Passo. Para a razão descrita que explica por que a afirmação anterior é verdadeira, pergunte por que novamente;
- 4º. Passo. Continue perguntando por que até que não se possa mais perguntar mais por quês;
- 5º. Passo. Ao cessar as respostas dos porquês significa que a causa raiz foi identificada.

Vale alertar que é de grande importância entender que esta é uma ferramenta limitada. Fazer cinco perguntas não substitui uma análise mais detalhada. É importante levar em consideração que com o uso dessa ferramenta e com as perguntas das quais fazem parte da análise, as pessoas podem chegar a diferentes conclusões de causa raiz. Por isso o ideal é que as perguntas sejam feitas com participação de uma equipe, para que se gere um debate em torno das causas verdadeiras.

Conforme visto, as ferramentas utilizadas na análise e solução de falhas são de extrema importância para que uma empresa consiga manter sua gestão em manutenção em alto nível. Observa-se que diferentes métodos podem ser adotados para chegar a uma causa raiz, no que depende do padrão de cada companhia. Por fim, essas ferramentas (cinco por quês e 5W2H) serão abordadas pelo autor no decorrer do artigo, pois elas serão métodos de análise utilizados no estudo de caso presente.

2.4 PERFURAÇÃO DE POÇO DE PETRÓLEO

Mathias (2016) detalha que, a perfuração dos poços é realizada através de uma sonda, que através da trituração de rochas permite a abertura de um poço, para tanto adota-se dois métodos, sendo eles, o método percussivo e o método rotativo. Ambos os métodos visam perfurar poços e garantir boas sustentação e vedação a esses poços.

Sinteticamente, os fragmentos de rocha resultantes do trituramento são retirados pela ação de um fluido de perfuração ou lama que são injetados por bombeamento nesta coluna. Ao atingir determinada profundidade retira-se a coluna de perfuração inicial e coloca-se uma a

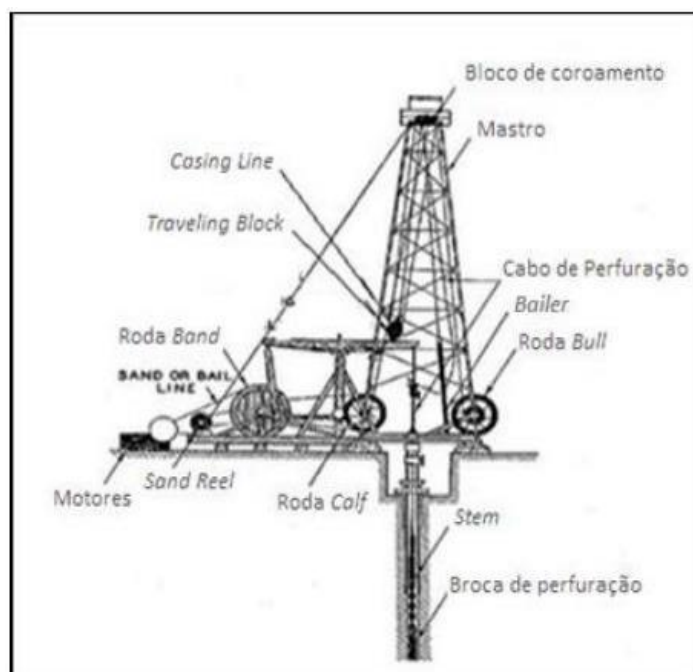
outra coluna, a coluna de revestimento em aço, com um diâmetro inferior ao da broca para dar continuidade ao processo de perfuração.

O próximo passo deste processo é a cimentação, que se dá pela união dos anulares dos tubos de revestimento. Por meio de uma operação segura, a coluna de perfuração é descida novamente ao poço com uma nova broca de menor diâmetro, assim sucessivamente até o final da perfuração (THOMAS, 2004). O tópico 2.4.1 apresenta os métodos de perfuração de forma detalhada.

2.4.1 Métodos de perfuração

Mello (2014) apud. Mathias (2016), diz que o método percussivo consiste no esmagamento da formação através de uma broca localizada na extremidade de uma haste de aço. O esmagamento é realizado quando se suspende essa haste e deixa-se a mesma cair no local desejado, fazendo com que a broca esmague a rocha. A repetição do movimento de içamento e soltura da haste faz com que seja aberto o poço. Os pedaços de rocha, denominados cascalhos, são gerados no interior do poço após vários golpes, sendo retirados por uma ferramenta chamada caçamba. A figura 8 representa uma sonda de perfuração do método percussivo.

Figura 8: Sonda de perfuração do método percussivo

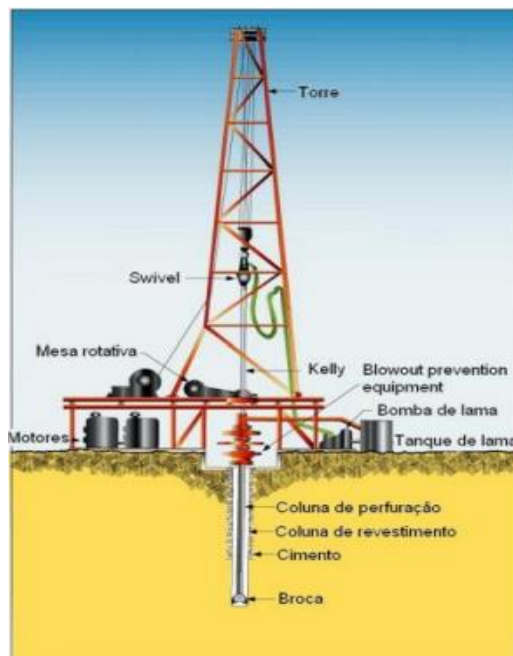


Fonte: PEREIRA (2014) apud. MATHIAS (2016)

Por outro lado, o método rotativo é caracterizado pela transferência de rotação para a broca, e por uma estrutura que é altamente equipada para a perfuração de um poço, Natal (2003). Mello (2014) demonstra que com o peso e a rotação, a broca consegue triturar a rocha e perfurar um poço em direção a um reservatório de petróleo. Nesse método rotativo, os fragmentos originados da perfuração são retirados do poço e levados à superfície pelo fluido de perfuração ou lama. Este fluido é bombeado e circulado por dentro da coluna de perfuração, e volta pelo espaço anular existente entre a coluna e as paredes do poço. O fluido de perfuração tem como função a limpeza de poço, lubrificação da broca, estabilidade do poço entre outras.

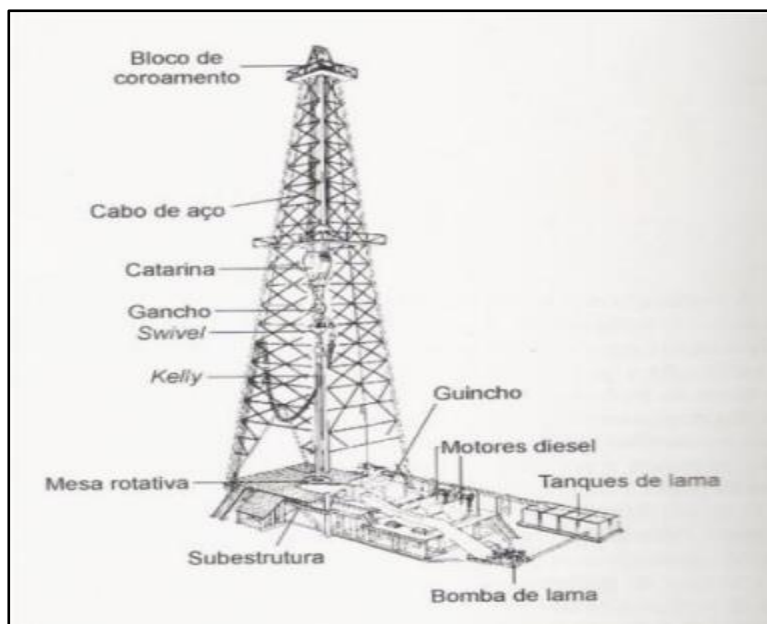
Rosenblatt (2016) sinaliza que com método rotativo tornou-se possível atingir grandes profundidades, logo contribuiu para tornar a exploração petrolífera muito mais abundante, já que a perfuração de poços marítimos se tornou completamente viável. A figura 9 mostra uma sonda de perfuração do método rotativo.

Figura 9: Sonda de perfuração do método rotativo.



Fonte: SILVA (2008).

Uma sonda de perfuração constitui de um conjunto de equipamentos e acessórios que possibilitam a perfuração de um poço. A figura 10 representa uma sonda de perfuração.

Figura 10: Sonda de Perfuração

Fonte: MELLO (2014).

Sousa (2012), afirma que em uma sonda existem vários sistemas, cada um com suas funções. Esses sistemas podem ser: sistema de sustentação de cargas, sistema de geração e transmissão de energia, sistema de movimentação de cargas, sistema de segurança, sistema de rotação convencional, sistema de circulação, sistema de segurança do poço, sistema de monitoração.

- Sistema de sustentação de cargas: Este sistema tem como objetivo sustentar e distribuir o peso de forma igualitária até a fundação ou base da estrutura. Esse sistema é constituído por um mastro ou torre, da subestrutura ou fundação, e a carga sustentada corresponde ao peso da coluna de perfuração ou revestimento que está no poço.
- Sistema de geração e transmissão de energia: Este sistema tem como objetivo gerar energia para as sondas de petróleo e gás. Neste sistema os equipamentos de uma sonda são acionados normalmente através de motores a diesel, e em sondas marítimas é mais comum a utilização de turbinas a gás para geração de energia para toda a plataforma por ser mais econômico.
- Sistema de movimentação de cargas: Este sistema tem como objetivo realizar movimentações dentro da sonda. Permite movimentar as colunas de perfuração, de revestimento e outros equipamentos nas sondas.
- Sistema de segurança: Este sistema tem como objetivo garantir a segurança na movimentação de cargas dentro de uma sonda; é constituído por um guincho, bloco de coroamento, catarina, cabo de perfuração, gancho e elevador.
- Sistema de rotação convencional: Este sistema tem como objetivo controlar os

equipamentos que promovem ou permitem a livre rotação da coluna de perfuração.

- Sistema de Circulação: Este sistema tem como objetivo controlar os equipamentos que permitem a circulação e o tratamento do fluido de perfuração, onde o fluido é bombeado através da coluna de perfuração até a broca e, ao retornar à superfície, traz consigo os cascalhos cortados pela broca.
- Sistema de segurança do poço: Este sistema tem como objetivo controlar os equipamentos de segurança de cabeça de poço e dos equipamentos complementares que possibilitam o fechamento e controle do poço, tem-se como o mais importante o *blowout preventer*, que é o conjunto de válvulas que permite fechar o poço.
- Sistema de monitoração: Este sistema tem como objetivo realizar o controle da perfuração através manômetros, células de carga e equipamentos de registro.

O tópico 2.5 apresenta de forma mais detalhada o sistema de segurança de poço, pois o estudo de caso do artigo é direcionado à falha de um equipamento pertencente à essa cadeia de equipamentos de controle de poço

2.5 SISTEMA DE CONTROLE DE POÇO

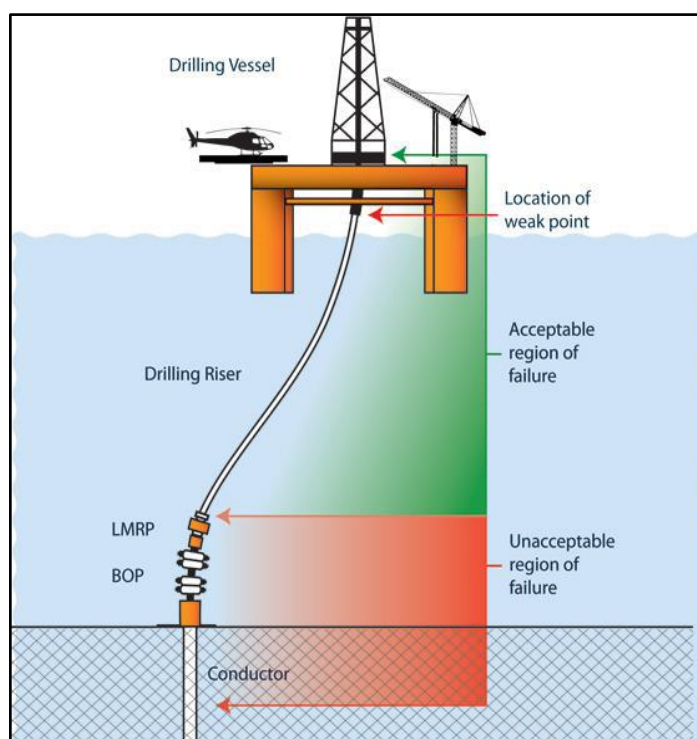
Swider et al. (2018), notificam, em operações de perfuração de petróleo e gás, é de extrema importância que consiga obter o controle do poço. São utilizados dois métodos diferentes, o primário e o secundário, que são usados para controlar as pressões do poço. No que depende das necessidades durante uma operação normal e em casos de emergências, esses métodos são aplicados de forma distinta.

No método de controle de poço primário é utilizado o fluido de perfuração com o objetivo de manter uma pressão hidrostática acima da pressão de formação. Neste caso, para manter o controle do poço, o peso da lama é ajustado conforme a perfuração avança. Esses ajustes tornam-se necessários para promover operações seguras e eficientes em diferentes condições geológicas.

No método secundário, há a presença de um *blowout preventer* (BOP) para o controle do poço. O BOP é utilizado quando a pressão de formação se torna superior à pressão de lama e ocorre um *kick*, conhecido no mundo petrolífero como um chute do fluido. Esse chute é um fluxo não planejado e descontrolado de fluidos de formação (água, gás, óleo) no poço que, se não forem tratados, podem levar a uma perda de contenção. O BOP é um dispositivo mecânico crítico de segurança que usa mecanismo de cisalhamento e vedação para fechar o poço, evitando uma perda de contenção.

Sonawane et al. (2012) enfatizam nas principais áreas de exploração do mundo, boa parte das operações são realizadas com o uso de um *riser* de perfuração de baixa pressão posicionado dinamicamente ou conectados a uma plataforma ancorada. A coluna de *riser* transporta o BOP, conectado à coluna, e a lama de perfuração, que juntos são as principais barreiras para o descontrole do poço. A figura 11 mostra a configuração de uma coluna de perfuração.

Figura 11 - Coluna de perfuração



Fonte: Sonawane et al. (2012).

Do ponto de vista do controle de poço, é preferível ter o ponto fraco do sistema *riser* de perfuração acima do BOP. Se a falha do *riser* ocorrer acima do BOP, o controle do poço ainda pode ser mantido operando remotamente as passagens do BOP por um ROV ou a partir de um gatilho de quebra de ruptura pré-programado. A falha do sistema condutor abaixo do BOP não é um cenário favorável. Dependendo da localização e da natureza da falha, tal evento pode tornar a função do BOP inútil e dificultar o controle do poço (SONAWANE et al., 2012).

Portanto, para que seja possível controlar o poço, percebe-se que é necessário manter a integridade do sistema de *riser* e do condutor. Pois caso haja mau funcionamento do mecanismo de controle ou exista ângulos altos do conector da cabeça do poço que dificultem o desengate do *riser*, é plausível a falha do *riser* na desconexão, e assim implicar na integridade do poço. Nota-se, também, a extrema importância da existência do BOP numa coluna de

perfuração durante as explorações de petróleo e gás. E é a falha desse equipamento de grande valor que será estudado no artigo apresentado pelo autor.

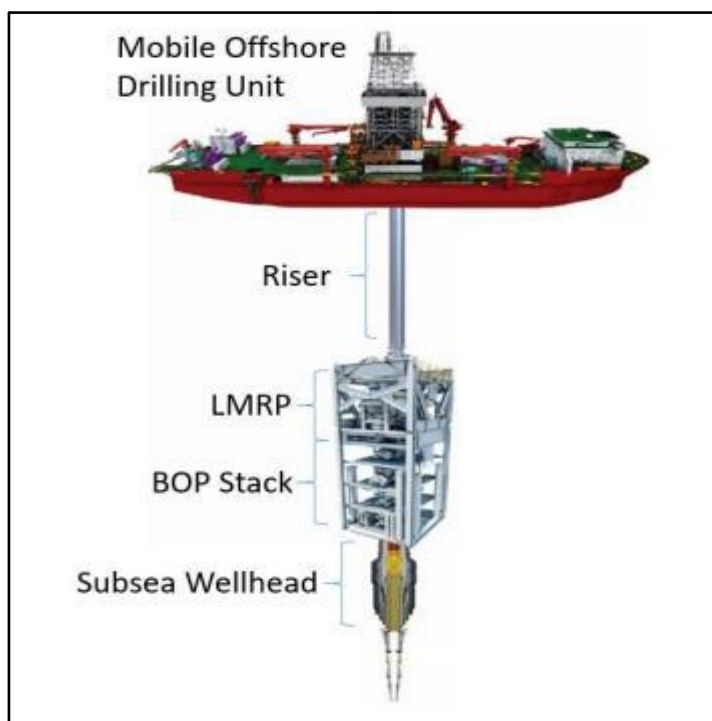
2.5.1 Blowout Preventer (BOPs)

Em 1922, Harry Cameron e Jim Abercrombie projetaram e construíram os primeiros preventores de explosão (BOPs). Dentro da indústria de exploração e perfuração, os termos *blowout preventer*, *BOP stack* e *blowout preventer system* são usados de forma intercambiável. Durante as operações de perfuração e completação, eles são a segunda barreira para o fluxo de formação; pressão hidrostática na formação criada por uma coluna de fluido de perfuração e isolamento zonal fornecido pelo revestimento e cimento constituem a barreira primária.

Antes que fossem desenvolvidos os preventores de explosão, durante um caso de *kick*, os operadores permitiam que os fluidos sob pressão fluíssem descontroladamente das formações para a superfície. Somente depois que a pressão que sustentava essas explosões diminuísse e as pressões da superfície caíssem para um nível administrável, os trabalhadores da plataforma conseguiam fechar o poço. As explosões eram perigosas para toda a tripulação, ameaçavam o bem-estar do ambiente circundante, danificaram equipamentos de perfuração, desperdiçaram recursos e causavam danos irreparáveis à zona de produção (GARDNER & GIVENS, 2016).

O BOP submarino é um conjunto complexo de sistemas de controle e dispositivos mecânicos instalados em uma cabeça de poço submarina. Os BOPs submarinos consistem em duas seções principais, um pacote *riser* marítimo inferior (LMRP) e a Pilha inferior (BOP). Como observado na Figura 12, o *riser* faz a conexão da plataforma ao LMRP, normalmente composto por um BOP anular, um sistema de controle e válvulas ativadas remotamente, projetadas para liberar do *riser*. O LMRP se conecta à pilha BOP, que consiste em vários preventores de gaveta e válvulas de estrangulamento e interrupção (SWIDER et al., 2018).

As sondas de perfuração são equipadas com um *choke manifold*, operado remotamente, que é usado para controlar o fluxo do poço. Normalmente, o fluxo do poço passa por um estrangulamento fixo. Para limpar ou testar um poço usando a plataforma de perfuração e BOPs antes que o poço seja concluído, o operador pode usar o *manifold* para redirecionar o fluxo por meio de um estrangulamento ajustável, que fornece um meio de controlar com precisão a taxa de fluxo e os níveis de contrapressão (GARDNER & GIVENS, 2016).

Figura 12 – Sistema de conexão do BOP

Fonte: SWIDER et al., 2018

Para que seja possível algum movimento lateral da plataforma, os sistemas de BOP submarinos possuem juntas flexíveis conectadas ao longo da coluna de perfuração. Eles também possuem conectores operados hidráulicamente que conectam o LMRP à pilha de BOP inferior e a pilha BOP à cabeça do poço. Em caso de emergência, como já citado, a tripulação consegue fazer a desconexão da plataforma do BOP no LMRP e proteger o poço fechando as gavetas de cisalhamento da pilha inferior do BOP, usando simultaneamente um único comando (GARDNER & GIVENS, 2016).

Os BOPs individuais que constituem um sistema são empilhados verticalmente no topo do poço. O seu alinhamento permite que o poço seja facilmente acessado, enquanto suas variadas funções fornecem uma diversidade de métodos para vedar o poço durante as operações de perfuração, completação ou intervenção. Eles têm seus dimensionamentos propositalmente para caber no diâmetro interno da cabeça de poço e nas pressões de superfícies esperadas (GARDNER & GIVENS, 2016).

Pilhas de prevenção de explosão normalmente incluem dois modelos de BOPs do tipo *ram* (com gavetas) e BOPs anulares. Para operar o BOP, a energia hidráulica é fornecida através de uma linha de conduíte rígida que corre ao longo do *riser*. Em aplicações em águas profundas, (mais de cerca de 4.000 pés) os sistemas eletro-hidráulicos *multiplex* (MUX) são usados para fechar as gavetas em tempo hábil. O sistema MUX usa comunicações de sinal elétrico para operar o BOP com o sistema hidráulico fornecido pelas linhas de conduíte rígidas. Existem

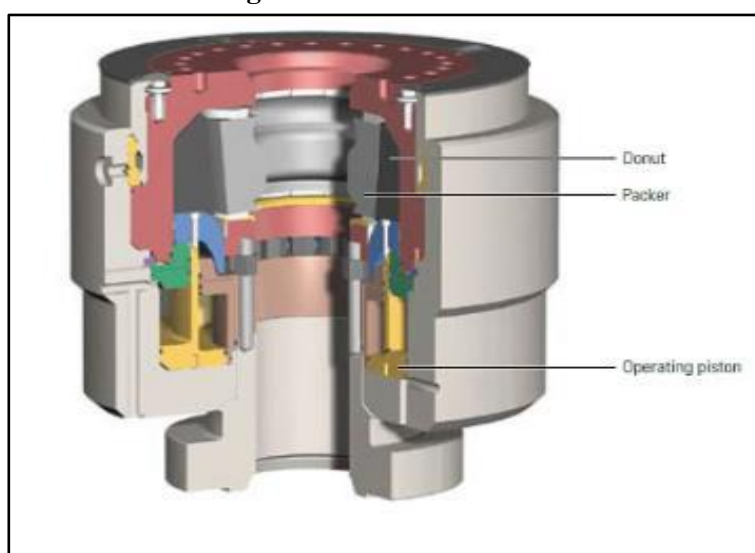
também submarinos acumuladores que servem como backup para o abastecimento hidráulico primário para funções de emergência do BOP (SWIDER et al. 2018).

Durante uma emergência de posicionamento da plataforma, a tripulação ativa a Sequência de Desconexão de Emergência (EDS) que protege o poço fechando as gavetas de cisalhamento cegas na pilha do BOP. Então, para evitar que a estrutura cause danos ao *riser* e ao poço, o *riser* e o LMRP são desconectados automaticamente do BOP pilha (SWIDER et al. 2018). Os tópicos 2.5.1.1 e 2.5.1.2 detalham os dois modelos de BOPs.

2.5.1.1 BOPs Anulares

Os BOPs anulares, representados na figura 13 foram introduzidos na indústria em 1946 por *Granville Sloan Knox*. Esses dispositivos forçam os elementos circulares de borracha reforçados com aço, nomeados como canais de passagem, a fechar e criar uma vedação ao redor do tubo de perfuração ou outras ferramentas que possam estar no poço no momento do fechamento. Quando há o fechamento dos BOPs anulares no entorno de um tubo, o tubo pode ser movimentado para cima, para baixo ou girado sem que haja quebra da vedação ou passagem de fluido. Eles foram projetados para impedir o fluxo no anular do tubo de perfuração de revestimento. São capazes, também, de vedar um furo de poço transparente no qual não há obstrução, embora isso reduza a pressão nominal de trabalho do elemento de vedação em 50% (GARDNER & GIVENS, 2016)

Figura 13 – BOP anular



Fonte: Gardner & Givens, (2016).

O coração do BOP anular é o elemento de vedação, que é composto pelo *donut* e pelo

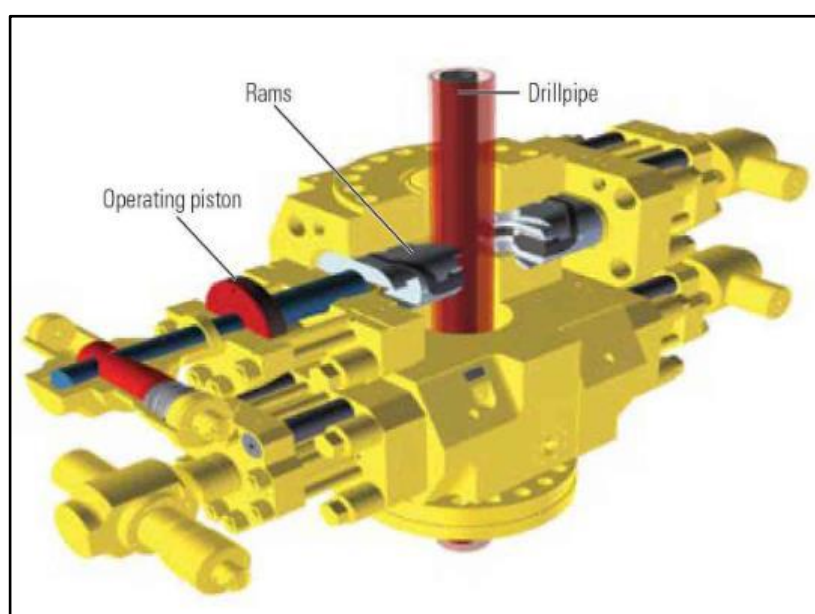
packer. Quando o preventor é acionado, a pressão hidráulica é aplicada ao pistão através de portas hidráulicas de fechamento, fazendo com que ele se mova para cima. Isso força o elemento de vedação a se estender para o furo do poço e criar uma vedação ao redor da coluna de perfuração ou outra ferramenta no furo do poço.

O BOP é aberto por pressão hidráulica através das portas de abertura, fazendo com que o pistão se mova para baixo, o que permite que o elemento de vedação retorne à posição aberta original (GARDNER & GIVENS, 2016).

2.5.1.2 Ram BOP

Os BOPs do tipo *ram*, ilustrado na figura 14, incluem *rams* de aço revestidos de borracha que são reunidos para criar uma vedação ou, como os BOPs anulares, formam uma vedação em torno de uma ferramenta na boca do poço. Nesse equipamento de prevenção, as gavetas de cisalhamento são de alta resistência acionadas hidráulicamente, capazes de cortar os tubos de perfuração. Eles incluem gavetas de cisalhamento de revestimento e gavetas de cisalhamento cego. Ambos são projetados para realizar o corte de tubulações de perfuração ou outras obstruções no poço. As gavetas de cisalhamento cego podem selar completamente o poço. Já as gavetas de cisalhamento de revestimento, embora não sejam capazes de formar uma vedação, normalmente são capazes de cortar tubos de tamanho maior do que as gavetas de cisalhamento cego podem cortar (GARDNER & GIVENS, 2016).

Figura 14 - Ram BOP



Fonte: (GARDNER & GIVENS, 2016)

Como observado, as gavetas contendo elementos de vedação elastoméricos, estão localizadas no corpo do BOP em lados opostos do furo do poço. As gavetas são abertas e fechadas operando pistões nas laterais do corpo do BOP. Quando abertas, as gavetas deixam uma passagem desobstruída através do poço. Quando fechada, as gavetas formam uma vedação ao redor do tubo de perfuração. Em uma emergência, gavetas de cisalhamento cegas são capazes de cortar tubos de perfuração e vedar um furo (GARDNER & GIVENS, 2016).

Assim, é de suma importância manter em dia a manutenção de equipamentos de tamanha importância como os BOPs. E para que o controle dinâmico do poço ocorra, a fim de evitar falhas durante a instalação ou eliminar os riscos de falhas durante o seu funcionamento, é extremamente necessário que haja uma boa gestão de manutenção no ato de reparo, teste e inspeção desses equipamentos. Como tal, o BOP, enquanto evolui continuamente para atender aos requisitos de profundidades e pressões externas, permanecerá por muito tempo como parte indispensável de todas as operações de perfuração e completação. Portanto, para manutenção dos BOP algumas normas são consideradas.

2.6 NORMAS APLICADAS ÀS ATIVIDADES DE MANUTENÇÃO DO BOP

Diferentes normas foram desenvolvidas visando auxiliar nas atividades que envolvem o BOP a fim de assegurar o atendimento dos requisitos das organizações, entre as normas técnicas estão NACE MR 0175, ASME IX, API SPEC 6A, API SPEC 16A e API SPEC Q1. As normas serão descritas no quadro 5.

Quadro 5 - Normas aplicáveis durante manutenção de BOP

NORMAS (aplicáveis à manutenção de BOP)	DESCRIÇÃO
NACE MR0175	<i>National Association of Corrosion Engineers:</i> A norma estabelece regras comuns, dá sugestões e requisitos para selecionar e qualificar materiais de aço que servem em equipamentos utilizados na produção de petróleo e gás.
ASME IX	<i>The American Society of Mechanical Engineers:</i> Norma responsável por estabelecer todos os requisitos de qualificação de procedimentos de soldagem e brasagem.
API SPEC 6A	<i>Specification for Wellhead and Tree Equipment:</i> Estabelece os requisitos e fornece as recomendações para o desempenho, dimensional, teste funcional, projetos, materiais, ensaios, inspeção, soldagem, marcação, manuseio, armazenamento, expedição e compra de equipamentos de cabeça de poço e árvore para uso nas indústrias de petróleo e gás natural.

API SPEC 16A	Norma que define os requisitos de desempenho, projeto, materiais, teste e inspeção, soldagem, marcação, manuseio, armazenamento e expedição de equipamentos usados para perfuração de petróleo e gás. Define, também, as condições de serviço em termos de pressão, temperatura e fluidos de poço para quais os equipamentos são projetados.
API SPEC Q1	<i>Specification for Quality Management System Requirements for Manufacturing Organizations for the Petroleum and Natural Gas Industry</i> : Norma que estabelece os requisitos mínimos do sistema de gestão da qualidade para organizações que fabricam produtos ou fornecem processos relacionados à fabricação sob uma especificação de produto para uso na indústria de petróleo e gás natural.

Fonte: Elaboração Própria (2023)

A norma API *Specification Q1* colabora para compreensão do estudo de caso que será apresentado, pois, além de abranger a manutenção do equipamento BOP, tem um valor significativo ao setor de petróleo e gás como um todo. A norma fornece uma ligação coesa entre a gestão do sistema de qualidade de um fabricante e a sua capacidade de fornecer produtos que atendam aos requisitos da indústria e dos clientes.

Esta norma define os requisitos essenciais do sistema de gestão da qualidade para as empresas que consideram a conformidade com os requisitos de especificação. A norma foi desenvolvida com o intuito de melhorar os sistemas de gestão de qualidade de organizações que fabricam produtos ou fornecem serviços relacionados à fabricação, alinhadas às especificações de produtos para uso na indústria de petróleo e gás natural.

Então, para que uma organização funcione adequadamente e de maneira efetiva, esta precisa determinar e gerenciar inúmeras atividades em conjunto. As atividades do processo incluem: a determinação das necessidades em toda a organização, a previsão de recursos e realização do produto, a identificação da sequência ou ordem adequada em uma série de atividades, o monitoramento e medição da efetividade das atividades realizadas e a aplicação de alterações ou correções a essas atividades, conforme necessário, de forma a controlar todo o processo, desde a entrada até a saída do equipamento em uma companhia.

3 PROCEDIMENTOS METODOLÓGICOS

Para esta pesquisa adotou-se a metodologia de estudo de caso. Ventura (2007) informa que esse método de pesquisa supõe que seja possível adquirir conhecimento do fenômeno estudado a partir da exploração detalhada de casos. Chizzotti (2006) descreve o estudo de caso como modalidade de pesquisa embora originou-se nos estudos antropológicos de Malinowski e na Escola de Chicago, posteriormente, teve seu uso ampliado para o estudo de diferentes ramos.

De acordo com Yin (2001), o estudo de caso representa uma investigação empírica e compreende um método abrangente, com a lógica do planejamento, da coleta e da análise de dados. Pode-se incluir tanto estudos de caso único quanto de múltiplos, assim como abordagens quantitativas e qualitativas de pesquisa. Os estudos de caso único são os que possuem foco em uma só unidade - um indivíduo (caso único e singular) e os múltiplos, são vários estudos conduzidos de forma simultânea - vários indivíduos, várias organizações.

Geralmente o estudo de caso, como qualquer pesquisa a ser feita, é organizado em torno de um pequeno número de questionamentos que se referem ao como e ao porquê da investigação. É normal que essas questões estimulem também o uso de experimentos e pesquisas históricas a respeito do caso estudado (VENTURA, 2007).

Conforme Gil (1995) apud. Ventura (2007), o estudo de caso é definido em quatro fases que representam seu delineamento:

- I. Delimitação da unidade-caso: consiste em delimitar a unidade que constitui o caso;
- II. Coleta de dados: consiste na coleta de dados através de procedimentos quantitativos e qualitativos (análise de documentos, observação, levantamentos de dados, análise de conteúdo etc.);
- III. Seleção, análise e interpretação de dados: a seleção de dados deve considerar os objetivos da investigação, seus limites e um sistema de referências para avaliar quais dados serão úteis. Somente após a seleção, esses dados devem passar pelo processo de análise, para que por fim interprete os dados conforme conclusões obtidas das tarefas anteriores;
- IV. Elaboração de relatório: consiste na fase final do processo, em que são emitidos relatórios parciais e finais. Neles devem estar contidas informações de como foram coletados os dados, qual teoria embasou a categorização e a demonstração da validade dos dados obtidos.

Ventura (2007) explica que, os estudos de caso possuem diversas aplicações, dentre elas

é apropriado para pesquisadores individuais, para investigações de fenômenos, utilizado em pesquisas exploratórias, descritivas, entre outras. Portanto, neste trabalho optou-se por analisar um único estudo de caso, para tanto foi escolhido o setor de manutenção de uma empresa multinacional do setor de óleo e gás, visando analisar o processo de gestão de manutenção e as ações de investigação de falhas de equipamentos utilizados em processos de perfuração de poços e exploração de petróleo.

3.1 CONTEXTUALIZAÇÃO DA EMPRESA

A empresa do presente estudo, teve sua criação em 1942 como fabricante regional nos Estados Unidos da América com foco em produtos de elastômeros para os mercados industriais e de campos petrolíferos domésticos. Desde a produção de primeiros rolamentos de cargas flexíveis para pontes até os primeiros produtos laminados de suporte de carga usados em edifícios, a companhia projetou e fabricou uma ampla gama de produtos pioneiros de elastômeros.

Ao passar dos anos, com o avanço tecnológico e com novos desafios impostos pelo mercado petrolífero, que demandou cada vez mais atualizações nos processos fabris, a empresa expandiu seus horizontes de negócios e deu continuidade ao seu legado de inovações que incluíram: desenvolveu o primeiro *riser* de catenária de aço do mundo para um sistema flutuante de produção para a Petrobras no Brasil.

Essa companhia inventou métodos modernos para instalar e nivelar plataformas fixas, e ajudou a desenvolver corte confiáveis para plataformas de descomissionamento; projetou a primeira conexão de encaixe não rotativa, que se tornou a primeira escolha para cabos TLP e também é usada em carcaças de condutores e *risers*; tornou-se líder em sistemas de amarração, guinchos e guindaste *offshore* no final da década de 1990.

Devido à sua expansão no mercado e nas linhas de produtos ofertados, a organização cresceu tanto internamente quanto por meio de aquisições, e passou a operar de forma global. Desde os primeiros produtos de elastômeros até sistemas completos, a empresa desenvolveu uma reputação de produtos e serviços de alta qualidade e confiabilidade. Tornou-se uma grande fornecedora global de sistemas e soluções de energias inovadoras com o intuito de resolver problemas críticos nos ambientes *offshore* e *onshore*.

Nos dias de hoje, é considerada uma empresa multinacional com locais de fabricação, serviços e vendas em quinze países diferentes. Com mais de 25 locais em todo o mundo, incluindo centro de fabricação e serviços em cada uma das principais bacias marítimas.

É possível ver na figura 15 bases de operações ao redor do mundo.

Figura 15 - Operações da empresa a nível mundial.



Fonte:, Elaboração Própria (2023)

Sua base no Brasil fica localizada na cidade de Macaé, Rio de Janeiro. A empresa está atendendo o mercado de *Oil & Gás Brasileiro* há 21 anos, provendo serviços *onshore* e *offshore*, através de uma Planta de Serviços de 40,000m², com infraestrutura completa, engenharia, processos certificados e *know how* técnico combinados.

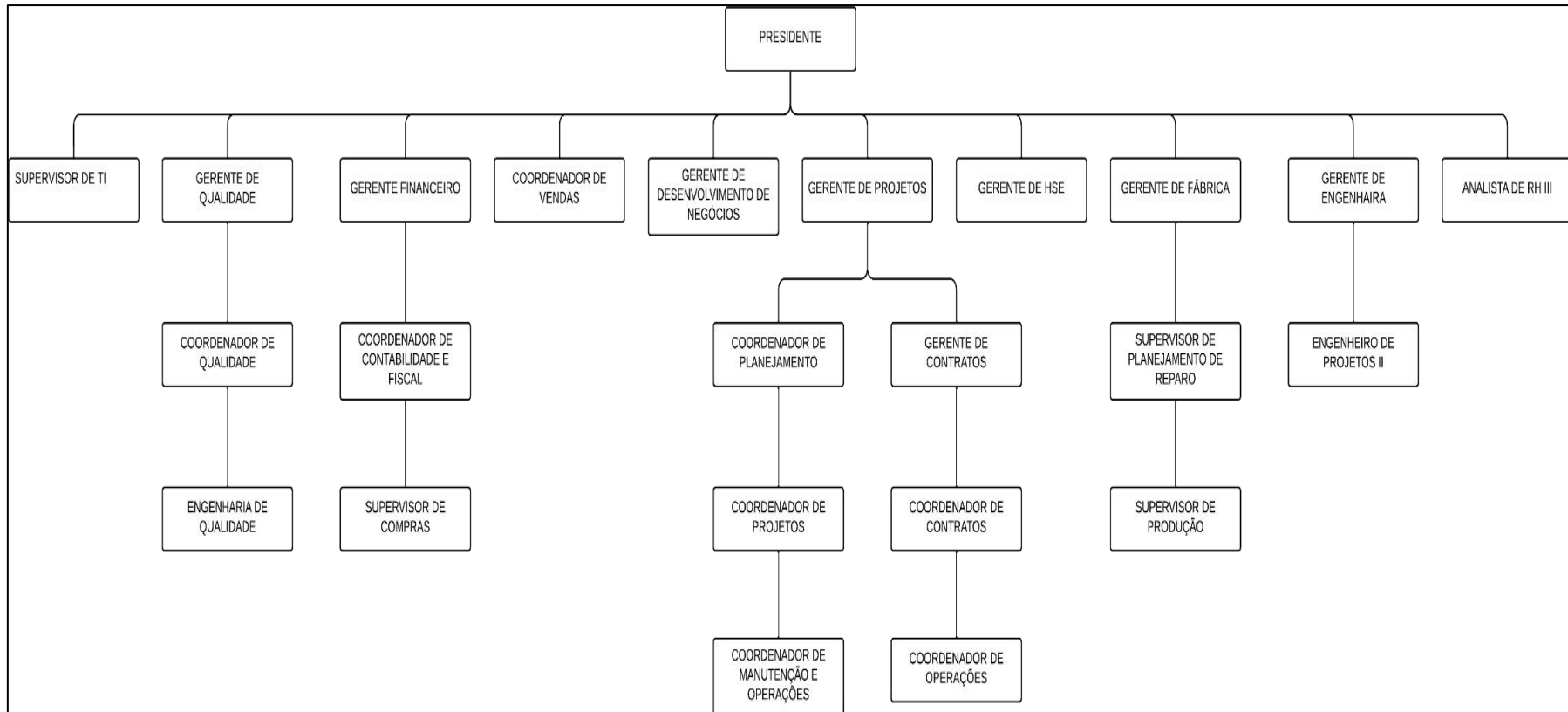
A empresa tem atendido clientes com operações em campos *onshore*, já que ela é fabricante de equipamentos para manutenção de poços, como: *swab cups*, *swab mandrels*, *control line protector*, *tubing stripper rubbers*, *rope sockets*, *pipe wipers*, *unions*, *oil saver rubbers*, *tubing test cups*, *rig accessories*, *rod stripper rubbers*, *sucker rod guides*, *downhole accessories*, *packer cups*, *drill pipe/casing protector*.

Por fim, a empresa analisada é uma importante fornecedora global de sistemas e soluções integradas de energia, e oferece soluções para atender os desafios de perfuração, *workover*, produção, elevação e amarração, de modo a atender o mercado *onshore*, marítimo e industrial.

3.2 ESTRUTURA ORGANIZACIONAL

A empresa do presente estudo possui uma estrutura organizacional distribuída nos mais diversos setores, com pessoas capazes de liderar suas equipes com maestria e com o objetivo de atender todas as políticas internas. Cada setor tem autonomia em suas decisões, apesar de possuir uma hierarquia, a liderança, principalmente, tem como principal função auxiliar seus subordinados em decisões. A estruturação da liderança é apresentada na Figura 16.

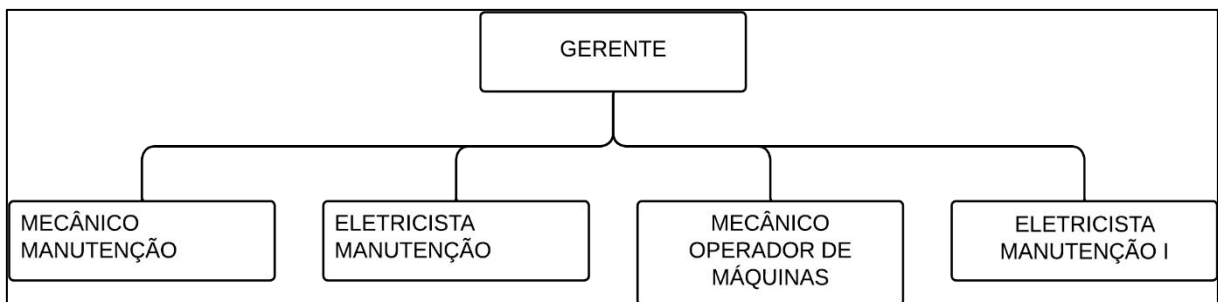
Figura 16: Organograma 2023 da empresa.



Fonte:, Elaboração Própria (2023)

É possível notar que no organograma geral da empresa está apresentado e estruturado somente os cargos mais altos da hierarquia, como: presidente, coordenadores de cada setor, gerentes e gestores. Nota-se a falta de apresentação de alguns setores determinantes nos processos da empresa, como é o caso do setor de manutenção, que está vinculado à Gerência de HSE. Entretanto, a fim de localizar o presente estudo, o organograma do setor de manutenção é apresentado na figura 17

Figura 17 - Organograma: Estrutura Organizacional Setor de Manutenção



Fonte:, Elaboração Própria (2023)

Sob a responsabilidade do gerente do setor de manutenção estão os cargos de Mecânico de Manutenção, Eletricistas de Manutenção e Mecânico Operador de Máquinas. Algumas de suas atribuições são:

- I. Mecânico de Manutenção: responsável pela manutenção geral da base, atendendo diferentes setores, auxílio nos maquinários em geral, manutenções corretivas e preventivas, entre outras atividades relacionadas.
- II. Eletricistas de Manutenção: Responsável pelo setor elétrico de toda base, isso engloba a infraestrutura ou elétrica de equipamentos/máquinas.
- III. Mecânico Operador de Máquinas: responsável direto pela manutenção dos maquinários na fábrica como: torno, programação de torno, centro de usinagem, máquinas de solda, entre outras atividades relacionadas.

3.3 TIPOS DE BOP'S MANUTENIDOS NA EMPRESA

Em relação aos equipamentos de BOP, atualmente a organização é detentora do contrato de manutenção de BOP 's de superfície e marítimos da Petrobrás, entre eles os dois modelos possíveis: Bop Anular (Figura 18) e Bop Gaveta (Figura 19).

Figura 18 - BOP Anular

Fonte:, Elaboração Própria (2023)

Figura 19 - BOP Gaveta Duplo

Fonte:, Elaboração Própria (2023)

A empresa tem sido líder na manutenção de sistemas BOP, além de ser fornecedora de serviços chaves como projeto de engenharia, inspeções, recertificação, modificações e reparos. No quadro 6 são apresentados os serviços realizados e as vantagens de cada um durante a manutenção de BOPs.

Quadro 6 - Serviços fornecidos pela empresa durante integração de sistemas de BOP

Serviços	Vantagens de cada serviço
Inspeção	<ul style="list-style-type: none"> - Permite maior eficiência de tempo quando em rápido turn-around; - Relatório detalhado completo de todos os achados com imagens visuais e/ou revisão no local; - Melhor visão geral das modificações que podem levar ao aumento da eficiência.
Recertificação	<ul style="list-style-type: none"> - Recertificação turnkey do BOP/LMRP. - Trabalhar diretamente com OEM e cliente para recertificação do BOP. - Elimina a necessidade de o cliente buscar fornecedores diferentes. - Aumenta a eficiência do tempo em projetos de entrega rápida. - Garante que todas as peças sejam certificadas de acordo com os padrões EOM.
Modificação	<ul style="list-style-type: none"> - Permite uma melhor visão geral das modificações que podem ser feitas para aumentar a eficiência. - Garante que todos os sistemas trabalhem juntos conforme necessário. - Projeto de engenharia turnkey de todas as modificações. - Histórico comprovado de modificação de pilhas de brocas. - Retorno mais rápido, já que muitos itens podem ocorrer simultaneamente.
Reparação e Remodelação	<ul style="list-style-type: none"> - Permite uma visão geral completa do escopo de trabalho necessário. - As soluções completas eliminam o fornecimento de vários fornecedores. - Garantia de qualidade de que todos os sistemas atendem às especificações originais. - Histórico comprovado de reconstrução de pilhas de perfuração.

Fonte:, Elaboração Própria (2023)

Neste sentido, os serviços de inspeção, recertificação, modificação, reparação e remodelação são essenciais durante o trabalho de manutenção de BOP e apresentam vantagens particulares ao decorrer do processo para garantia de qualidade do equipamento. Visto isso, nota-se a importância para a empresa em ser capaz de desenvolver todos os escopos de serviço de modo a atender diferentes demandas de mercado.

4 RESULTADOS

Os resultados contemplam um estudo de caso relacionado a falha do equipamento BOP anular localizado em uma sonda de exploração de petróleo. Assim, as informações estão organizadas em três etapas.

- Etapa 1: Os procedimentos internos adotados pela empresa para garantir a gestão da manutenção.
- Etapa 2: Os procedimentos existentes utilizados pelo setor de qualidade para realizar a investigação de falhas
- Etapa 3: A aplicabilidade do processo de investigação de falhas da empresa na análise do evento. Esta análise envolve desde a investigação até a conclusão dos incidentes durante o teste/instalação do BOP na sonda. Trata-se de um evento considerado um acidente material sem impacto ao meio-ambiente e pessoas, levando a uma interrupção das atividades de operação e custos relacionados ao evento.

4.1 ETAPA 1. PROCEDIMENTOS DE GESTÃO DA MANUTENÇÃO

Os procedimentos de gestão da manutenção podem ser divididos em manutenção dos maquinários da empresa e manutenção dos equipamentos em geral que são encaminhados para organização através de clientes. O primeiro se refere às máquinas de operação que estão instaladas e operando dentro da fábrica, enquanto o segundo refere-se aos equipamentos de clientes que são encaminhados para empresa para realização da manutenção, entre eles, estão os BOP 's.

4.1.1 Manutenção em maquinários da empresa

Tem como objetivo determinar, prover e manter a infraestrutura necessária da empresa a fim de atender aos requisitos do produto, e estabelecer uma metodologia para elaboração ou revisão do plano de manutenção. Sinteticamente a rotina pode ser dividida em quatro fases:

- Fase 1 - Detecção da Necessidade Manutenção: Quando identificada a necessidade de realização de serviços internos para manutenção de máquinas, equipamentos ou correção de falhas deve ser solicitado ao departamento de manutenção a execução do serviço através do M +.
- Fase 2 - Avaliação da Falha: Ao ser detectada uma falha, o funcionário que a identificou deve avaliar se é uma falha que causa risco à segurança ou ao produto final e se é necessário a emissão imediata de *Stop Work* (Parada de Trabalho Imediata)
- Fase 3 - Análise da Falha: Após a avaliação da falha, pode chamar um representante do

setor de manutenção e/ou HSE para realizar a análise da falha.

- Fase 4 - Solicitação de Serviços: Com os dados em mãos, deve-se emitir uma solicitação de manutenção.

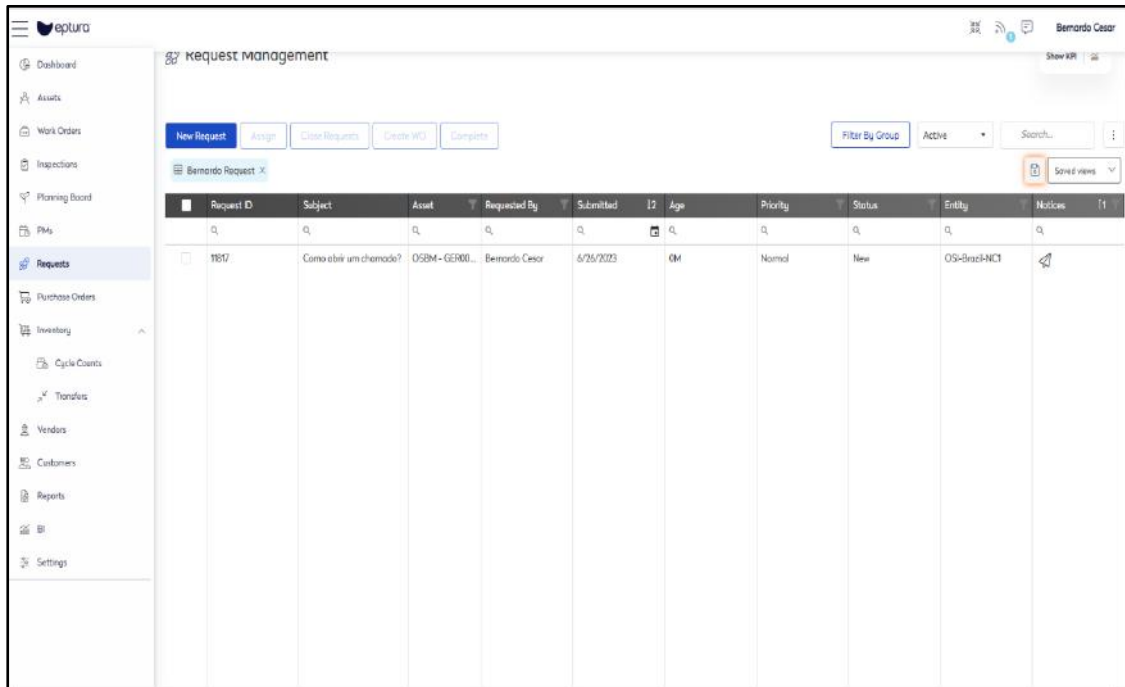
Vale reforçar que sempre que a manutenção considerar que o equipamento apresenta algum risco, deverá realizar a segregação ou interdição do mesmo, de modo que essa análise possa vir de uma manutenção preventiva, corretiva não finalizada ou liberação parcial de equipamento. Um equipamento que não está em condições plenas de utilização deve ser identificado como fora de uso, parcialmente fora de uso ou em manutenção.

- Fora de uso: Equipamento está sem exercer sua função principal, sua utilização pode causar riscos à saúde, ao produto ou não está liberado para operação.
- Parcialmente Fora de Uso: Equipamento ainda mantém sua função principal operante ou opera com limitações. Deve estar identificada na placa qual função está inoperante e ela não pode estar causando riscos às pessoas ou produtos.
- Em Manutenção: Item está segregado para manutenção, está em fase de testes ou está sendo executada a manutenção dele. Item não está liberado para operação.

Em relação às manutenções corretivas podem ser de dois tipos: manutenções corretivas planejadas e as não planejadas. Ambas podem ser identificadas durante a execução das manutenções preventivas ou durante a execução de suas atividades, e qualquer pessoa pode relatar problemas nas máquinas e solicitar que haja uma manutenção corretiva através do portal M +, sendo necessário identificar a máquina e uma descrição do defeito.

No que tange a manutenção corretiva, o requisitante faz a abertura do chamado (modelo apresentado na figura 20) para o setor de manutenção através do sistema M +. Quando recebido, o setor analisa e retorna com o feedback para sinalizar se todas as informações foram fornecidas com precisão, se sim a ordem de serviço é gerada no sistema. Após gerada a ordem, ocorre uma filtragem por parte do setor para seleção de criticidade de cada equipamento, caso seja um maquinário crítico essa corretiva passa a ter uma alta prioridade e é solucionada da forma mais rápida possível.

Figura 20 - Abertura de chamado no sistema M+



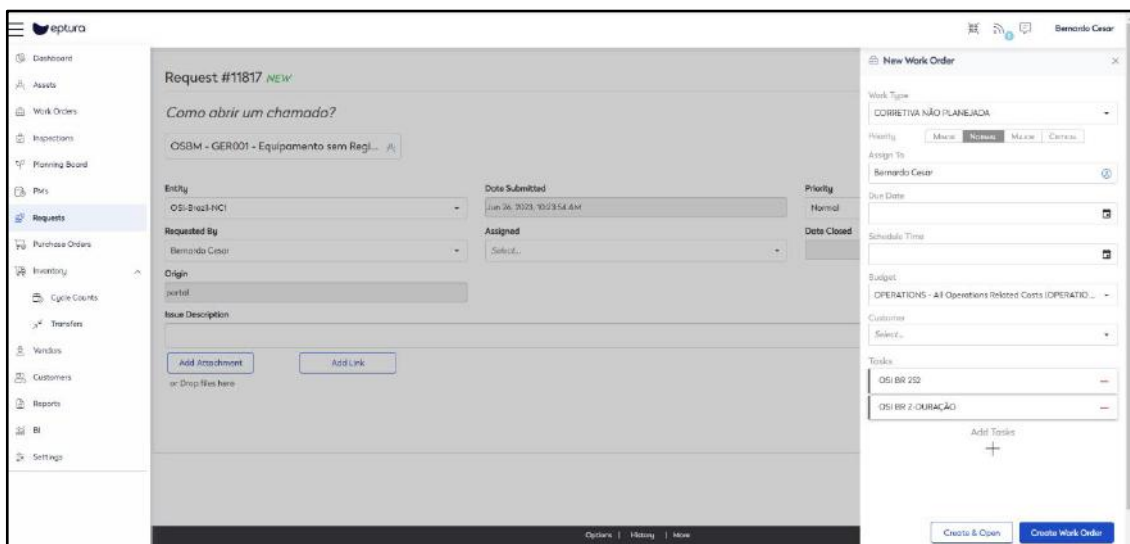
The screenshot shows the 'Request Management' interface in the eptura system. A table lists requests with the following columns: Request ID, Subject, Asset, Requested By, Submitted, Age, Priority, Status, Entity, and Actions. One request is visible with ID 11817, subject 'Como abrir um chamado?', asset 'OSBM - GER001', requested by 'Bernardo Cesar', submitted on 6/26/2023, with a priority of 'Normal' and status of 'New'.

Request ID	Subject	Asset	Requested By	Submitted	Age	Priority	Status	Entity	Actions
11817	Como abrir um chamado?	OSBM - GER001	Bernardo Cesar	6/26/2023	0M	Normal	New	OS-Brazil-HCI	[Icon]

Fonte: Elaboração Própria (2023)

Caso não seja de alta criticidade, a máquina entra no radar do setor para reparo numa outra oportunidade e possibilidade de janela de serviço. A eficácia é confirmada através da ordem de serviço (apresentada o modelo na figura 21) preenchida pelo solicitante da manutenção corretiva, caso confirme o contínuo funcionamento do equipamento.

Figura 21 - Abertura da ordem de serviço



The screenshot shows the 'New Work Order' form for request #11817. The form includes fields for Work Type (CORRETIVA NÃO PLANEADA), Priority (Normal), Assign To (Bernardo Cesar), Date Submitted (Jun 26, 2023, 10:29:54 AM), and Date Closed. The Subject is 'OPERATIONS - All Operations Related Costs (OPERATIO...'. The Origin is 'portal'. The Issue Description field is empty. There are buttons for 'Add Attachment' and 'Add Link'. The form also includes a 'Tasks' section with 'OSI BR 250' and 'OSI BR 2 - DURACÃO' listed.

Fonte: Elaboração Própria (2023)

Sobre as manutenções preventivas, o setor de manutenção possui um cronograma (modelo apresentado na figura XX) a ser seguido com as datas e periodicidade de cada máquina,

de forma que essa manutenção seja feita sete dias antes ou sete dias após a data prevista.

Figura 22 - Cronograma de manutenção conforme criticidade de equipamentos

Work Order No.	Work Type	Purpose	Asset	Due Date	Status	Request
180344	CORRETIVA NÃO PLANEJADA	Englobar o container	OSEM - GER001 - Equipamento sem Registro		NEW	1816
180362	CORRETIVA NÃO PLANEJADA	TORNO PAROUM	OSEM - ROE003 - TORNO HORIZONTAL C6266C		Send to better...	1815
180395	CORRETIVA NÃO PLANEJADA	ESMERLHADERIA COM DEFEITO	OSEM - GER008 - Equipamento sem Registro		Send to better...	1814
180394	CORRETIVA NÃO PLANEJADA	Rubricação e instalação de borrachas	OSEM - PRE001 - Area Preclad		Active	1813
180323	CORRETIVA NÃO PLANEJADA	Instalação de ventiladores	OSEM - GER001 - Equipamento sem Registro		Active	1809
180322	CORRETIVA NÃO PLANEJADA	Troca de tamanho	OSEM - GER001 - Equipamento sem Registro		Send to better...	1807
180291	CORRETIVA NÃO PLANEJADA	MICROBIO E VASO ENTUPIDO	OSEM - PRE001 - Area Preclad		Active	1813
180229	CORRETIVA NÃO PLANEJADA	Pintura do pórtico	OSEM - GER001 - Equipamento sem Registro		Active	1810
180319	CORRETIVA NÃO PLANEJADA	Fabricação de amarrão	OSEM - PRE001 - Area Preclad		Active	1808
180318	CORRETIVA NÃO PLANEJADA	Retorno de 2 chaves de impacto	OSEM - GER001 - Equipamento sem Registro		In progress	
180397	CORRETIVA NÃO PLANEJADA	TORNO COM DEFEITO	OSEM - ROE016 - TORNO CNC MULTIPLEX 40A		In progress	1804
180293	CORRETIVA NÃO PLANEJADA	Torno horizontal com defeito	OSEM - ROE002 - TORNO HORIZONTAL C6266C		Active	1804
180291	CORRETIVA NÃO PLANEJADA	Manutenção empilhadeira blan	OSEM - SC013 - EMPILHADERA 3 T		Active	1803
180277	CORRETIVA NÃO PLANEJADA	BOMBA DA CISTERNA COM ENTRADA DE AR - CONTRATO BOP	OSEM - PRE001 - Area Preclad		Active	1801
180276	CORRETIVA NÃO PLANEJADA	ACERTAR ÁREA PARA MATERIA PRIMA COM ATERRAMENTO E CERCIA	OSEM - PRE001 - Area Preclad		Active	1800
180275	CORRETIVA NÃO PLANEJADA	ILUMINARIA NA AREA DA INSPEÇÃO (BM)	OSEM - PRE001 - Area Preclad		Active	1799
180273	CORRETIVA NÃO PLANEJADA	RETRAIR TELHADO DE DENTRO DO GALPÃO (BM)	OSEM - PRE001 - Area Preclad		Active	1798
180272	CORRETIVA NÃO PLANEJADA	ROLETE DA CALDEIARIA COM DEFEITO	OSEM - GER008 - Equipamento sem Registro		Active	1797

Fonte: Elaboração Própria (2023).

4.1.2 Manutenção dos equipamentos em geral que são encaminhados para organização através de clientes

Conforme apresentado no tópico 3.1, a empresa do estudo de caso possui contrato para inspeção, reparo e manutenção de equipamentos pertencentes ao mundo do petróleo e gás. Sendo assim, para os casos de manutenção dos equipamentos que são encaminhados pelos clientes, a figura 22 apresenta o fluxograma do processo de orçamentação de serviço de reparo, remanufatura e fabricação.

Então, observa-se na apresentação do fluxograma que há uma sequência seguida para que se inicie um processo de manutenção de equipamento. Sinteticamente a rotina está organizada entre as atividades pré-manutenção, manutenção e entrega do equipamento.

4.1.2.1 Pré-Manutenção

Solicitação de orçamento: Inicia-se com a solicitação de orçamento de serviço pelo cliente, caso entenda como um serviço de reparo, remanufatura ou fabricação é realizada a abertura de um número referente a cotação dentro do sistema da empresa.

- I. Análise técnica do serviço: Após aberto o número de cotação, é realizado junto ao cliente uma análise técnica do serviço pelo setor de vendas para melhor entendimento. Caso haja dúvidas técnicas, o setor de engenharia é acionado para sanar questionamentos e assim, preparar o detalhamento das necessidades de recursos para que o serviço possa acontecer. O planejamento da fábrica é contactado para análise de programação e prazo do serviço.
- II. Elaboração da proposta: Com todos os dados coletados, o setor de vendas elabora a proposta e envia ao cliente, aguarda o retorno com possíveis ajustes e caso a proposta seja aceita pelo cliente, deverá ser recebido pela empresa uma autorização formal para o serviço.
- III. Abertura do projeto: Uma vez aprovado a proposta enviada, é necessária uma reunião de abertura entre o setor de vendas, planejamento e engenharia, para que seja realizada a passagem de serviço. Após todas as dúvidas sanadas pelos setores e atingido um acordo entre as partes, é realizado a criação do projeto no sistema da empresa e comunicado a abertura do mesmo para realização do serviço.

4.1.2.2 Manutenção

- I. Após a abertura do projeto, inicia-se, de fato, a manutenção do equipamento conforme o escopo vendido ao cliente a fim de atender as necessidades e prazo acordados.
- II. Os serviços são realizados seguindo um roteiro de trabalho (modelo apresentado no quadro 7) definido pelo setor de engenharia, de forma que exista uma sequência de seguimento, definição de qual tarefa deve ser realizada na etapa presente, caso exista, orientações de desenho devem ser apresentadas, entre outros documentos necessários para o processo
- III. Após a finalização de todo serviço acordado, o cliente recebe seu equipamento de volta.

Quadro 7 - Modelo de Roteiro de Trabalho

Cliente				
	Ordem de Serviço	Descrição	Qtd Peças	NetWrk
	SO-004026_01	REPARO ANNUFLEX LOWER BODY	1	1
Tarefa	Centro de trabalho	Descrição da Operação	Assinatura	
1.1	600	EQUIPAMENTO: ANNUFLEX LOWER BODY NORMAS APLICÁVEIS: API 6A / API 16A / ASME IX / NACE CRITÉRIO DE ACEITAÇÃO: API 16A PROCESSISTA: _____ COMERCIAL: _____	N/A	
1.2	700 - INSPETOR	RECEBIMENTO REALIZAR INSPEÇÃO DE RECEBIMENTO DO EQUIPAMENTO: PN: _____ SN: _____		
1.3	700 - INSPETOR	INSPEÇÃO DIMENSIONAL - REALIZAR INSPEÇÃO DIMENSIONAL CONFORME DESENHO " _____ " E CONFORME DESCRIÇÃO ABAIXO: # Ø 60.006 ± .006 # Ø 46.006 ± .006		
1.4	801	ANÁLISE DA ENGENHARIA - SUBMETER RESULTADO DAS INSPEÇÕES PARA ANÁLISE E LAUDO DA ENGENHARIA.		
1.5	250	USINAGEM FINAL - REALIZAR USINAGEM FINAL CONFORME DESENHO " _____ ", EXPLORANDO AS TOLERÂNCIAS MÁXIMAS DO DESENHO.		
1.6	700 - INSPETOR	INSPEÇÃO DIMENSIONAL - REALIZAR INSPEÇÃO DIMENSIONAL NAS ÁREAS REPARADAS CONFORME DESENHO " _____ "		
1.7	700 - INSPETOR	INSPEÇÃO DE LÍQUIDO PENETRANTE - REALIZAR INSPEÇÃO DE LÍQUIDO PENETRANTE CONFORME PROCEDIMENTO VGS 8.4.2 REV.19, NAS ÁREAS USINADAS.		
1.8	700	INSPEÇÃO FINAL - REALIZAR INSPEÇÃO VISUAL FINAL E REGISTRAR COM FOTOS.		
1.9	125	PRESERVAÇÃO: - REALIZAR ACONDICIONAMENTO DA PEÇA: LIMPEZA E EMBALAGEM COM FILME PLÁSTICO PARA QUE SEJAM EVITADOS DANOS POR INTEMPÉRIE E DURANTE O TRANSPORTE; VER INSTRUÇÃO DE TRABALHO: OSB-IT-002		

Fonte:, Elaboração Própria (2023)

4.1.2.3 Entrega do Equipamento

- I. Após a conclusão do processo conforme descrito no roteiro, inclusive a etapa de preservação do equipamento (1.9), as atividades relativas à entrega ao cliente ficam sob responsabilidade do setor de logística da empresa.

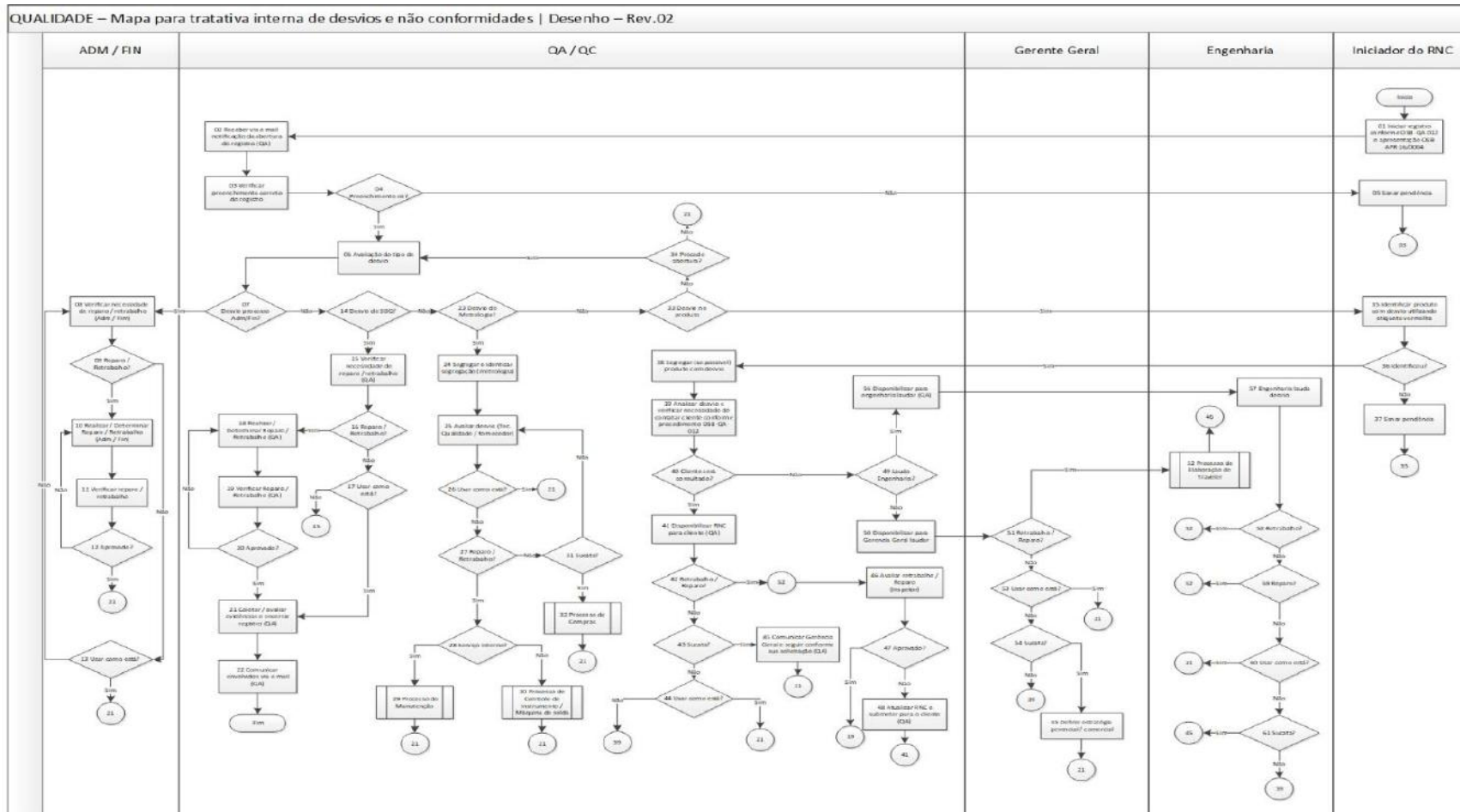
Vale ressaltar que todo processo corre risco de falha ou de não conformidade, sejam eles durante os serviços realizados dentro da fábrica, ou mesmo por falhas ou não conformidades, comunicadas posteriormente pelo cliente, isto é, após entrega do equipamento. Frente a necessidade de algum retrabalho ou abertura de não-conformidade, há um processo interno da empresa a ser seguido para tratativas de eventos não-conformes, e tal procedimento será apresentado no tópico 4.2.

4.2 ETAPA 2: PROCEDIMENTOS PARA INVESTIGAÇÃO DE FALHAS

O procedimento de investigação de falhas da empresa tem como objetivo descrever como ocorre a identificação, controle e tratativa de um produto/serviço com não conformidade e/ou com desvio de processo, a fim de prevenir o seu uso não intencional ou entrega.

Além de definir regras para corrigir não conformidades, o procedimento sugere implementar (quando aplicável) ações corretivas e preventivas tanto internamente quanto na cadeia de suprimentos, de modo a eliminar as causas das não conformidades e minimizar a probabilidade de uma recorrência/ocorrência. O fluxograma da tratativa pode ser observado na figura 24.

Figura 24 - Fluxograma de tratativa interna de desvios e não conformidades



Fonte:, Elaboração Própria (2023)

Então, de acordo com o fluxograma, quando um produto/serviço não conforme ou com desvio de processo é detectado, é essencial que a operação dele seja impedida de ter continuidade, até que uma decisão formal seja tomada sobre o que deve ser feito com este produto. Neste caso deve-se:

Identificar o Produto: O produto/serviço deve ser claramente identificado com marcador industrial ou etiqueta, para prevenir seu uso inadvertido.

- I. Abertura de uma não conformidade: Ao ser detectado um desvio ou falha e/ou caso esse desvio seja comunicado pelo cliente, deverá ser notificado um novo registro no sistema de NCR (Registro de Não Conformidade) da empresa.
- II. Detalhamento da não conformidade no sistema: A não-conformidade encontrada deve ser apresentada e registrada no sistema com o máximo de detalhes possíveis pelo responsável da notificação.
- III. Análise do Desvio: Após registrada a não conformidade, deve ser analisado se é um desvio de processo ou desvio no produto.

Caso seja constatado como desvio de processo, o fluxograma determina que haja verificação da necessidade de retrabalho/reparo, se não houver necessidade é indicado que seja usado como está, colete e avalie as evidências, encerre o registro, em seguida comunique os envolvidos via e-mail e termine a não conformidade.

Frente a necessidade de retrabalho/reparo, deverá ser determinado qual ajuste será necessário para sanar a pendência, iniciado o retrabalho/reparo deverá verificar o andamento do mesmo e analisar se foi eficaz. Se o retrabalho tiver sido aprovado, as evidências devem ser coletadas e analisadas, o registro deve ser encerrado e notificado aos envolvidos via email, e assim encerrar o caso.

Quando é constatado como um desvio de produto, é necessário que se identifique o produto com o uso de etiqueta vermelha padrão da empresa, conforme o modelo da figura 25

Figura 25 - Etiqueta de não conformidade

	NÃO CONFORME
Cliente / Fornecedor: _____	Part Number: _____
SO / PO: _____	Qtd.: _____
Descrição: _____	Data: _____
RNC: _____	Emitido por: _____
Obs: _____	

Fonte: Elaboração Própria (2023)

Após identificação realizada, o produto com desvio precisa ser segregado (quando possível) e inicia-se a análise do desvio encontrado. Desta forma, o departamento de Garantia de Qualidade tem a responsabilidade e a autoridade para avaliar se o produto não conforme detectado será tratado internamente ou se será submetido para avaliação e disposição do cliente.

Se for necessário contatar o cliente, é preciso disponibilizar o relatório de não conformidade e ele deverá definir qual caminho o equipamento terá de seguir (sucatear o equipamento, usar como está ou retrabalho). E vale ressaltar que apenas produto/serviço não conforme é apresentado ao cliente para avaliação. Produto/serviço com desvio é considerado problema interno e não requer tal notificação.

Se a avaliação for interna, o departamento de Garantia da Qualidade identifica se o registro é relativo ao Sistema de Gestão da Qualidade ou se é registro relacionado a produto / serviço /materiais. Se for relativo a produto, serviço ou materiais, o registro é direcionado para a Engenharia para disposição. Se o registro for do Sistema da Qualidade, o Gerente da Qualidade, ou quem substituir deve dar à disposição ou direcionar para colaborador aplicável. A disposição contempla: Usar como está, Retrabalho/Reparar e Sucata. (quadro 8).

Quadro 8 - Disposição de produtos/equipamentos

LAUDO/ DISPOSIÇÃO	DEFINIÇÃO
Usar como está (UCE)	Os responsáveis por determinar a disposição do registro, descrevem o laudo com a justificativa e dispõe para o departamento de Garantia da Qualidade. O departamento de Garantia da Qualidade encerra o registro, informando a aprovação do mesmo aos envolvidos.
Retrabalhar/ Reparo	Os responsáveis por determinar a disposição do registro, descrevem o laudo. <ul style="list-style-type: none"> - Se for retrabalho relacionado a produtos ou materiais (a disposição deve ser de maneira clara e lógica) obrigatoriamente é precedido de um roteiro de serviço de Retrabalho ou Reparo. O encerramento do registro só pode ocorrer após a execução do retrabalho ou reparo, é a evidência da eficácia ou ineficácia do mesmo pode ser com base nos relatórios de inspeção ou emissão do databook com a aprovação dos relatórios finais atestando a conformidade do produto / serviço. O departamento de Garantia da Qualidade encerra o registro, informando a aprovação ou reprovação dele aos envolvidos. - No caso de reprovação durante o encerramento do registro, implica na ineficácia dele. Para isso um novo registro deve ser iniciado, referenciando o registro ineficaz.

Sucatear	Os responsáveis por determinar a disposição do registro, descrevem o laudo com a justificativa e dispor para o departamento da Qualidade, ou quem o substituir. Após a disposição, se o material / peça é do cliente, o departamento de Vendas deve ser comunicado para que o acordo comercial possa existir. O departamento de Garantia da Qualidade encerra o registro (com base no acordo comercial, quando aplicável), informando a aprovação do mesmo aos envolvidos.
----------	--

Fonte:, Elaboração Própria (2023)

Vale salientar que em situações de não conformidades, a empresa avalia a necessidade de implementação de ações corretivas para eliminar as causas de forma a evitar sua repetição. As ações corretivas devem ser apropriadas aos efeitos das não conformidades encontradas, de como que considere: análise do produto não conforme, determinação e implementação de ações de contenção, identificação de causa raiz da não conformidade e avaliação das ações corretivas necessárias, implementação de ações corretivas para reduzir a probabilidade de recorrência, verificação da eficácia das ações tomadas.

Para investigação das causas os setores envolvidos devem identificar as causas raízes, baseado em alguma ferramenta da Qualidade (exemplos: 5 porquês / Diagrama de *Ishikawa* / *Brainstorming*). Então, deve-se implementar as ações corretivas ou preventivas, como:

4.2.1 Implementação de ações corretivas

I. Avaliação de ações a serem tomadas:

Avaliar a necessidade de implementar ações corretivas para a não conformidade. Uma vez identificada a necessidade de ação corretiva, a Garantia da Qualidade comunica e solicita ao setor responsável pelo desvio a identificação da causa raiz e as ações corretivas.

II. Identificação do setor responsável pelo desvio:

O setor identificado como responsável deve analisar o caso, onde existindo a contestação de responsabilidade, deve informar a Garantia da Qualidade para que junto com outros setores possam determinar as responsabilidades. A Garantia da Qualidade deve fazer a avaliação da informação recebida, solicitando correções e maiores detalhes quando necessário. Uma vez aprovado, a Garantia da Qualidade insere as informações no sistema NCR.

III. Abertura e encaminhamento de evidências:

Assim que uma ação é tomada, a evidência (quando existir) deve ser direcionada pelo responsável pela ação ao setor da Garantia da Qualidade. Após receber a evidência da ação tomada, o sistema NCR/CAR/PAR deve ser atualizado. A planilha de controle também deve ser atualizada e uma data para a verificação da

eficácia deve ser definida.

IV. Verificação de eficácias:

A verificação da eficácia deve ser realizada a fim de checar se a ação tomada evitou novas não conformidades pela mesma causa raiz. O sistema NCR deve ser atualizado detalhando a análise da eficácia, informando se a ação foi eficaz ou não. Se a ação for eficaz, o registro de ações corretivas deve ser encerrado e a planilha de controle deve ser atualizada como eficaz. Se a ação não for eficaz, o registro deve ser encerrado, a planilha de controle deve ser atualizada como ineficaz e um novo registro de ações corretivas deve ser aberto para tratativa.

4.2.2 Implementação de ações preventivas

- I. Definição de ações a serem tomadas: Para implementação de ação preventiva, a empresa define ações para eliminar os potenciais causas da não-conformidade de forma a evitar sua ocorrência. As ações preventivas devem ser apropriadas aos efeitos dos problemas potenciais. Uma ação preventiva deve conter: identificação de oportunidades para melhoria, identificação de um potencial não conformidade e sua potencial causa, identificação dos prazos e responsabilidades para ações preventivas, verificação da eficácia das ações tomadas.
- II. Abertura de registro: Qualquer funcionário da empresa pode iniciar uma ação preventiva, para isso deve identificar um potencial não conformidade e registrar no sistema NCR, direcionando a mesma para o setor da Garantia da Qualidade para avaliação. Após iniciar a ação preventiva, o setor da Garantia da Qualidade deve avaliar o potencial desvio, se não for caracterizado como potencial desvio, a mesma deve ser tratada como desvio real e avaliado. O setor da Garantia da Qualidade deve buscar junto aos setores envolvidos as potenciais causas, assim como desenvolver as ações preventivas, preenchendo e avaliando o registro de ações preventivas registrado no sistema.
- III. Encaminhamento de evidências: Assim que uma ação é tomada, a evidência deve ser direcionada pelo responsável pela ação ao setor da Garantia da Qualidade. Após receber a evidência da ação tomada, o sistema NCR deve ser atualizado. A planilha de controle também deve ser atualizada e uma data para a verificação da eficácia deve ser definida.
- IV. Verificação de eficácias: A verificação da eficácia deve ser realizada a fim de checar se a ação tomada sanou a potencial não conformidade. O sistema NCR deve ser atualizado detalhando a análise da eficácia, informando se a ação foi eficaz ou não. Se a ação for eficaz, o registro de ações preventivas deve ser encerrado e a planilha de controle deve ser atualizada como eficaz. Se a ação não for eficaz, o registro de ações preventivas deve ser encerrado, a planilha de controle deve ser atualizada como ineficaz e um registro de não conformidade deve ser aberto para tratativa.

Conforme visto, os processos utilizados pela empresa para tratativas de desvios e não conformidades em produtos/serviços são de extrema importância para garantir uma boa gestão

da manutenção e eficácia nos serviços fornecidos aos clientes. O tópico 4.3 apresentará o processo seguido pela empresa para tratar e investigar um caso real de não conformidade notificado por um cliente, devido à falha do equipamento BOP durante uma operação a bordo de uma sonda.

4.3 ETAPA 3 - APLICABILIDADE DO PROCESSO DE INVESTIGAÇÃO DE FALHAS DA EMPRESA NA ANÁLISE DO EVENTO.

Nesta seção será apresentado um caso de análise da falha no teste de câmara do *lower* do BOP. A empresa foi notificada por seu cliente devido a uma falha de equipamento mantido dentro da empresa. Foi registrado pelo cliente que durante a instalação do equipamento na sonda, ele apresentou um fluxo de vazamento de fluido na câmara de close e um vazamento constante no *wellbore*, parte do BOP.

Portanto, houve duas análises, sendo a primeira voltada para análise do desvio do produto/equipamento (apresentada no tópico 4.3.1), que foi realizada pelo cliente a fim de identificar a causa do vazamento. A segunda análise, se refere, a análise do desvio do processo (apresentada no tópico 4.3.2), que foi realizada pela empresa a fim de identificar a causa raiz do desprendimento do *xylan* (revestimento para prevenir a corrosão e aumentar a vida do produto).

Sendo assim, ambas as análises serão descritas nesta etapa.

4.3.1 Análise de falha do equipamento pelo cliente

O cliente notificou que o *lower anular* foi totalmente reparado pela empresa e entregue a sonda do cliente no dia 18/12/2022 para posterior montagem no corpo do *upper anular*. Foi relatado pelo cliente que os testes de câmara no equipamento não foram realizados a bordo, pois durante o processo de recertificação esses testes já haviam sido realizados pela empresa e aprovados.

No dia 31/01/2022 durante os testes de pressão do *upper anular* do BOP, realizados a bordo pelo cliente, foi identificado um fluxo na câmara do *lower anular* e cessado somente após bloquearem o *lower anular*. Sendo assim, após os testes de pressão realizados, o cliente seguiu para o *troubleshooting* (um diagrama indicando os diversos possíveis problemas que um produto, processo ou sistema operacional pode apresentar, com suas causas e como proceder diante de cada problema, muitas vezes aplicado na reparação de produtos ou processos falhos) do vazamento no *lower anular*.

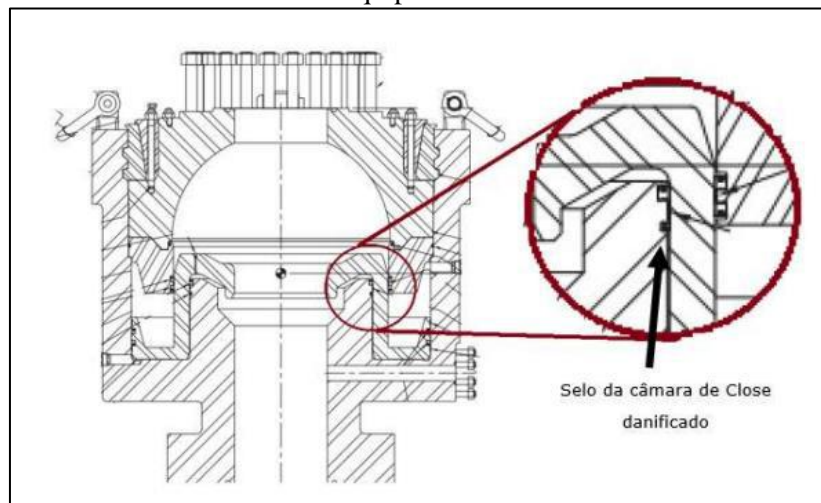
Conforme indicação da norma API 16ª, foram realizados três ciclos no anular e os testes de câmara no *lower anular*. Em contrapartida ao vazamento ocorrido durante o teste de pressão, o teste da câmara do open foi satisfatório, no entanto, não foi conseguida estanqueidade no teste da câmara de *close*.

Portanto, para realização do *troubleshooting* (solução de problemas – sistemática para resolver um problema), o cliente realizou a abertura do anular a fim de identificar possíveis causas e danos. Foi identificado:

- Selo do corpo do anular

Identificados danos ao selo que faz a vedação da câmara de *close* para o *wellbore*, justificando a falha no teste de pressão da câmara.

Figura 26 - Desenho técnico do anular, indicativo do selo danificado no corpo do equipamento



Fonte:, Elaboração Própria (2023)

Figura 27 - Danos ao selo da câmara de *close* (2)



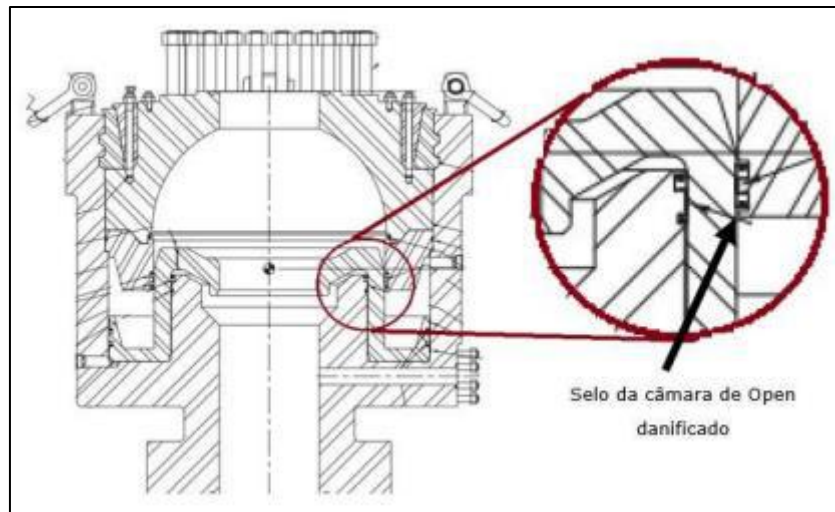
Fonte:, Elaboração Própria (2023)

- Selo do *adapter ring*

Foram identificados os danos ao selo que faz vedação da câmara de *open* para o *wellbore*, de modo que justifique a primeira falha identificada durante o teste de pressão

do *upper anular*. Durante o *troubleshooting* para identificação do vazamento realizou-se um teste na câmara de open com um resultado positivo, mas devido ao estado do selo encontrado teve-se a convicção que o equipamento não apresentava um estado confiável para operar. Apesar do teste na câmara open, realizado após identificação do vazamento, ter sido positivo, acredita-se que o resultado foi devido a intermitência do vazamento encontrado na câmara.

Figura 28 - Desenho técnico do anular, indicativo do selo danificado no *adapter ring*



Fonte:, Elaboração Própria (2023)

Figura 29 - Danos ao selo da câmara de open



Fonte:, Elaboração Própria (2023)

- Reparo no pistão anular

No serviço de reparo em pistão de BOP anular *Shaffer* (modelo de fabricante) contratado pelo cliente, a empresa tinha como escopo de trabalho os seguintes serviços: realizar polimento em máquinas nos diâmetros de vedação interno e externo; remover mossas e rebarbas; inspeção dimensional nas áreas de vedação polidas; jateamento com óxido de alumínio; realizar revestimento de *xylan* (revestimento de *xylan* são uma família de fluoropolímeros desenvolvidos para o uso em diversos tipos de componentes OEM e fixadores para prevenir a corrosão e aumentar a vida do produto) conforme procedimento interno da empresa.

Ao abrir o anular, identificou-se um desprendimento do revestimento de *xylan* na área de vedação interna e externa do pistão. Após realizar ciclos no anular, não era esperado que esse desprendimento ocorresse.

Figura 30 - Pistão do anular com desprendimento de *xylan*



Fonte:, Elaboração Própria (2023)

Logo, nas investigações realizadas pelo cliente, notou-se que o vazamento ocorrido nas câmaras de open e close foi devido aos danos causados nos selos responsáveis pela vedação dele. Durante inspeção do *adapter ring* foram identificados resquícios do revestimento de *xylan* preso ao selo e acredita-se que esse depósito de material tenha sido responsável pelo rompimento dos selos.

Figura 31 - Material depositado no selo do *adapter ring*



Fonte:, Elaboração Própria (2023)

Resume-se, então, que o cliente utilizou uma abordagem sistemática para encontrar e solucionar o desvio encontrado. Identificou três diferentes danos no equipamento, confirmou o desvio no produto e implementou ações corretivas para tratar a falha. Devido a notificação do desvio encontrado pelo cliente, a empresa necessitou abrir um registro de não conformidade e tratar do desvio encontrado. Para tal, o tópico 4.3.2 apresenta como a empresa investigou e analisou a causa raiz do desvio do processo.

4.3.2 Análise de causa raiz do desvio de processo

Após investigação e *troubleshooting* realizado pelo cliente, ficou constatado, então, que os vazamentos ocorridos na câmara de close do BOP foram devidos aos danos causados nos

selos responsáveis pela vedação do equipamento, que por provável foi resultado de uma falha de processo durante a manutenção do equipamento pela empresa.

Frente a investigar as possíveis causas raiz do desprendimento do *xylan* no pistão, a empresa utilizou a ferramenta dos cinco porquês ou 5W conforme apresentado no quadro 9.

Quadro 9 - Investigação de causa raiz – método cinco porquês

INVESTIGAÇÃO DA CAUSA - 5W			
Investigação de causas (Cinco porquês)	Causa raiz identificada	Ação para evitar reincidência	Data para a implementação da ação
Etapa 01:	Falha no processo operacional e dispositivos de controle da qualidade no processo de revestimento PTFE	Revisão do procedimento operacional OBS-OP-012, dos roteiros de fábrica dos equipamentos listados neste documento e treinamento com as partes envolvidas.	25/02/2022
P: Por que o BOP falhou durante os testes de função pré-comissionamento?			
R: Porque o revestimento do BOP Piston apresentou deslocamento.			
Etapa 02:			
P: Por que o revestimento do BOP Piston apresentou deslocamento?			
R: Porque a aplicação do revestimento não foi efetiva.			
Etapa 03:			
P: Por que a aplicação do revestimento não foi efetiva?			
R: Porque durante a etapa de cura não houve cuidado no respeito a temperatura x tempo mínimo para cura completa pós queda de energia. Também não houve inspeção de qualidade na própria peça apenas no corpo de prova.			

Etapa 04:			
<p>P: Por que durante a etapa de cura não houve respeito a temperatura x tempo mínimo para cura completa pós queda de energia. Também não houve inspeção de qualidade na própria peça e apenas no corpo de prova?</p> <p>R: Porque o procedimento operacional OSB-OP-012 não contemplava esta atividade na própria peça, apenas no corpo de prova.</p>			
Etapa 05:			
<p>P: Por que o procedimento operacional OSB-OP-012 não contemplava esta atividade na própria peça, apenas no corpo de prova?</p> <p>R: Porque até então não existia falha operacional desta forma com peças revestidas. Diante do cenário encontrado e reporte do cliente, se faz necessário revisar o procedimento para garantir que a entrega de produto não conforme ocorra novamente.</p>			

Fonte:, Elaboração Própria (2023)

Conforme apresentado, a empresa com o uso da ferramenta 5W pôde abordar de forma mais precisa o verdadeiro motivo na falha do equipamento, o qual foi consequência de uma falha no processo interno da empresa. Logo, se foi devido a um desvio de processo, o equipamento deve retornar a empresa para tratativa do desvio.

Inicialmente, durante as análises preliminares, existia uma suspeita quanto a compatibilidade do fluido de BOP com o revestimento de *xylan* 1425 base água utilizado no revestimento do pistão. A aplicação desse *xylan* foi devido a solicitação no roteiro de trabalho apresentado no quadro 10.

Quadro 10 - Tarefa de revestimento de *xylan*

1.27	500 - J&P	<p>REVESTIMENTO DE XYLAN:</p> <p>- REALIZAR REVESTIMENTO DE XYLAN 1425 CONFORME PROCEDIMENTO OSB-OP-012 EM TODA PEÇA.</p> <p>VER EM ANEXO OS BOLETINS TÉCNICO DE CADA XYLAN * XYLAN 1425 - BOLETIM D6645;</p> <p>Informações para Relatório de Revestimento:</p> <p>Limpeza: <input type="checkbox"/> Desengraxante <input type="checkbox"/> Hidrojato <input type="checkbox"/> Solvente</p> <p>Umidade: <input type="checkbox"/> ≤ 85% <input type="checkbox"/> > 85%</p> <p>Temp. Ambiente (°C): <input type="checkbox"/> ≤ 10 <input type="checkbox"/> > 10 ≤ 50 <input type="checkbox"/> > 50</p> <p>Temp. Equip (°C): <input type="checkbox"/> ≤ 10 <input type="checkbox"/> > 10 ≤ 50 <input type="checkbox"/> > 50</p> <p>Jateamento: <input type="checkbox"/> Granalha de Aço <input type="checkbox"/> Oxido de Alumínio</p> <p>Grau de limpeza: <input type="checkbox"/> Sa1 <input type="checkbox"/> Sa2 <input type="checkbox"/> Sa2.1/2 <input type="checkbox"/> Sa3</p> <p>Grau de Itemperismo: <input type="checkbox"/> A <input type="checkbox"/> B <input type="checkbox"/> C <input type="checkbox"/> D</p> <p>Perfil de Rug. (µm): <input type="checkbox"/> ≤ 20 <input type="checkbox"/> > 20 < 60 <input type="checkbox"/> ≥ 60 ≤ 100 <input type="checkbox"/> > 100</p> <p>Primer: _____ Lote: _____ Data de Validade.: _____</p> <p>Temperatura de pré cura: <input type="checkbox"/> 100 °C <input type="checkbox"/> Outro: _____</p> <p>Tempo de pré cura: <input type="checkbox"/> 3 min <input type="checkbox"/> Outro: _____</p> <p>Espessura Primer: <input type="checkbox"/> < 18 µm <input type="checkbox"/> ≥ 18 µm ≤ 29 µm <input type="checkbox"/> > 29 µm</p> <p>Top Coat: _____ Lote: _____ Data de Validade.: _____</p> <p>Temperatura de cura: <input type="checkbox"/> 230 °C <input type="checkbox"/> 270 °C <input type="checkbox"/> Outro: _____</p> <p>Tempo de cura: <input type="checkbox"/> 10 min <input type="checkbox"/> 20 min <input type="checkbox"/> Outro: _____</p> <p>Espessura Final: _____</p>	
1.28	125 AJUDANTE	<p>AJUDANTE</p> <p>- AUXILIAR PINTOR NA EXECUÇÃO DA TAREFA.</p>	

Fonte:, Elaboração Própria (2023)

Após análise de causa provável, a não compatibilidade como causa foi descartada. O tipo de *xylan* aplicado (série 1400), apresentava uma validade de 24/04/2022 (data bem posterior ao dia de aplicação do produto na peça) e encontra-se de acordo com o recomendado pelo fabricante e manual do equipamento, conforme exemplificado nas figuras 32, 33,34.

três vezes sobre a área recortada com o intuito de tentar remover o revestimento e para que seja aceite o revestimento aplicado, nenhuma seção pode se desprender com a fita. Observa-se que o teste de aderência é um ensaio destrutivo, e por essa razão os procedimentos de revestimento são elaborados de forma a permitir que os ensaios sejam realizados em um corpo de prova, com a premissa de que este corpo seja revestido junto com o mesmo lote em revestimento. Isto significa que o mesmo lote de produto, metodologia de aplicação e cura são iguais.

E para que o teste de cura tenha eficiência é necessário que mergulhe um algodão MEK (*Methyl-Ethyl-Ketone*) e imediatamente esfregue sobre a superfície com uma pressão de aproximadamente 2,5kg. Configura-se como efetivo caso o revestimento resista a 50 passadas duplas sem apresentar amolecimento do filme ou exposição do substrato.

Além das ações corretivas realizadas pela equipe de bordo do cliente, que ao identificar o problema removeu por total o revestimento da peça (Pistão) e deu seguimento a montagem e teste do equipamento, se fez necessário a implementação efetiva e imediata de ações preventivas por parte da empresa. Dessa forma, com a identificação da falha apresentada e notado o alto grau de criticidade do desvio, e com o intuito de evitar a reincidência de uma nova não conformidade, a empresa tomou como ações preventivas o seguimento de três etapas:

- Etapa 1: Para todos os processos de cura de peças revestidas com área de selo, deve ser emitida carta gráfica, e será inserido nos roteiros de trabalho uma etapa para um inspetor realizar análise desta carta gráfica. Tem como objetivo a verificação da calibração do forno, bem como a respeito das temperaturas e tempos de cura. Procedimento foi revisado para atender as mudanças.
- Etapa 2: No processo antigo os testes de cura e aderência eram feitos apenas em corpo de prova, a partir da não conformidade passaram a ser feitos na própria peça em uma área não crítica, e posteriormente é feito um retoque localizado na região onde foi feito os testes.
- Etapa 3: As ações da etapa 1 e 2, tornaram-se efetivas imediatamente. Foram aplicados já nos serviços em andamento. E os roteiros de fábrica foram atualizados para refletir a mudança, conforme mostra a figura 37.

Figura 37 - Roteiro típico de revestimento atualizado

1.27	125	REVESTIMENTO DE XYLAN: - REALIZAR REVESTIMENTO DE XYLAN 1425 VERDE CONFORME PROCEDIMENTO OSB-OP-012 Rev 2 EM TODA PEÇA. VER EM ANEXO OS BOLETINS TÉCNICO: * XYLAN 1425 - BOLETIM D6645;	
			
1.28	700	AJUDANTE - AUXILIAR PINTOR NA EXECUÇÃO DA TAREFA.	
			
1.29	700	INSPEÇÃO DE REVESTIMENTO - REALIZAR INSPEÇÃO DO REVESTIMENTO DE XYLAN CONFORME PROCEDIMENTO OSB-OP-012 REV 2 E OS PROCEDIMENTOS DA WHITFORD ME 14.0 E 24.0.	
			

Fonte: Elaboração Própria (2023)

Sintetiza, de maneira adicional, que toda a equipe operacional da fábrica, engenharia e controle de qualidade foram treinadas, e o registro de participação do treinamento foi compartilhado posteriormente com o cliente para encerramento da não conformidade.

Por fim, os resultados esclarecem que a empresa detém dois diferentes setores de gestão da manutenção. A manutenção em máquinas que fazem parte da estrutura que possui a empresa e a manutenção dos equipamentos em geral que são pertencentes a diferentes clientes e enviados para a base da empresa como serviços a serem realizados. Verifica-se que as manutenções dos equipamentos de clientes ocorrem em três etapas: pré-manutenção, manutenção do equipamento e entrega do equipamento. Assegura que no processo de análise de falhas, a empresa possui procedimentos internos para tratativas de desvios encontrados e registros de não conformidade. Identificou-se também que na aplicabilidade do processo de investigação de falhas do caso estudado foi registrado ocorrência de desvio no produto que foi tratado pelo cliente, e tratativa do desvio de processo realizado pela empresa.

5 DISCUSSÃO DOS RESULTADOS

Moro (2017) resume que atuar em manutenção é intervir no sistema de uma forma geral, com o objetivo de evitar quebras e/ou paradas na produção, bem como garantir a qualidade planejada dos produtos. Observou-se, então, no estudo de caso que um desvio no processo de manutenção pode acarretar a falha de equipamentos com graus altíssimos de criticidade, como foi o caso da falha do BOP que é um conjunto complexo de sistemas de controle/segurança de extrema importância para o processo de perfuração.

Visto isso, é de suma importância que durante um processo de manutenção haja o controle total das atividades para que os desvios de processo e/ou no produto sejam evitados. Pinto e Xavier (2001), já dizia que o controle é um acompanhamento frequente das atividades desenvolvidas para que ela seja cumprida dentro dos parâmetros desejados. Sendo assim, notou-se que durante a manutenção do equipamento na empresa, que não houve o devido controle ao processo, no que resultou na queda de luz do forno e não retomada do processo. Além da não realização da inspeção no revestimento de *xylan* no que resultou no desvio do produto entregue ao cliente.

Siqueira (2005) salienta que as falhas consistem na trava ou modificação da capacidade de desempenho na função destinada ou esperada de um item, portanto, no caso apresentado, verificou-se que o desvio de processo durante a manutenção do equipamento resultou na falha do BOP, pois ele apresentou um desempenho indesejável durante seu teste a bordo, logo caracterizou-se na perda da sua função específica.

Figueiredo, (2019) mostrou que a resolução de problemas encontrados se torna menos complicada caso se conheça a causa-raiz, pois com a identificação dela, torna-se possível que a realização de potenciais soluções tenham efeitos esperados e eficazes. Costa e Mendes (2018), afirmaram que há diversos métodos e ferramentas disponíveis para encontrar a causa raiz, extinguir e evitar o surgimento de efeito indesejados no processo e produto. Percebeu-se, então, que a empresa a fim de identificar a causa raiz do desvio notificado pelo cliente, utilizou a ferramenta cinco porquês ou 5W, que apesar de ser um método mais simples, possibilitou encontrar a verdadeira causa do desvio de processo.

O estudo de caso mostrou foram adotadas as ações corretivas tomada pelo cliente e ações preventivas tomadas pela empresa. Kardec e Nascif (2010), apontaram que para correção de falha existem os diferentes tipos de manutenção e essas são as formas em que as intervenções são executadas nos equipamentos. Xavier (2003) expõe que a manutenção corretiva é a atuação

para correção de falha ou do desempenho menor que o esperado. Foi observado no estudo de caso que o cliente tomou como ação corretiva a remoção de todo o revestimento que havia desprendido e danificado os selos, para que fosse possível realizar o teste e garantir o correto funcionamento do equipamento na sua função específica.

Para Associação Brasileira de Normas Técnicas (ABNT, 1994), a manutenção preventiva deve ser realizada em tempos corretos, conforme critérios prescritos, destinada a diminuir as chances de falhas e degradação. Então, após identificada a causa raiz do desvio do produto foram tomadas as devidas ações corretivas, como a desmontagem do equipamento e a remoção de todo os revestimentos que havia sido desprendido. Finalmente com a identificação da causa raiz referente ao desvio de processo, foi observado que a empresa analisada, tomou ações preventivas com o intuito de prevenir reincidências da não conformidade registrada, por meio de três etapas e envolvendo trabalhadores de diferentes níveis e setores.

5.1 RECOMENDAÇÕES

A análise do caso apresentado e visto diferentes problemas já divulgados no mundo do petróleo e gás, algumas importantes lições merecem uma atenção especial aos setores envolvidos diretamente no mercado petrolífero. Entre elas pode-se citar:

- Ao realizar qualquer serviço no ramo, sempre é de suma importância ter conhecimento da norma em que aquele equipamento se enquadra. Ler a norma e se atentar ao que ela rege como requisito para inspeção, manutenção, montagem, teste e entre outros serviços daquele tipo de equipamento.
- Buscar sempre o manual do equipamento. É de suma importância que para realizar algum serviço no equipamento, a leitura do manual ou ao menos a consulta do manual esteja sendo feita em paralelo para melhor conhecimento.
- Consultar pessoas com experiência no serviço, ou buscar referências de serviços já realizados e que não apresentaram nenhuma falha e/ou desvio.
- Fomentar uma cultura de troca de conhecimentos, que envolva a realização de treinamentos para colaboradores de fábrica, caso seja um equipamento novo, bem como a instrução de serviço realizada pelo setor de engenharia.
- Todos os setores devem andar alinhados durante a realização do serviço, para que no resultado, não há divergência naquilo que foi realizado.

6 CONCLUSÃO

Este trabalho teve como objetivo analisar o processo de gestão de manutenção e investigação de falhas de equipamentos utilizados em processos de perfuração de poços e exploração de petróleo. Portanto, foi realizado um estudo de caso em uma empresa prestadora de serviço no setor de óleo e gás, especificamente no que tange a análise da falha de um equipamento mantido.

No referencial teórico foi contextualizado a gestão da manutenção dentro das organizações do setor de óleo e gás, mostrou-se como esse tema está inserido no cenário atual do mercado. Contextualizou a evolução da manutenção, os tipos de manutenção existente e adequadas ao setor, o planejamento e controle da manutenção, e ainda mostrou a manutenção centrada na confiabilidade. Registrou, também, uma breve contextualização da indústria do petróleo e sintetizou alguns equipamentos pertencentes ao ramo de exploração de óleo e gás.

Nota-se que ao decorrer do trabalho, o termo falha foi detalhado e definido, junto ao modo de malha, causa e efeitos da falha. Para tal, apresentou-se ferramentas que tornam possíveis as análises e investigações de falhas para tratativas delas em caso de ocorrência. Então, essas ferramentas auxiliam o investigador do problema a ser ágil e assertivo para solucionar o caso.

Abordou nos resultados um caso prático ocorrido na empresa. Foi registrado uma não conformidade, devido a uma notificação enviada pelo cliente que informava o vazamento do equipamento BOP durante seu teste a bordo. Portanto, para tratar tal desvio, apresentou-se o procedimento interno da empresa que deve ser seguido para investigação de falhas.

Na análise do processo de gestão da manutenção e investigação de falhas de um *blowout preventer*, notou-se que foi um caso de problema na manutenção de equipamento do cliente encaminhado para a empresa. Desta forma, visto a falha do equipamento, o cliente detectou a causa raiz do desvio e tomou ações corretivas de forma a garantir o correto desempenho do equipamento. E, a fim de evitar a recorrência do desvio encontrado, a empresa seguiu seu procedimento para investigação de falhas, utilizou a ferramenta cinco porquês como o principal método de análise de causa raiz do desvio de processo, e após a identificação tomou ações preventivas de modo a evitar a recorrência.

Assim, o trabalho mostrou que mesmo com setores destinados a gestão de manutenção pode haver falha no processo ou até mesmo na entrega do produto. Logo, entende-se que todo tempo de manutenção preventiva deve ser respeitada e quando identificada uma necessidade de

manutenção corretiva deve ser realizada. Notou-se, também que as ferramentas e métodos de investigação de falhas são de extrema importância para uma organização, pois auxiliam diretamente nas mitigações de desvio encontrado e assim, na possível solução. Visto isso, as tomadas de ações corretivas e preventivas podem prevenir a recorrência de falhas e/ou até mesmo a existência de um outro desvio.

6.1 LIMITAÇÕES DO TRABALHO

Entre as limitações deste trabalho, destaca-se a dificuldade de encontrar diferentes casos de falha de BOP e o real motivo do acontecimento. Geralmente, as empresas tornam esses graves problemas confidenciais, o que dificulta encontrar os relatos, mesmo sabendo que há diversos equipamentos com diferentes falhas no setor de óleo e gás. Da mesma forma, o estudo se limitou a um único caso, a falha no teste de câmara do *lower* anular do BOP e as tratativas evidenciadas pela empresa.

6.2 POSSIBILIDADES DE TRABALHO FUTURO

Para trabalhos futuros vale pesquisar diferentes falhas já relatadas durante o teste de um BOP, até mesmo que diferente tipo como o BOP Gaveta, visando analisar possíveis tratativas frente ao problema. Conforme desvio apresentado, realizar o estudo acerca dos diferentes tipos de revestimentos permitidos pela norma para aplicação no equipamento. Buscar conhecimento nas inspeções que devem ser realizadas para garantir a correta aplicação do revestimento e se seu uso foi adequado na peça em específico. Mostrar que o teste de cura e de aderência, conforme foi implementado pela empresa do estudo, garantiria a permanência do revestimento e evitaria novos desprendimentos do produto aplicado. Por fim, notificar no que o desvio como o registrado poderia causar, caso a falha do equipamento fosse durante uma operação.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ABNT (ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS). Confiabilidade e manutenibilidade: NBR ISO 5462. Rio de Janeiro, 1994

CARVALHO, Carlos Alberto Ferreira; et all. A utilização do design thinking para melhorias nas paradas de manutenção em plataformas offshore. [Online] Editora Científica Digital, 2022. Disponível em: <https://www.editoracientifica.com.br/artigos/a-utilizacao-do-design-thinking-para-melhorias-nas-paradas-de-manutencao-em-plataformas-offshore>. Acesso em 20 jan. 2023.

CARVALHO, Henrique (2020). **Análise de causa raiz:** Análise da Árvores de Falhas. [artigo online]. Vida de Produto. 2020. Disponível em <https://vidadeproduto.com.br/analise-da-arvores-de-falhas/> acesso em 26.mar.2022

CHIZZOTTI A. **Pesquisa qualitativa em ciências humanas e sociais**. Petrópolis: Vozes; 2006:135.

COSTA, Fabio Brindeiro. Melo, Gabriel Viana. SANTOS, Leon Denis Rodrigues dos. Estudo para implantação de um sistema de planejamento e controle de manutenção. **Revista Científica Semana Acadêmica**. Fortaleza, ano MMXVIII, Nº. 000142, 14/11/2018. Disponível em: <https://semanaacademica.org.br/artigo/estudo-para-implantacao-de-um-sistema-de-planejamento-e-controle-de-manutencao> Acesso em: 04 maio 2023

COSTA, Taiane Barbosa da Silva; MENDES, Meirivone Alves. Análise da causa raiz: utilização do diagrama de Ishikawa e Método dos 5 Porquês para identificação das causas da baixa produtividade em uma cacauicultura. **Anais do X SIMPROD**, 2018

DANTAS, Igor dos Santos. **Importância e Benefícios do Planejamento de Gestão de Manutenção**. Monografia (Graduação) – UFPB, João Pessoa, 2019.

DINIZ, Hélio Augusto Goulart et al. análise dos modos e efeitos das falhas-fmea em um transportador de correia. IX CONGRESSO NACIONAL DE ENGENHARIA MECÂNICA. Fortaleza, 2016

FIGUEIREDO, Danielle Lima. Gestão da Manutenção: Metodologias e Ferramentas para Análises de Falhas.

GARDNER, Laura; GIVENS, Matthew. (2016). The Defining Series: Blowout Preventers. **Oilfield Review**. Schlumberger. Disponível em <https://www.slb.com/resource-library/oilfield-review/defining-series/defining-bops> Acesso em 16.maio 2023.

GIL AC. **Como elaborar projetos e pesquisa**. 3 ed. São Paulo: Atlas; 1995:58.

GOMES, Júnior Cássio Cota; BARCELOS, Bráulio Frances. **Proposta de melhoria no layout de um almoxarifado utilizando a ferramenta 5w2h**. [artigo online] Faculdade Doctum de João Monlevade, Instituto Ensinar Brasil, 2019.

HELMAN, Horacio; ANDERY, Paulo R. P. **Análise de Falhas** (Aplicação dos Métodos de FMEA - FTA). Belo Horizonte: Fundação Christiano Ottoni, Escola de Engenharia da UFMG, 1995.

IBP. NÚMERO DE PLATAFORMAS NO BRASIL (Dez/2019). Atualizado em fev. 2020. Disponível em: <https://www.ibp.org.br/observatorio-do-setor/snapshots/numero-de-plataformas-no-brasil-dez-2019/>. Acesso em: 28 out. 2021

KARDEC, A.; NASCIF, J. **Manutenção: Função estratégica**. Rio de Janeiro: Editora Qualitymark, 2013.

LINS, B. F. E. Ferramentas Básicas da Qualidade. **Ciência da Informação**, Brasília, v. 22, n. 2, p. 153 - 158, 1993

LISBÔA, Maria da Graça Portela; GODOY, Leoni Pentiado. Aplicação do método 5W2H no processo produtivo do produto: a joia. **Iberoamerican Journal of Industrial Engineering**, v. 4, n. 7, p. 32-47, 2012.

MATHIAS, Victor Machado. **Coluna de perfuração em poços de petróleo**. 2016. Trabalho de Conclusão de Curso. Universidade Federal do Rio Grande do Norte

MAXGRIP. **Infographic: the cost of unplanned downtime – MaxGrip 2023**. Disponível em <https://www.maxgrip.com/resource/infographic-cost-of-unplanned-downtime/>. Acesso em 23.jan.2023

MELLO, Eduardo Varela. **Top drive: aplicações e experiências em sistemas de perfuração**. 2014.

MENEZES, Mariana Souza. **Modelo de suporte ao planejamento de manutenção para sistema na indústria de petróleo**. 2022. Dissertação de Mestrado. Universidade Federal de Pernambuco, 2022

MIRSHAWKA, V., **Manutenção Preditiva: Caminho para zero defeitos**, São Paulo, Makron Books do Brasil Editora Ltda. 318 pp., 1991.

MOURA, Elivan. **Aplicação do brainstorming, diagrama de causa e efeito, matriz GUT e 5W2H para otimizar a gestão de manutenção em uma unidade de uma empresa de óleo e gás: um estudo de caso para elaboração de propostas de melhoria**. Salvador: UCSAL, 2021. Disponível em: <http://ri.ucsal.br:8080/jspui/bitstream/prefix/4947/1/TCCELIVANMOURA.pdf>. Acesso em: 14 fev. 2023.

MOUBRAY, J. **Reliability-centered maintenance** 2 ed. New York: Industrial Press Inc., 1997.

MOUBRAY, John. **Manutenção Centrada em Confiabilidade**. São Paulo: Aladon Ltda, 2000.

NAGYOVA, Anna. PALKO, Martin. PACAIOVA, Hana. **Analysis and identification of nonconforming products by 5W2H method**. Center for Quality, Faculty of Engineering, University of Kragujevac, [S.], 2015.

NATAL, André Corrêa. **Aplicação de programação matemática na racionalização do uso de sondas de perfuração e completção de poços de petróleo offshore**. Monografia (graduação em Engenharia de Produção). Rio de Janeiro, 2003.

OLIVEIRA, M. A. **Qualidade: Metodologias e Técnicas - Apresentação de Slides**. Universidade Paulista. Manaus-Brasil. 2011.

OHNO, T. **O sistema Toyota de produção além da produção em larga escala**. Porto Alegre: Bookman, 1997.

PETROBRAS. (2022). Disponível em <https://www.poder360.com.br/economia/petrobras-bate-recorde-de-gasto-com-manutencao-de-refinarias/> acesso em 26 jan. 2023

ROSENBLATT, Lúcia. Aplicação de Dinâmica de Sistemas ao estudo do comportamento das taxas diárias de aluguel de sondas de perfuração off-shore. Monografia (graduação em Engenharia de Produção). Rio de Janeiro, 2006.

SANTOS, Eduardo. **Qualidade na Manutenção: 10 dicas do Field Control**. Disponível em: <https://fieldcontrol.com.br/blog/qualidade/qualidade-na-manutencao-fieldcontrol/>. Acesso em 05 de maio 2019.

SANTOS, Estela Nascimento dos. et al. GESTÃO DE MANUTENÇÃO INDUSTRIAL. SITEFA-Simpósio de Tecnologia da Fatec Sertãozinho, v. 3, n. 1, p. 180-191, 2020

SANTOS, Luís Márcio Alves. et al. A Importância da manutenção industrial e seus indicadores. **Revista Científica Multidisciplinar Núcleo do Conhecimento**. Ano 04, Ed. 11, Vol. 01, pp. 108-128. Novembro de 2019, Disponível em [A Importância da manutenção industrial e seus indicadores](#) Acesso em 15 jan. 2023

SEBRAE. Serviço Brasileiro de Apoio às Micro e Pequenas Empresas. Disponível em: <http://www.sebrae.com.br>. Acesso em: 24.mar. 2023.

SILVA NETO, João Cirilo da; GONÇALVES de Lima, A. M. Implantação do Controle de Manutenção. **Revista Club de Mantenimiento**, n. 10, 2002.

SILVA, Neilon de Souza. **Avaliação numérico-experimental de modelos analíticos para previsão de fadiga multi-axial de tubos de perfuração de poços de petróleo**. 2008. Tese de Doutorado. Universidade Federal do Rio de Janeiro

SIQUEIRA, Iony Patriota de. **Manutenção Centrada na Confiabilidade: Manual de Implementação**. 1. ed. Rio de Janeiro: Qualitymark, 2005. 408 p

SIQUEIRA, Y. P. D. S. **Manutenção centrada na confiabilidade: manual de implantação**. Rio de Janeiro: Qualitymark, 2009.

SLACK, Nigel; CHAMBERS, Stuart; JOHNSTON, Robert. **Administração da Produção**. 2. ed. São Paulo: Atlas, 2000. 747 p.

SONAWANE, Mahesh; KOSKA, Ryan; CAMPBELL, Mike. *Riser failure study IDs well control weak links*. **Drilling contractor**, v. 68, n. 2, p. 106-111, 2012

SPITZER, Cornelia; SCHMOCKER, Ulrich; DANG, Vinh N. (Ed.). *Probabilistic Safety Assessment and Management: PSAM 7—ESREL'04 June 14–18, 2004*, Berlin, Germany, Volume 6. Springer, 2014.

SOUZA, José Barrozo de. **Alinhamento das estratégias do planejamento e controle d a manutenção (PCM) com as finalidades e funções do planejamento e controle da produção (PCP): uma abordagem analítica**; 2008. 169 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia de Produção) – Curso de Pós-Graduação em Engenharia de Produção, Universidade Tecnológica Federal do Paraná, Campus Ponta Grossa, Ponta Grossa, 2008.

SOUZA, Rafael Doro. *Análise da gestão da manutenção focando a manutenção centrada na confiabilidade: estudo de caso MRS logística*. **Juiz de Fora (MG): UFJF**, 2008.

STAKE RE. Case studies. *In*: Denzin NK, Lincoln YS (eds). **Handbook of qualitative research**. London: Sage; 2000:436.

TAKAHASHI, Yosikazu e OSADA, Takashi. **TPM/MPT – Manutenção Produtiva Total**. IMAM, 1993.

TALYULI, Helton de Oliveira. **Aplicação do processo de raciocínio da Teoria das Restrições na gestão da manutenção de equipamentos submarinos de petróleo: Um estudo de caso**. 2013. Tese de Doutorado. Dissertação de Mestrado de Engenharia de Produção da Universidade Estadual do Norte Fluminense, 2013

TORRES, Frederico de Paula. **Aumento da disponibilidade operacional por meio da manutenção preventiva aplicada em chave hidráulica de tubos na indústria do petróleo**. Trabalho de Conclusão de Curso (Engenharia Mecânica) – UFERSA, 2022.

VENTURA, Magda Maria. O estudo de caso como modalidade de pesquisa. **Revista SoCERJ**, 2007, 20.5: 383-386.

VIEIRA, Fábio Estratégia de manutenção preditiva reduz riscos no setor de óleo e gás. [artigo online] **TnBenicio Biz Editores**, 2019. Disponível em <https://tnpetroleo.com.br/artigo/estrategia-de-manutencao-preditiva-reduz-riscos-no-setor-de-oleo-e-gas-por-fabio-vieira/> acesso em 26 jan. 2023

WEISS, A.E. **Key Business solutions: essential problem-solving tools and techniques that every manager needs to know**. Grã-Bretanha: Pearson Education Limited, 2011.

XENOS, Harilaus G. **Gerenciando a manutenção produtiva: Melhores práticas para eliminar falhas nos equipamentos e maximizar a produtividade**. Nova Lima: Falconi, 2014.

Yin R. **Estudo de caso: planejamento e métodos**. 2a ed. Porto Alegre: Bookman; 2001.

ZAIONS, Douglas Roberto. **Consolidação da metodologia de Manutenção Centrada em Confiabilidade em uma planta de Celulose e Papel**. 2003