



FUNDAÇÃO OSWALDO ARANHA

CENTRO UNIVERSITÁRIO DE VOLTA REDONDA

CURSO DE GRADUAÇÃO EM ENGENHARIA MECÂNICA

TRABALHO DE CONCLUSÃO DE CURSO

ELTON LEANDRO SILVA

JANAINA CRISTINA DE SOUZA

MARCELO LACERDA REIS

NATALIA DA COSTA QUADROS

**MANUTENÇÃO E ANÁLISE DE FALHAS PARA CONFIABILIDADE
APLICADO A SISTEMAS HIDRÁULICOS DE GUINDASTE
OFFSHORE TIPO BOX BOOM CRANE**

VOLTA REDONDA

2020

ELTON LEANDRO SILVA
JANAINA CRISTINA DE SOUZA
MARCELO LACERDA REIS
NATALIA DA COSTA QUADROS

**MANUTENÇÃO E ANÁLISE DE FALHAS PARA CONFIABILIDADE
APLICADO A SISTEMAS HIDRÁULICOS DE GUINDASTE
OFFSHORE TIPO BOX BOOM CRANE**

Dissertação apresentada ao ENGENHARIA
MECÂNICA do Centro Universitário de Volta
Redonda – UniFOA, como requisito obrigatório para
obtenção do título de Engenheiro Mecânico.

Orientador: Prof. Dr. Alexandre Fernandes
Habibe

VOLTA REDONDA

2020

FICHA CATALOGRÁFICA

Bibliotecária: Alice Tação Wagner - CRB 7/RJ 4316





FUNDAÇÃO OSWALDO ARANHA
CENTRO UNIVERSITÁRIO DE VOLTA REDONDA
PRO-REITORIA DE PESQUISA E PÓS-GRADUAÇÃO



ENGENHARIA MECÂNICA

ELTON LEANDRO SILVA
JANAINA CRISTINA DE SOUZA
MARCELO LACERDA REIS
NATALIA DA COSTA QUADROS

**MANUTENÇÃO E ANÁLISE DE FALHAS PARA CONFIABILIDADE APLICADO A
SISTEMAS HIDRÁULICOS DE GUINDASTE OFFSHORE TIPO BOX BOOM
CRANE**

**ESTA DISSERTAÇÃO FOI JULGADA ADEQUADA PARA OBTENÇÃO DO TÍTULO DE
“ENGENHEIRO MECÂNICO”**

**APROVADO EM SUA FORMA FINAL PELO PROGRAMA DE ENGENHARIA
MECÂNICA**

Prof. MSc. Diniz Felix dos Santos
Coordenador

BANCA EXAMINADORA:

Prof. DSc. ALEXANDRE FERNANDES HABIBE

1º Membro da banca/Orientador/UniFOA

Prof. DSc. ALEXANDRE ALVARENGA PALMEIRA

2º Membro da banca/UniFOA

Prof. MSc. RUI AURELIO BARBOSA

3º Membro da banca/UniFOA

Outubro de 2020.

SILVA, E. L.; SOUZA, J. C. DE.; REIS, M. L.; QUADROS, N. DA. C. **MANUTENÇÃO E ANÁLISE DE FALHAS PARA CONFIABILIDADE APLICADO A SISTEMAS HIDRÁULICOS DE GUINDASTE OFFSHORE TIPO BOX BOOM CRANE.** 2020. Dissertação (ENGENHARIA MECÂNICA) – Fundação Oswaldo Aranha, Centro Universitário de Volta Redonda, Volta Redonda, 2020.

RESUMO

No projeto de uma máquina ou equipamento, é significativo o bom funcionamento dos sistemas técnicos ao longo de seu ciclo de vida, e por este fato, a preservação dos elementos e componentes, assim como a implantação de procedimentos preditivos e preventivos de manutenção, devem ser considerados desde a fase de projeto até o fim da vida útil. Por este fato, no contexto produtivo atual, os controles sobre as ocorrências de falhas em sistemas hidráulicos é um fator competitivo importante, já que nenhum sistema técnico é capaz de operar dentro das perfeitas condições permanentemente. O objetivo deste trabalho é desenvolver a confiabilidade dos componentes do sistema hidráulico de guindastes offshore, utilizando manutenção preventiva e preditiva, tendo como fundamento, um incidente real ocorrido pela falta de manutenção preventiva em um guindaste Appleton Marine tipo Box Boom Crane, evidenciando todos os métodos e procedimentos que foram cabíveis para o comissionamento desta máquina.

Palavras-chave: manutenção, guindaste, hidráulica.

SILVA, E. L.; SOUZA, J. C. DE.; REIS, M. L.; QUADROS, N. DA. C. **MAINTENANCE AND FAILURE ANALYSIS FOR RELIABILITY APPLIED TO OFFSHORE CRANE HYDRAULIC SYSTEMS TYPE BOX BOOM.** 2020. Dissertation (Professional Master of Material) - Fundação Oswaldo Aranha, Centro Universitário de Volta Redonda, Volta Redonda, 2020.

ABSTRACT

In the project of a machine or equipment, the proper functioning of technical systems throughout their life cycle is significant, and for this reason, the preservation of elements and components, as well as the implementation of predictive and preventive maintenance procedures, must be considered from the project phase to the useful life end. Due this fact in the current productive context, controls over the occurrence of failures in hydraulic systems are an important competitive factor, since no technical system is capable of operating under perfect conditions permanently. The objective of this work is to develop the reliability of the hydraulic system components of offshore cranes, using preventive and predictive maintenance, having as basis, a real incident occurred due to the lack of preventive maintenance in an Appleton Marine Box Boom Crane, showing all the methods and procedures that were applicable for the commissioning of this machine.

Keywords: maintenance, crane, hydraulics.

LISTA DE FIGURAS

Figura 1. Guindaste sobre pedestal.....	18
Figura 2. Mesa de giro.....	19
Figura 3 - Lança treliçada.....	19
Figura 4. Lança telescópica.....	20
Figura 5. Contra peso.....	21
Figura 6. Guincho de um guindaste offshore.....	22
Figura 7. Moitão para içamento de cargas	23
Figura 8. Inspeção no guincho.	23
Figura 9. Arranjo de um sistema de elevação.	24
Figura 10. Guindaste com lança tipo caixa (Box Boom Crane).	26
Figura 11. Principais referências de guindaste com lança tipo caixa.	27
Figura 12. Guindaste com lança articulada.	28
Figura 13. Guindaste com três seções de lança articulada.	28
Figura 14. Guindaste treliçado e suas principais partes.	29
Figura 15. Simulação de operação offboard com barco de apoio.	30
Figura 16. Animação de uma plataforma tipo FPSO.	32
Figura 17. Esquematisação içamento de carga.....	33
Figura 18. Içamento de carga (Momento de tombamento).....	35
Figura 19. Desenho esquemático de uma bomba hidráulica.....	38
Figura 20. Esquema de circuito hidráulico aberto.....	40
Figura 21. Esquema de um circuito hidráulico fechado.	41
Figura 22. Válvula de contrabalanço.	42
Figura 23. Tela inicial do painel do operador.....	44
Figura 24. Demonstração do conjunto motor diesel/bombas hidráulicas e sistema de arrefecimento.	45
Figura 25. Painel de instrumentos de um guindaste.....	46
Figura 26. Monitor de variáveis do acionamento.	46
Figura 27. Limite superior atuado por alavanca.....	48
Figura 28. Anti-two block” instalado em guindastes offshore.	48
Figura 29. Batentes da Lança.....	49
Figura 30. Painel de controle.....	49
Figura 31. Esquematisação sistema hidráulico	58

Figura 32. IHM.....	59
Figura 33. Pirômetro.....	59
Figura 34. Manômetro no painel da cabine.....	59
Figura 35. Manômetro inserido na linha piloto do freio.....	60
Figura 36. Circuito hidráulico.....	61
Figura 37. Flange do motor com corrosão.....	62
Figura 38. Remoção do bloco hidráulico e desmontagem do motor.....	62
Figura 39. Identificação de quatro pistões quebrados,.....	63
Figura 40. Válvula de contrabalanço.....	64
Figura 41. Conjunto de freio.....	65
Figura 42. Sessão do manual do fabricante demonstrando a lista dos componentes.	65
Figura 43. Circuito guincho auxiliar.....	66
Figura 44. Informações técnicas do motor hidráulico Sunfab.....	67
Figura 45. Temperatura admissível do óleo hidráulico.....	67
Figura 46. Óleo especificado no manual do guindaste.....	68
Figura 47. Alarme de alta temperatura.....	68
Figura 48. Diagrama de viscosidade x temperatura do óleo Shell Tellus S2V.....	69
Figura 49. Óleo recomendado pelo manual.....	69
Figura 50. Influência da alta temperatura no motor hidráulico.....	71
Figura 51. Análise da ruptura do pistão.....	72
Figura 52. Formação do filme lubrificante.....	73
Figura 53. Camada de óleo no alojamento dos pistões.....	74

LISTA DE TABELAS

Tabela 1. Diâmetro x Aplicabilidade.....	24
Tabela 2. Componentes gerais de guindastes offshore.....	31
Tabela 3. Metodologia dos 05 porquês.....	75
Tabela 4. Análise econômica para execução das ações corretivas.....	79
Tabela 5 - Análise de custos para ações de preservação do sistema hidráulico	80

SUMÁRIO

1 INTRODUÇÃO	9
1.1 CONTEXTO.....	9
1.2 OBJETIVO	10
2 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA	11
2.1 MANUTENÇÃO	11
2.1.1 Manutenção corretiva	11
2.1.2 Manutenção preditiva	12
2.1.3 Manutenção preventiva	13
2.1.4 Confiabilidade	13
2.2 DEFINIÇÃO DE MÁQUINAS DE ELEVAÇÃO E TRANSPORTE	14
2.2.1 Principais grupos de máquinas de elevação	15
2.3 DEFINIÇÃO DE GUINDASTES OFFSHORE	15
2.4 ELEMENTOS E COMPONENTES DE GUINDASTES OFFSHORE	17
2.4.1 Pedestal	17
2.4.2 Mesa de Giro	18
2.4.3 Lança	19
2.4.3.1 Lança Trelçada	19
2.4.3.2 Lança telescópica.....	20
2.4.4 Contra Peso	20
2.4.5 Guincho	21
2.4.6 Moitão ou Bola Peso	22
2.4.7 Cabos de aço e acessórios	24

2.5	MODELOS DE GUINDASTES OFFSHORE.....	25
2.5.1	Guindaste com lança tipo caixa.....	26
2.5.2	Guindaste com lança articulada	27
2.5.3	Guindaste com lança treliçada.....	29
2.6	FPSO – PLATAFORMA OFFSHORE FLUTUANTE DE PROCESSO E ARMAZENAGEM.....	30
2.7	PRINCÍPIOS DE PROJETO.....	32
2.7.1	Equilíbrio de esforços	32
2.7.2	Características específicas	33
2.7.2.1	Momento de tombamento	34
2.7.2.2	Carregamento dinâmico	35
2.7.2.3	Intensa movimentação da lança	36
2.7.2.4	Características que influenciam o içamento	36
2.8	FUNCIONAMENTO DO SISTEMA HIDRÁULICO.....	37
2.8.1	Sistema hidráulico.....	37
2.8.1.1	Circuito hidráulico aberto.....	39
2.8.1.2	Circuito hidráulico fechado.....	40
2.8.2	Meios de contaminação do óleo e seus efeitos no sistema hidráulico ..	42
2.8.3	Meios de contaminação do óleo e seus efeitos no sistema hidráulico ..	43
2.8.4	Sistema de comando e controle	45
2.9	SISTEMA DE SEGURANÇA	47
2.9.1	Limite superior e inferior de movimentação de lança	47
2.9.2	Limite superior e inferior de elevação de carga.....	47
2.9.3	Batentes de lança	48

2.9.4 Dispositivo de monitoramento de carga	49
3 METODOLOGIA.....	50
3.1 LEVANTAMENTO DE DADOS	51
3.2 DELIMITAÇÃO DO OBJETO DE TRABALHO	51
3.3 MODELAMENTO FÍSICO	51
3.4 MODELAMENTO MATEMÁTICO.....	52
3.5 ORÇAMENTO.....	52
4 DESENVOLVIMENTO	53
4.1 ANÁLISE DE DADOS.....	53
4.2 VERIFICAÇÕES INICIAIS E DESCRIÇÃO DO SISTEMA DO GUINDASTE ...	55
4.3 DESCRIÇÃO DO INCIDENTE OCORRIDO	57
4.3.1 Avaliação técnica da causa do incidente	66
4.4 AVALIAÇÃO DA FALHA DO EQUIPAMENTO.....	67
4.5 ANÁLISE DA CAUSA RAIZ	74
4.6 AÇÕES CORRETIVAS IMEDIATAS	75
4.7 APLICAÇÃO DOS TIPOS DE MANUTENÇÃO ASSOCIADOS AO SISTEMA HIDRÁULICO.....	76
4.7.1 Medidas de preservação para o sistema hidráulico.....	76
4.8 ORÇAMENTO E ESTUDO ECONÔMICO	77
5 CONCLUSÃO.....	81
6 BIBLIOGRAFIA	82

1 INTRODUÇÃO

1.1 CONTEXTO

No momento atual, na indústria moderna, as máquinas de elevação e transporte são partes que compõem os equipamentos mecânicos. Com uma diversidade extensa de classes e propriedades no que se refere às cargas a serem movidas, existem vários projetos de máquinas de elevação e transporte, tornando possível a execução de diversos processos produtivos.

Assim como em todos os setores industriais, é indispensável que seus equipamentos e máquinas com seus respectivos componentes, linhas de abastecimento e estruturas, sejam devidamente preservados e isso é possível pelas diferentes formas de controle e gerenciamento de métodos de manutenção. Conseqüentemente, para aplicar os métodos de manutenção, são necessários ferramentas, sobressalentes, produtos consumíveis etc., onde, para disponibilizar todo este material para empresa, se faz necessário uma logística eficiente.

O setor de óleo e gás offshore, não é diferente, porém, com suas particularidades. No Brasil existem cerca de 155 plataformas de petróleo onde 69 são de águas profundas, podendo chegar à 360km da costa.

Diferente das indústrias e empresas produtoras de petróleo onshore, nas instalações offshore, a maior parte das movimentações de carga, depende dos guindastes. Estes são responsáveis pelas operações com barcos de apoio, que tem como principal função auxiliar com o manuseio de materiais sobressalentes, químicos, materiais de manutenção da tripulação, assim como a remoção de sucatas e lixos. Além das operações offboard com barcos de apoio, os guindastes também são responsáveis pelas movimentações internas de carga, auxiliando em manutenções e organização das áreas do deck.

Porém, os guindastes não influenciam diretamente nas linhas de produção e por isso, muitas vezes sua manutenção e preservação, são negligenciadas. Devido a isso, este trabalho abordará os diferentes tipos de guindastes encontrados em FPSO's (sigla em inglês para Floating Production Storage and Offloading) no território

nacional, assim como seus componentes, evidenciando suas influências no funcionamento de um guindaste. Também será abordado de forma detalhada, o comissionamento de um guindaste tipo Box Boom Crane ou Straight Boom Crane (guindaste com lança tipo caixa ou caixão), que devido a uma série falhas, chegou-se a um incidente com queda de carga, compreendendo desde a análise de falhas às ações corretivas necessárias e teste.

1.2 OBJETIVO

O objetivo deste trabalho é o estudo de sistemas de gerenciamento e controle de indicadores de falhas e planejamento estratégico de manutenção, visando a eficiência na confiabilidade do sistema hidráulico de guindastes offshore, atentando à diminuição de falhas ocorridas ao longo da vida útil da máquina, sendo exemplificado pelo comissionamento de um guindaste do tipo Box Boom Crane com histórico de uma sucessão de falhas que resultaram em uma queda de carga içada.

2 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

2.1 MANUTENÇÃO

As empresas de modo geral, planejando rendimento, determinam suas metas fundamentais a serem atingidas, sendo assim, no setor de manutenção, que tem como principal objetivo manter a disponibilidade do equipamento, realizar uma determinada atividade com o menor custo possível faz-se primordial. Um bom planejamento das atividades a serem desempenhadas, contribui para atingir um menor custo e qualidade desejada na realização das tarefas de manutenção em máquinas e equipamentos.

A diminuição do custo de manutenção também evidencia a confiabilidade do equipamento. A confiabilidade possibilita o desempenho para uma determinada função sob os requisitos especificados em um certo período, assim como, reduzindo os gastos ocasionados pelas perdas de produção.

Visando esse contexto de redução de custo, existem recursos que auxiliam a identificar estratégias para cumprimento do plano de manutenção. Inicialmente, é válido evidenciar os conceitos básicos sobre manutenção e seus principais objetivos, salientando sua influência na gestão industrial. A NBR 5462, define os diferentes conceitos e estratégias de manutenção, sendo estes: Manutenção Corretiva, Preditiva e Preventiva.

2.1.1 **Manutenção corretiva**

A manutenção corretiva é aplicada em situações onde ocorrem consecutivas ocorrências de falha do equipamento, ou seja, sua finalidade é corrigir de forma emergencial. Esse perfil de manutenção proporciona um alto valor para a empresa, além da interrupção da produção, pode ocorrer uma redução da performance do equipamento, sob outra perspectiva, a redução possibilita uma manutenção corretiva planejada, mediante ao controle e planejamento estratégico, reduzem as perdas de produção.

Vale salientar que, o valor de sobressalentes para reposição imediata e a aquisição de mão de obra em carácter emergencial favorecem para o alto custo oriundo da manutenção corretiva.

Para evitar a manutenção corretiva, seja ela planejada ou não, é fundamental realizar o acompanhamento dos equipamentos e desenvolver métodos, padrões de falhas e procedimentos de manutenção.

2.1.2 Manutenção preditiva

A NBR 5462 define Manutenção Preditiva como uma possibilidade de garantir a qualidade na atividade desejada, fundamentado em aplicações sistemáticas de técnicas e análises.

A manutenção preditiva visa analisar e detectar as condições do equipamento, identificando as anomalias em seu estágio inicial, onde a mesma ainda não apresenta risco para o equipamento, sendo assim, ao identificar a falha torna-se possível planejar e programar as ações necessárias para corrigir.

Os custos e a duração das atividades desprendidas por meio da manutenção preditiva, são integralmente inferiores comparados aos outros conceitos de manutenção. Por outro lado, é possível verificar um alto investimento, uma vez que os equipamentos necessitam de análises com tecnologias avançadas, para resultados mais precisos e mão de obra especializada capaz de executar as ações.

Denominada também como manutenção baseada no estado do equipamento, é fundamentada na capacidade de estabelecer as condições futuras do equipamento ou sistema, através de amostras coletadas em um determinado período por uma instrumentação específica analisando as variáveis do equipamento. A coleta dos dados é realizada por meio de aferições em campo, por exemplo: medição de temperatura, análise vibratória, ultrassom, entre outros que permitem um diagnóstico preciso.

Este tipo de manutenção propõe uma previsibilidade da deterioração do equipamento, realizando comparações do monitoramento atual com parâmetros de projeto.

2.1.3 Manutenção preventiva

De acordo com a norma, a manutenção preventiva é estipulada pela atuação realizada em intervalos predeterminados, podendo também atuar de acordo com as variações prescritas, a fim de reduzir a possibilidade de ocorrência de falha ou deterioração do equipamento.

Elucidando o assunto, as intervenções necessárias de manutenção no equipamento executadas de forma prévia, tem como propósito reduzir as anomalias ao decorrer do processo de produção. Tendo como exemplo de intervenção: Limpeza, regulagem, substituição de elementos em fim de vida útil, lubrificação, etc.

O princípio da manutenção preventiva é enaltecer e garantir os níveis de disponibilidade e confiabilidade do equipamento, para que isso ocorra é mandatório que exista um plano de manutenção, sendo este, relativamente um alto custo para a empresa, considerando um quadro maior de empregados e com suas competências técnicas diferenciada, manter sobressalentes em estoque para atender as atividades do plano, esboçar as horas de parada do equipamento e outras atividades.

O período utilizado em manutenções preventivas é menor se comparado com a manutenção corretiva, isso se torna possível através do controle do tempo das atividades preventivas.

2.1.4 Confiabilidade

A Confiabilidade é definida através da probabilidade de uma estipulada unidade, elemento, equipamento, máquina ou sistema, desenvolver a sua atribuição representada pelo projeto, de acordo com as variações de operações especificadas. Vale ressaltar que a confiabilidade está sempre vinculada a um intervalo de tempo. A confiabilidade é um cálculo probabilístico que necessita de um histórico de informações sobre as falhas de um determinado equipamento, iniciando pelo MTBF. O MTBF é o Tempo Médio entre Falhas dos Equipamentos.

$$MTBF = \frac{\Sigma \text{ horas em bom funcionamento}}{\Sigma \text{ paradas para manutenção corretiva}} \quad (1)$$

Taxa de falha dos equipamentos: (λ) Calculada através do inverso do MTBF.

$$\lambda (t) = \frac{1}{MTBF} \quad (2)$$

Fórmula para o cálculo de confiabilidade:

$$R (t) = e^{-\lambda.t} \quad (3)$$

O cálculo apresentado é a probabilidade de um único equipamento. Para realizar o cálculo de confiabilidade de uma linha de produção é necessário distinguir se é um sistema em série ou paralelo.

Sistemas em série, a confiabilidade tem um valor mais alto, pelo fato de existirem componentes que vão ser utilizados de back-up caso ocorra alguma falha, o processo de produção não será interrompido. Os cálculos para os distintos sistemas são realizados por cada equipamento e depois somado ou multiplicado como um todo.

2.2 DEFINIÇÃO DE MÁQUINAS DE ELEVAÇÃO E TRANSPORTE

As máquinas de elevação e transporte são utilizadas para deslocar cargas em uma distância relativamente curta, se for comparada com transportes de cargas que utilizam ferrovias e rodovias. Indústrias, canteiros de obras, grandes fábricas, montadoras, portos e plataformas são alguns dos grandes locais de trabalho onde encontramos essas máquinas, que destinam-se muitas vezes aos tipos de movimentação vertical e horizontal.

Geralmente fazem movimentos verticais (para cima e para baixo), horizontais (de um lado para o outro, para frente para trás), porém, existem máquinas que podem deslocar-se radialmente, girar (nesse caso é necessário que verifique qual será o melhor lado para o giro da lança), entre outros.

As características operacionais de uma máquina de elevação e transporte devem ser conhecidas, assim como sua aplicação prática e os métodos de seus projetos, uma vez que cada processo de produção possa exigir um dos tipos de máquinas, para assim obter uma operação de sucesso.

2.2.1 Principais grupos de máquinas de elevação

Cada um dos principais grupos de máquinas de elevação e transporte é definido resumidamente abaixo.

- Equipamento de elevação: É o conjunto de máquinas com instrumentos de elevação, com a função de deslocar cargas, especialmente em lotes.
- Equipamento transportador: É o conjunto de máquinas que pode não conter instrumentos de elevação, sendo assim, a carga é movida num fluxo contínuo.

Esses grupos de máquinas de elevação e transporte podem ter suas cargas consideradas como granel ou unitárias, porém, elas destinam-se principalmente ao tipo de cargas unitárias (vigas, materiais de construção, estruturas de aço e de grande porte, parte de equipamentos, máquinas, entre outros).

Os guindastes, são um tipo de máquina de elevação que possui uma grande mobilidade e a maioria deles é do tipo estacionária ou móvel. Eles são confeccionados de acordo com o seu modelo e sua aplicação, sendo assim, as operações semelhantes são constantemente efetuadas por vários aparelhos e métodos. Muitos deles possuem mecanismos de elevação projetados para desempenharem movimentos controlados, onde mantém-se a carga elevada suspensa e parada, o operador orienta-se do próximo passo e a transporta para seu destino.

2.3 DEFINIÇÃO DE GUINDASTES OFFSHORE

Guindastes offshore são equipamentos instalados em unidades marítimas flutuantes responsáveis por suas principais operações de movimentação de cargas. Sua estabilidade ao tombamento se diferencia dos guindastes terrestres, com uma geometria particular que proporciona maior robustez eliminando o problema de recalque na sustentação de guindastes terrestres.

Comumente guindastes em unidades FPSO, são instalados sobre pedestal, este que é uma estrutura de união com o casco do navio, que tem como função, suportar todo o peso do guindaste. São comumente projetados e fabricados conforme a norma americana API 2C ou a norma europeia EN 13852-1, onde ambas são amplamente adotadas mundialmente, porém variando quanto à robustez da estrutura e dispositivos eletrônicos de segurança exigidos.

Por serem equipamentos aplicados em um meio marítimo, é importante levar em consideração no momento do projeto, o efeito das ondas nas operações dos guindastes. Por isso, a altura significativa (H_s) de onda é o parâmetro utilizado em projeto, sem levar em consideração o período. Assim, a Carga Bruta Tabelada (CBT) é estabelecida e fundamentada de acordo com o H_s , caracterizando desta forma, o raio de operação dos guindastes.

Prevendo a influência deste coeficiente em projetos, normas estabelecem uma aproximação dos fatores de amplificação dinâmica (FAD) para cada tipo de plataforma, utilizando limites das variações de períodos entre ondas, adotando coeficientes de segurança elevados na determinação do FAD.

Em se tratando de operações de içamento de pessoas, deve-se levar em consideração o período das ondas pois a não observação deste fator pode resultar em uma operação de risco. O guindaste é projetado para atender um determinado H_s , porém os movimentos ocasionados pelo balanço das ondas, assim como a incidência de fortes rajadas de ventos, podem ocasionar acidentes como coque contra estrutura. Por este fato, determina-se limites para operações de acordo com H_s e velocidade do vento, visando mitigar possíveis acidentes nas movimentações tanto de carga como de pessoas.

Para o içamento de pessoas, o guindaste deve conter alguns dispositivos de segurança como por exemplo, freio mecânico auxiliar no guincho, responsável pelo travamento do guincho em caso de acidente, impossibilitando a queda livre da carga.

De forma geral, as capacidades de carga dos guindastes usuais variam de 100 kN à 3000 kN, onde são mais comuns entre 150 kN à 500 kN, em condições favoráveis de H_s e raio de operação. A caracterização da capacidade de carga do guindaste a ser instalado no FPSO é fundamentada nas cargas rotineiras a serem içadas, substituição de equipamentos estratégicos entre outros. O dimensionamento das

lanças varia de 20 metros à 70 metros, e são determinados em função da posição das áreas de carga e descarga (lay down areas), da geometria da planta de processo, tipos de operações marítimas necessárias, podendo o raio de operação chegar a 50 metros.

2.4 ELEMENTOS E COMPONENTES DE GUINDASTES OFFSHORE

Conhecer os componentes e elementos de guindastes offshore é fundamental para a compreensão e elaboração adequada de relatos sobre irregularidades detectadas nestes equipamentos, para formulação de planos de controle, preservação e manutenção.

2.4.1 Pedestal

O pedestal faz parte da estrutura primária do guindaste, responsável por suportar toda a mesa de giro. No momento de sua fabricação, são utilizados módulos cilíndricos fixados por solda, podendo assim, manter o diâmetro constante ao longo de seu comprimento. Devido à exposição de compressão, tração, contraventamento etc., suas juntas soldadas devem ser inspecionadas anualmente, e em caso de identificação de descontinuidades, é mandatório que a solda seja reparada e em seguida, seja performado teste de carga e novo teste não destrutivo. Vale ressaltar que, quando o pedestal é fixado no costado, o guindaste sofre maior influência do balanço das ondas, em contrapartida, o pedestal fixado no Deck, requer uma maior ocupação, o que não é tão interessante, visto que, em navios o espaço é sempre restrito.

Figura 1. Guindaste sobre pedestal.



Fonte: <https://docplayer.com.br/106152820-Curso-para-operador-de-guindaste-offshore-nivel-2-curso-para-operador-de-guindaste-offshore-nivel-2.html>

2.4.2 Mesa de Giro

A mesa de giro habitualmente fica localizada abaixo da cabine do operador, constituindo a estrutura do guindaste, sua função é permitir os movimentos horizontais como também verticais. A mesa é composta por uma engrenagem sobre um mancal de plataforma giratória, sua fixação no guindaste é efetuada por roletes, que se apoiam sob a mesa sendo mantidos unidos por suportes.

É comum a ocorrência de deformações causadas pelo apoio dos roletes tanto na parte superior como inferior da mesa, devido aos grandes esforços dinâmicos transmitidos a este componente, sendo assim, é importante realizar a inspeção por END (ensaios não destrutivos), uma vez que tais componentes são fundidos e é comum verificar-se a presença de poros ou trincas oriundas do processo de fabricação.

Figura 2. Mesa de giro.



Fonte: O autor (2018).

2.4.3 Lança

2.4.3.1 Lança Treliçada

A lança treliçada é um componente fixado por longarinas de aço de grandes proporções, entrelaçadas. Denotam uma extensa capacidade de carga por possuir uma estrutura mais leve. Embora apresente um maior comprimento, demandam um tempo e custo maior na montagem, desmontagem, transporte e para realizar alterações em sua extensão. Este é um componente muito sujeito a danos oriundos de operação, como por exemplo: corrosão e coques com estruturas da plataforma.

Figura 3 - Lança treliçada.



Fonte: Internet 2020. (<https://www.guiasobratema.org.br/Equipamento/Index/344979>).

2.4.3.2 Lança telescópica

As lanças telescópicas são constituídas por sistemas que possibilitam avançar e recuar a lança até o comprimento ou altura almejada, em geral possuem resistência maior a esforços que atuam transversalmente ao plano da lança, se comparada a lança treliçada, porém possui maior agilidade na montagem, desmontagem e transporte. É necessário averiguar quanto a ocorrência de corrosão também deve estar presente, principalmente devido a possibilidade de acúmulo de água no interior da lança. Atuadas por cilindros hidráulicos, é relevante analisar a região de fixação dos mesmos na estrutura.

Figura 4. Lança telescópica.



Fonte: O autor (2018).

2.4.4 Contra Peso

Com o objetivo de aumentar a capacidade de estabilidade da máquina (tombamento), o contra peso é instalado como um peso complementar, quanto maior a sua dimensão e/ou a distância do centro de giro da máquina, sua resistência ao tombamento será mais efetiva. A inspeção realizada por END destina-se a identificação de trincas ou monitoração dimensional de falhas anteriormente constatadas.

Figura 5. Contra peso.



Fonte: Internet 2020. (<https://civilizacaoengenhaira.wordpress.com/2012/12/22/como-funcionam-os-quindastes-torre/>).

2.4.5 Guincho

O guincho é um elemento motorizado, sendo na maioria das vezes um motor hidráulico, é fixo no trole no qual desempenha a força mandatória para subir e descer a carga, por intermédio do maquinário de elevação que é constituído por: motor, freio do motor, caixa de ganchos, mancais, polias, estrutura e gancho.

O cabo de aço percorre no dromo, também conhecido como tambor, e a carga mantém-se suspensa através do feio eletro-magnético, denominado dynamic break, que permanece em funcionamento sem a presença de energia, ou seja, mesmo com o guindaste fora de operação a carga permanecerá elevada.

Os tambores que têm menores diâmetros sofrem grandes esforços que são transferidos aos cabos de aços, os equipamentos offshore possuem grandes tambores devido a intensa movimentação prevista.

Figura 6. Guincho de um guindaste offshore.



Fonte: O autor (2018).

2.4.6 Moitão ou Bola Peso

O moitão é um conjunto de roldanas fixadas através de um cabo de aço, associadas por um eixo onde o gancho é estabilizado. O guincho tem a função de girar 360°, porém caso a carga não permita esse movimento, é necessário fixar um pino antigiro, de outro modo, caso a carga gire, o cabo de aço acompanha o movimento. Quando maior a dimensão do moitão, acrescenta-se também o número de roldana.

O moitão secundário, também denominado bola-peso, é constituído por um globo metálico que funciona como uma força peso na linha auxiliar, capaz de gerar tensão no cabo.

É necessário que o moitão e a bola-peso possuam massa suficiente para garantir o enrolamento adequado dos cabos nos tambores.

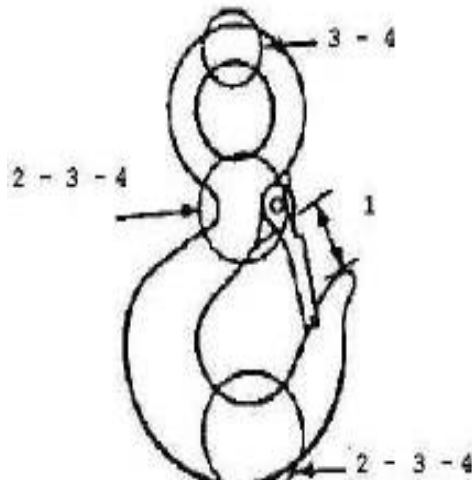
Figura 7. Moitão para içamento de cargas



Fonte: (<https://www.fuertesind.com.br/imagens/informacoes/moitao-icamento-cargas-01.jpg>).

A integridade do gancho deve ser avaliada pois implica em sua inutilização. A inspeção é realizada nos pontos enumerados conforme figura 8, sendo estes: 1 – abertura; 2 – trincas; 3 – desgastes e 4 – deformação.

Figura 8. Inspeção no guincho.



Fonte: <https://www.siva.com.br/produtos/acessorios/comuns/gancho-giratorio-forjado-com-trava-de-seguranca>.

2.4.7 Cabos de aço e acessórios

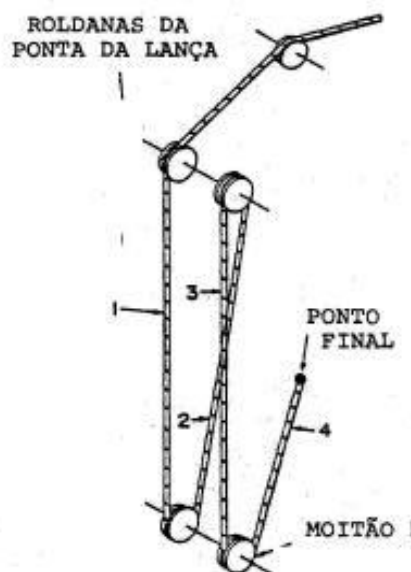
São empregados em diferentes projetos o seu diâmetro está relacionado na sua aplicabilidade, são os responsáveis pela sustentação da carga ou lança do guindaste.

Tabela 1. Diâmetro x Aplicabilidade

Sistema	Característica contra indicada	Característica recomendada	Fator de segurança	Número de pormadas
Elevação principal de carga	Nenhuma	Não rotativo	Mínimo 5	De 2 a 8 (mais comum 4)
Elevação auxiliar de carga	Nenhuma	-		1
Elevação de lança	Alma de fibra ou não rotativo	flexibilidade	Mínimo 4	Em geral > 6
Sustentação de lança – pendentes	Nenhuma	Em geral ,utilizados cabos convencionais (p.ex: 6x41)		Utilizado em pares ,função do comp. de lança

Fonte: O Autor (2020)

Figura 9. Arranjo de um sistema de elevação.



Fonte: <https://www.todoestudo.com.br/fisica/polias>

Na figura 9, podemos ver um arranjo característico de um sistema de elevação de carga principal. A fixação de uma extremidade do cabo de aço é denominada ancoragem, ou seja, o cabo de carga principal possui uma ancoragem no tambor e outra na lança.

2.5 MODELOS DE GUINDASTES OFFSHORE

A logística em todo o setor industrial, seja onshore ou offshore, além do controle de transporte e armazenamento de materiais, compõe um dos elementos principais na gestão empresarial. Porém, podemos dizer que há uma grande diferença entre esses dois nichos de companhias, sendo esta, o número de meios em que se ocorrem a deslocação de produtos. Em empresas localizadas em terra, o transporte pode ser realizado por diferentes meios, como rodoviário, ferroviário, aéreo e fluvial. Por outro lado, em se tratando de plataformas offshore de produção e de perfuração, esses meios se restringem ao hidroviário, exceto em casos especiais de pequenos materiais que são transportados em voos de condução de pessoas.

Em se tratando dos diferentes tipos de plataformas offshore, encontram-se variados tipos de guindastes, este que é o principal meio de movimentação de cargas, seja externa entre operações com embarcações ou internas com deslocamento de materiais no deck.

Os principais tipos de guindastes instalados nas unidades brasileiras são guindaste de lança tipo caixa ou caixão (Straight Boom Crane ou Box Boom Crane), guindaste com lança articulada (Knucle Boom Crane), guindaste de lança de treliça (Lattice Boom Pedestal Crane). Em menor número e em situações especiais, também são empregados guindastes com lança telescópica e ainda guindastes com fins específicos como guindastes de manuseio de tubos e risers (pipe handling and riser handling cranes).

2.5.1 Guindaste com lança tipo caixa

Os guindastes de lança tipo caixa (Straight Boom Crane ou Box Boom Crane), tem como característica, a lança com seção transversal retangular, sendo comumente variável ao longo de seu comprimento, reduzindo altura e largura no sentido da ponta da lança. A movimentação de inclinação da lança se dá através de cilindro hidráulico, podendo ser apenas um ou dois. Desta forma, com esta configuração citada, durante as operações de içamento, a lança é predominantemente submetida à flexo-compressão podendo ser combinado com torção.

Figura 10. Guindaste com lança tipo caixa (Box Boom Crane).



Fonte: O autor (2020).

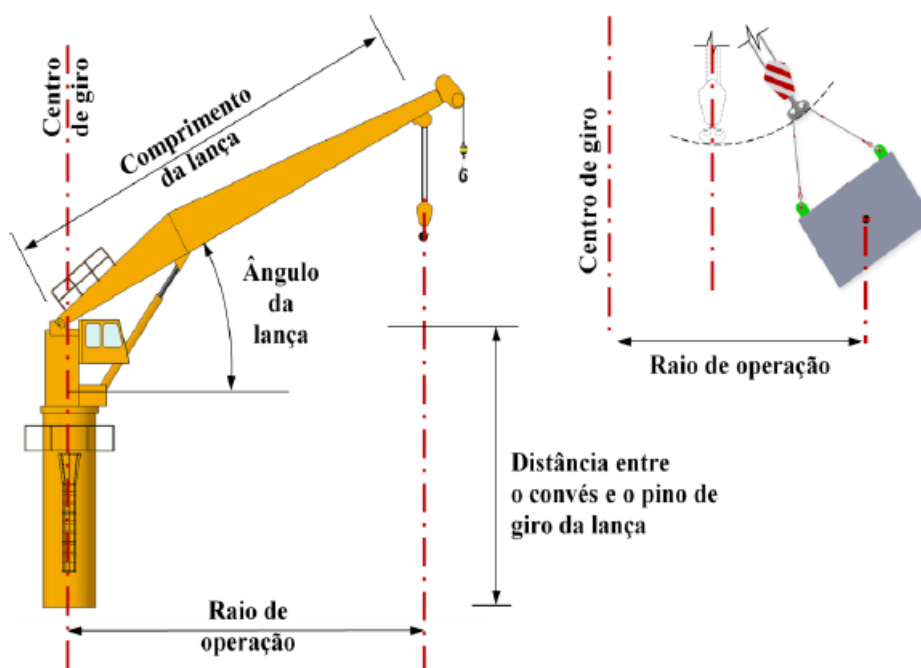
Este guindaste em relação aos tipos mencionados anteriormente, é o mais flexível, possuindo maiores períodos naturais que os guindastes com lança articulada e treliçada, levando em consideração que sejam dimensionados para um mesmo porte de capacidade de carga.

Suas principais vantagens são a facilidade de manutenção da estrutura da lança, bom manuseio de cargas altas, controle preciso do movimento da lança devido aos cilindros hidráulicos, menos partes móveis facilitando a movimentação, menos danos no caso de colisão de cargas descontroladas e pode-se aplicar carga em

qualquer ponto da lança. Como desvantagem pode-se citar maior peso da estrutura comparado com outros de mesmo porte (NOV, 2011; RONCETTI, 2011).

A Figura 11 evidencia um guindaste com lança tipo caixa montado sobre pedestal, indicando suas principais referências.

Figura 11. Principais referências de guindaste com lança tipo caixa.



Fonte: (Roncetti, 2011).

2.5.2 Guindaste com lança articulada

Os guindastes com lança articulada (Knuckle Boom Crane), evidenciado na Figura 13 assim como os tipo caixa, possuem seção transversal retangular em suas lanças principal e auxiliar (ou também chamada Jib), já que em guindastes articulados há duas seções de lança, e em casos especiais, pode-se encontrar até três seções de lança, como pode ser observado na Figura 12.

A movimentação de inclinação das lanças se dá através de cilindros hidráulicos independentes para cada seção, podendo ser um conjunto de dois cilindros por segmento, ou uma combinação de dois cilindros para lança principal e um para o Jib, ou somente um cilindro para cada seção, sendo o ajuste do raio de operação feito com a combinação de inclinações diferentes de cada parte, podendo ter raios iguais para inclinações e comprimentos de lança diferentes.

Durante as movimentações de carga, as lanças podem estar submetidas à flexo-compressão ou flexo-tração, combinadas com torção dependendo da geometria.

Figura 12. Guindaste com lança articulada.



Fonte: O autor (2020).

Figura 13. Guindaste com três seções de lança articulada.

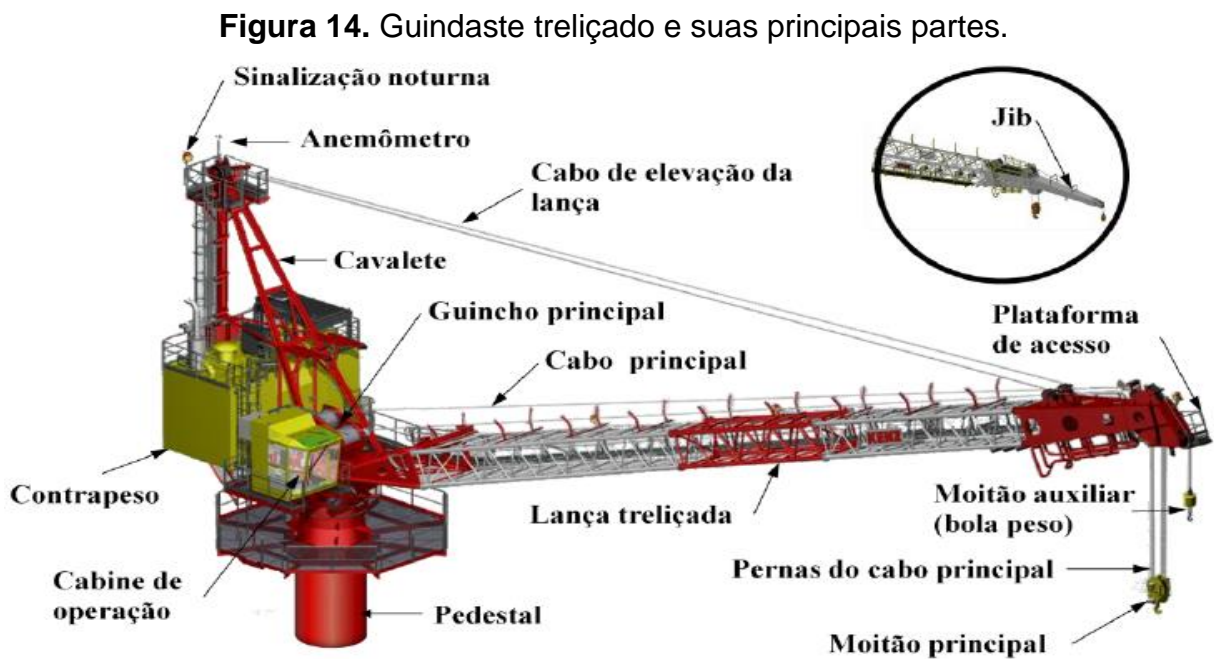


Fonte: O autor (2020).

Suas principais vantagens são que a carga pode ser posicionada próxima à ponta da lança auxiliar, o que reduz o efeito de pêndulo, menor espaço necessário para as operações, menor comprimento de cabo de aço necessário para raios curtos o que também diminui o efeito de pêndulo, bem como maior flexibilidade de acesso a áreas restritas por obstáculos. Como principais desvantagens, observa-se que há uma maior necessidade de manutenção por ter mais partes móveis, maior dificuldade para cargas altas ou raios pequenos (NOV, 2011; RONCETTI, 2011).

2.5.3 Guindaste com lança treliçada

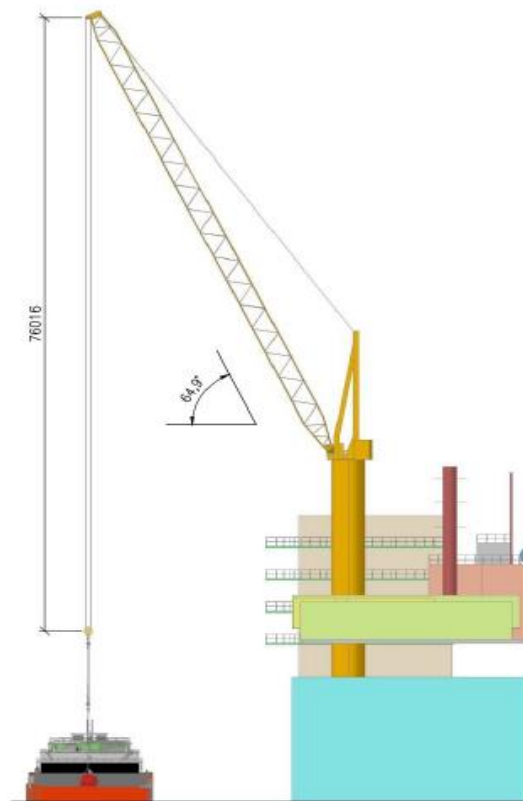
Os guindastes com lança treliçada ou simplesmente guindaste treliçado (Lattice Boom Crane e Kingpost Crane), possui lança formada por perfis lineares, soldados, formando uma treliça espacial, sustentada por cabos de aço. Os movimentos de inclinação da lança assim como do raio de operação, é feito através de cabos de aço e polias ligados aos pendentos. A figura 14 demonstra as principais partes de um guindaste treliçado, mostrando também uma extensão opcional da lança, denominada 'Jib'.



Fonte: (RONCETTI, 2011).

Os guindastes treliçados apresentam desvantagem em operações que necessitam de raio curto, pois devido ao comprimento fixo da lança, é necessário mais cabo para realizar os içamentos, tanto onboard próximos ao pedestal, como em operações offboard com barcos de apoio. A Figura 15 exemplifica uma situação real de operação offboard, utilizando um guindaste treliçado com lança de 60 metros de comprimento e raio de operação de 28 metros, onde foi necessário pagar cabo até o comprimento de 76 metros mais o comprimento das lingas de cabo de aço de amarração da carga, totalizando 93 metros.

Figura 15. Simulação de operação offboard com barco de apoio.



Fonte: (RONCETTI, 2011).

2.6 FPSO – PLATAFORMA OFFSHORE FLUTUANTE DE PROCESSO E ARMAZENAGEM

Para melhor entendimento deste projeto, serão descritos os conceitos básicos de uma unidade estacionária de produção (UEP), do tipo FPSO. Ao tratar-se de plataformas tipo FPSO, precisa-se ter ciência de que sua aplicabilidade faz

referência à produção, processamento e armazenamento, tal como a transferência de petróleo ou gás para o denominado navio aliviador, ou oleoduto. A tabela 1 demonstra os principais componentes de uma plataforma tipo FPSO.

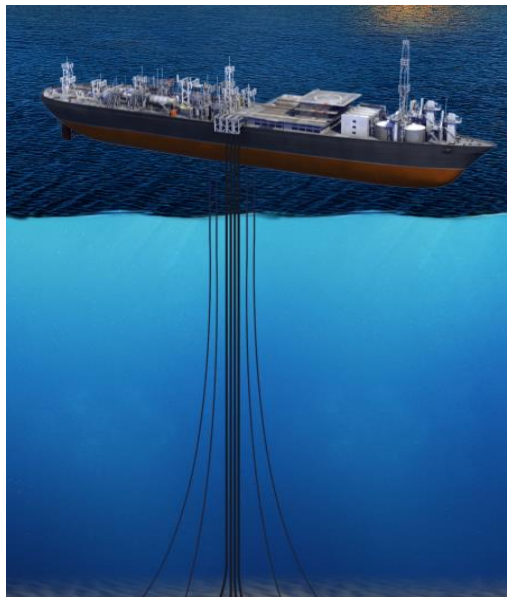
Tabela 2. Componentes gerais de guindastes offshore.

Componente	Descrição
Casco (hull)	Casco da plataforma
Topsides	Plantas de processo, acomodações, instalações de maquinário e heliponto
Sistema de ancoragem	Os tipos mais utilizados são: ancoragem em catenária; taut-leg e vertical
Sistema de transferência (offloading)	Transferência de óleo de um navio para outro
Linhas de duto	Dutos que irão compor o Sistema de Produção/Escoamento

Fonte: O autor (2020)

Em sua grande maioria, estas plataformas apresentam o formato de embarcações já existentes, ou seja, cascos de navios tanques que já atingiram o final de sua vida útil podem e são utilizados para essas unidades em questão, sendo de maior convencionalidade os navios petroleiros tipo “very large crude carriers” ou VLCC, cuja capacidade de carga pode ultrapassar 200 mil toneladas de porte bruto (TPB) ou os denominados “ultra large crude carriers” (ULCC), que apresentam, por sua vez, capacidades acima de 300 mil TPB. A figura X demonstra a esquematização de uma plataforma tipo FPSO.

Figura 16. Animação de uma plataforma tipo FPSO.



Fonte: Petrobras S.A. 2020 (<https://petrobras.com.br/infograficos/tipos-de-plataformas/desktop/index.html#>).

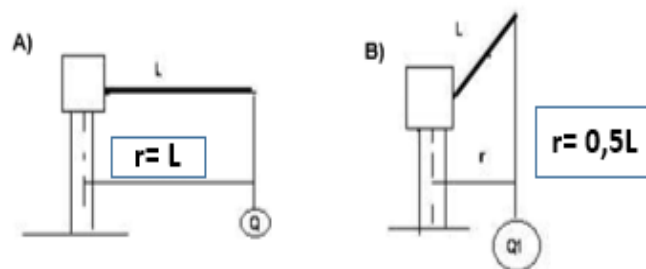
2.7 PRINCÍPIOS DE PROJETO

2.7.1 Equilíbrio de esforços

O princípio básico contemplado no projeto do guindaste é o equilíbrio do momento (produto da força x distância). Para uma carga suspensa pela lança de um guindaste torna-se necessário um esforço equivalente oposto do momento gerado pela carga, conhecido como efeito contrapeso, o peso dos componentes da lança, o chassi, o contrapeso do guindaste e toda estrutura montada sobre o mesmo contribuem para este fenômeno. Logo, o valor da resultante da soma desses momentos oriundos de um tombamento do equipamento será nulo através da reação imposta pela conexão da mesa ou rolamento de giro.

A figura 17 demonstra duas situações de içamento de carga, o comprimento da lança é representado pela letra L. Na opção A) O içamento é efetuado em uma distância próxima à lança, com a lança aproximadamente com a sua distância máxima. Na opção B) O içamento é efetuado à uma distância de 0,5L e com um ângulo de elevação.

Figura 17. Esquemática de içamento de carga.



Fonte: O Autor (2020)

Conclui-se que o içamento das cargas maiores, devem ser realizados pela opção B, pois o braço de alavanca é menor do que na opção A.

Nota-se que tal analogia é válida também para condições em que o comprimento total da lança é reduzido, pela remoção de seções. Neste caso também devemos ter uma maior capacidade de içamento para um mesmo ângulo de lança, pois o braço de alavanca é reduzido. O momento de tombamento pode fazer com que um equipamento onshore, como um guindaste sobre esteiras ou rodas, eleve sua traseira até o tombamento, ou, derrubar uma unidade offshore do pedestal.

Fatores complementares contribuem para determinação da capacidade de içamento do guindaste, tanto a nível estrutural, mas especificamente atrelado a resistência mecânica de componentes, como relacionado a potência disponível, esta por sua vez é função da forma de acionamento a ser utilizada. Tais fatores serão abordados quando tratarmos o assunto tabelas de cargas.

2.7.2 Características específicas

Para que seja possível garantir características essenciais como a segurança e adequação para cada caso específico nos projetos de guindastes, seja para sistemas on ou offshore, há a necessidade de percepção no que se refere às diferentes condições que são impostas para seus mais diversos tipos de operações. Neste contexto, serão apresentadas as variáveis mais críticas para uma correta aplicabilidade dos próprios guindastes.

2.7.2.1 Momento de tombamento

Ao tratar-se de unidades onshore, o contrapeso possui fundamental importância, visto que o mesmo será responsável por garantir o equilíbrio em suas mais diversas operações, vindo a determinar a respectiva capacidade permissível do equipamento em questão. Sendo assim, mesmo considerando que o momento resultante de todos os esforços que atuam no equipamento como um todo (peso próprio, componentes e carga elevada), possa vir a ser suportado pelos próprios elementos que constituem a mesa ou rolamento de giro, tal massa do contra-peso poderá resultar no tombamento da máquina, em função da mesma não estar fixada no solo. Todavia, o uso do contrapeso nos guindastes onshore é benéfico, pois torna-se possível provir alterações no sistema, tal como o aumento de alcance da lança ao mesmo tempo em que não se compromete a capacidade de elevação de carga, sendo necessário apenas a adição de massa no próprio contrapeso.

Estes sistemas são facilitados de certa forma em função da viabilidade de locomoção do próprio equipamento, de modo a permitir que um outro guindaste posicione de maneira adequada o acréscimo desejado no contrapeso. Em virtude do prescrito, pode-se afirmar que as unidades offshore que utilizam contrapeso são equipamentos mais antigos, oriundos das adaptações dos próprios guindastes onshore, pois a presença destes itens não é prática, em função das plataformas, nos gerais, não possuírem alcances suficientes para efetuar as cabíveis operações de montagem ou remoção dos contrapesos em um outro guindaste, vindo a aumentar de modo significativo o peso total do equipamento, modificando então o projeto de fixação do guindaste no convés. Portanto, nestas operações offshore, a responsabilidade de manter o equipamento firme no pedestal é destinada à mesa ou ao rolamento de giro.

Figura 18. Içamento de carga (Momento de tombamento).



Fonte: (<https://www.itacorda.com.br/blog/icamento-de-carga-e-os-cuidados-necessarios>).

2.7.2.2 Carregamento dinâmico

Ao tratar-se de operações sobre o mar, um item a ser considerado é a velocidade relativa entre o gancho presente no sistema de elevação de carga e a própria carga posicionada no convés de embarcação, pois tal velocidade é responsável por transferir esforços elevados em virtude do tensionamento brusco do cabo de aço ao guindaste.

Este fenômeno é caracterizado como carregamento dinâmico, podendo tal choque ocasionar em uma aplicação dos esforços superiores ao peso da própria carga içada. Logo, as unidades offshore, para que sejam adaptadas para estas ocasiões específicas, possuem reforços estruturais nas fixações de tambores e projetos dos cavaletes, além de possuírem componentes de resistência mecânica superior aos correspondentes equipamentos de uso onshore. De mesmo modo, os projetos de guindastes offshore necessitam de fatores de segurança diferenciados, de modo a se adequarem ao fenômeno relatado.

2.7.2.3 Intensa movimentação da lança

Em conformidade com o que fora citado, o equipamento offshore é caracterizado pela fixação em pedestal, ocasionando então em uma intensa movimentação de lança para que se posicione ou eleve determinada carga situada em pontos distintos da plataforma. Um ponto a ser analisado de modo mais abrangente é o dimensionamento do tambor destinado à acomodação do cabo de aço destes guindastes, a fim de se evitar o desgaste prematuro, tais como danos resultantes do constante enrolamento e desenrolamento dos cabos no tambor. De uma maneira geral, tais tambores aplicados às unidades offshore, necessitam de maior diâmetro quando comparados aos instalados em unidades onshore, fato este que corrobora na diminuição dos esforços transmitidos ao cabo de aço.

2.7.2.4 Características que influenciam o içamento

O FPSO pode ser um navio adaptado, transformado em uma plataforma de exploração (produção) e armazenamento (óleo e/ou gás natural). E por isso, algumas implicações podem interferir nas operações de içamento, e assim, é necessário que estes fatores sejam ressaltados no momento do projeto, planejamento e execução da montagem final. Estas condições que interferem nas movimentações de carga, são:

- Os guindastes comumente são instalados nos bordos dos navios, objetivando o suporte sobre as cavernas e vaus, região está, onde pode-se adicionar reforços estruturais sem interferência nos tanques de armazenamento. Para caracterização de elementos estruturais de navios, recomenda-se FONSECA, 1989. Montar os guindastes na área citada acima, favorece as operações de içamento offboard (fora de bordo), como em operações com navios de suprimentos e sobressalentes, possibilitando uma distância segura entre as embarcações e um menor raio de operação;
- Guindastes montados nos bordos são os mais solicitados, tendo como consequência, ampliação dos esforços dinâmicos durante as operações, devido a maior intensidade do movimento de balanço do navio (roll), em comparação a outros tipos de unidades flutuantes como TLP (tension leg platform) ou semissubmersíveis (FALTINSEN, 1993);

- Um dos fatores que exerce grande influência nas operações de movimentação de carga, é o sistema de posicionamento do FPSO, considerando seu sistema de ancoragem, onde de acordo com as características climáticas da região em a planta está inserida, os guindastes podem ficar expostos à fortes rajadas de vento e balanço do mar;
- Em FPSO com turrent há possibilidade de realizar operação de pull back, alterando o aproamento da unidade em relação à condição ambiental governante, atenuando os movimentos da unidade. Em FPSO com ancoragem em quadro esta operação permite uma mudança limitada do aproamento.

2.8 FUNCIONAMENTO DO SISTEMA HIDRÁULICO

Assim como todo o cenário industrial mundial, o setor de óleo e gás, vem se desenvolvendo e implantando equipamentos de última geração em suas plantas, e com os guindastes offshore não é diferente. Esta evolução pode ser observada desde diversos dispositivos eletrônicos de controle até os sistemas de acionamento. Por isso, apresentaremos alguns sistemas de acionamento que constituem a maior parte dos modelos de guindastes offshore.

2.8.1 Sistema hidráulico

Adotado atualmente nos projetos de guindastes offshore, este tipo de acionamento possui menor quantidade de componentes mecânicos acionadores. Em uma analogia entre esses dois tipos acionamento, às engrenagens agora são dispostas em caixas redutoras, aplicadas na união entre acionador principal e bombas, nos tambores dos guinchos e nos pinhões dos sistemas de giro do guindaste. Além dessas mudanças nos arranjos das engrenagens, agora, os responsáveis pela disponibilização de força a todos os sistemas passa a ser o circuito hidráulico.

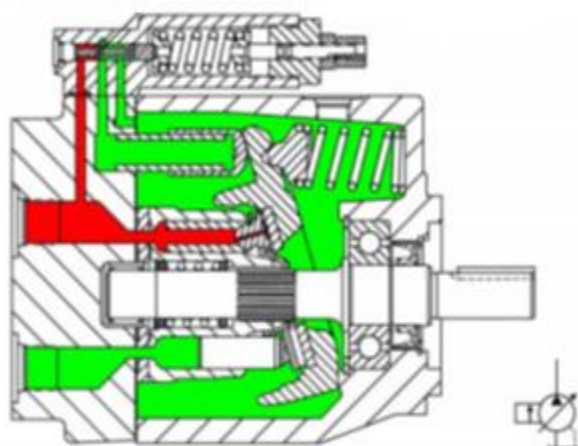
Em projeto, os arranjos do acionamento hidráulico podem ser de formas variadas de acordo com as necessidades do cliente, porém, este sistema se resume aos seguintes componentes com suas respectivas funções.

1. **Motor diesel e/ou motor elétrico:** este que é o acionador principal, responsável por transformar energia térmica ou elétrica em energia mecânica. Sua utilização varia de acordo com cada projeto, podendo ser aplicados em um conjunto ou de forma unitária. Os arranjos mais comuns são motor diesel e motor elétrico, dois motores elétricos, apenas um motor diesel ou apenas um motor elétrico. Em alguns casos, o guindaste é operado com um motor elétrico enquanto o motor diesel permanece em “stand by” para em casos de pane elétrica.

2. **Caixa redutora de engrenagens:** as redutoras são inseridas em diferentes pontos no sistema de acionamento como por exemplo entre a união do acionador principal e a bomba hidráulica. Nesta aplicação, a caixa atua amplificando o torque, reduzindo velocidade e também possibilita a distribuição de torque para variadas bombas em paralelo. As redutoras da mesma forma, trabalham em um conjunto de motor hidráulico, freio e caixa de redução, neste caso, dedicadas aos guinchos e pinhões do sistema de giro.

3. **Bombas hidráulicas:** a energia mecânica gerada pelos acionadores principais, agora é transformada em vazão de óleo. Dentre os diferentes modelos de bombas, às mais empregadas em guindastes offshore, são bombas de pistões axiais.

Figura 19. Desenho esquemático de uma bomba hidráulica.



Fonte: Apostila Parker M2001-1 BR Julho 1999.

4. Componentes hidráulicos: os componentes hidráulicos são responsáveis pelo controle de pressão, vazão e segurança do sistema hidráulico, onde o arranjo e a quantidade de elementos aplicados em um circuito, variam de acordo com cada projeto. Dentre os componentes hidráulicos, pode-se destacar às válvulas de controle de pressão e vazão, elementos lógicos, acumuladores de pressão, filtros, mangueiras, tubos e etc.

5. Instrumentos de medição: os medidores de pressão, vazão, rotação, volume e temperatura são fundamentais para controle e identificação de anormalidades no sistema hidráulico. Estes sensores são diretamente ligados à cabine de comando do operador, onde por exemplo um aumento repentino de temperatura do óleo, pode acionar o alarme, cessando às operações com o guindaste até este atingir a temperatura ideal. Outro exemplo importante da aplicação de instrumentos de medição, são os contadores de giro dos tambores dos guinchos, pois caso este equipamento não esteja em perfeito funcionamento, o operador poderá acionar o guincho sem saber a quantidade de cabo remanescente no tambor, podendo assim, romper o cabo de aço, resultando em queda livre de material.

6. Atuadores hidráulicos:

Motores hidráulicos: responsáveis por transformar a pressão e vazão hidráulica, em movimento rotativo. Os sistemas que utilizam os motores hidráulicos, como por exemplo o acionamento do giro e guinchos, são consistidos pelo conjunto de motor hidráulico, freio e caixa redutora.

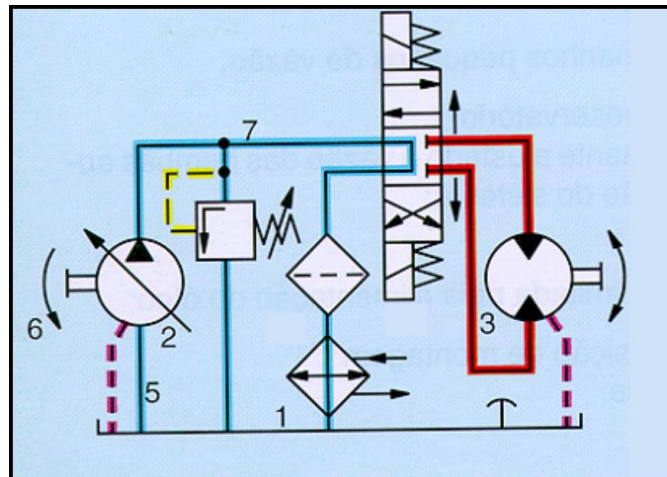
Cilindros hidráulicos: através do Princípio de Pascal, os cilindros são responsáveis pela transmissão hidráulica de força, mediante a relação entre pressão e área. São normalmente aplicados para movimentações de lanças tipo box, articulada e telescópica.

2.8.1.1 Circuito hidráulico aberto

A Figura 20 (Esquema de circuito hidráulico aberto) a bomba pode ser do tipo de deslocamento fixo e variável. Porém, observado que a conexão de sucção é diretamente ligada ao reservatório. Mas há outra conexão, a linha de descarga da bomba (pressão) que alimenta um bloco de válvulas de controle direcional que direciona o fluxo pressurizado até a conexão de serviço (A) do motor hidráulico e

retorna pela conexão de serviço (B) e novamente flui para o tanque que normalmente precisa ter o tamanho suficiente para comportar de 3 a 4 vezes o volume da vazão da bomba, por exemplo numa bomba de 100/lpm terá então um reservatório com cerca de 400 litros, sendo após passar pelo filtro de retorno e trocador de calor onde novamente o ciclo se repete novamente.

Figura 20. Esquema de circuito hidráulico aberto.



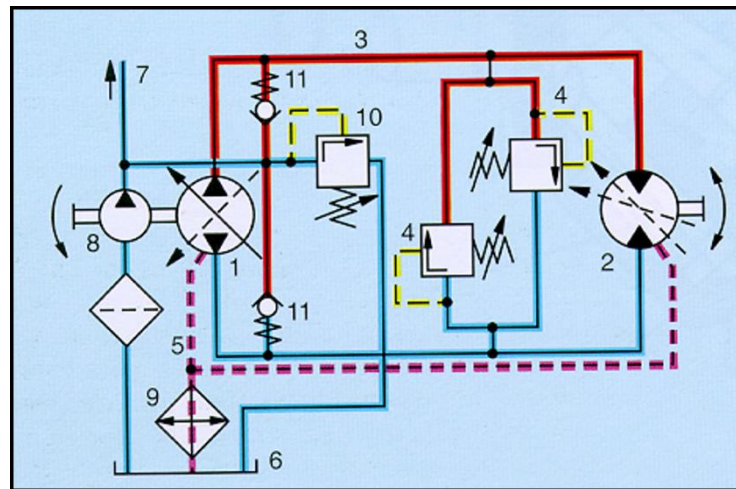
Fonte: FuidSim. (2020)

2.8.1.2 Circuito hidráulico fechado

É observado na Figura 21 (Esquema de um circuito hidráulico fechado), novamente a bomba exerce um fator determinante em sua definição. Neste caso uma característica importante é que a bomba é do tipo de deslocamento variável, podendo modular a vazão de descarga por meio de mecanismos internos, assim sendo por consequência a variação de sua potência (hp) independentemente da rotação do motor de acionamento. Como podemos ver no circuito fechado isso é feito pela ação de válvulas de controle direcional, de controle de fluxo e de controle de pressão que são incorporadas na carcaça da própria bomba como é ilustrado no circuito fechado abaixo. Uma outra distinta característica da bomba de circuito fechado é o fato da mesma ser bidirecional, ou seja, ela pode variar a descarga de pressão alternadamente pela conexão de serviço (A) ou (B). Assim se dará o "circuito fechado", o óleo é direcionado pela bomba em alta pressão para a conexão (A) do motor hidráulico e retornará em baixa pressão pela conexão (B) do motor diretamente para

a bomba num circuito fechado "Bomba x Motor" / Motor x Bomba, sempre haverá uma linha cheia pressurizada em alta pressão e a outra linha de retorno em baixa pressão, Visto que a bomba de circuito possui controles direcionais incorporados, e por isso, a direção do fluxo obedecerá os controles conforme o acionamento requeridos pelo operador.

Figura 21. Esquema de um circuito hidráulico fechado.



Fonte: FuidSim.

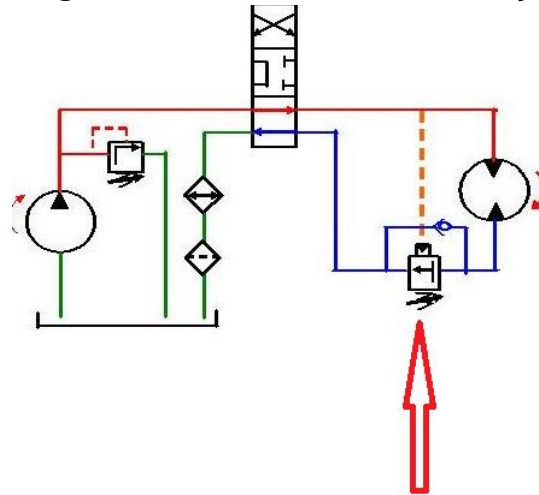
São características deste circuito:

- A circulação de óleo irá depender do comando a ser efetuado, para dar início a atuação da bomba;
- Caso seja efetuado um comando de inversão de sentido de acionamento, a vazão da bomba irá se reduzir a zero até iniciar a inversão, não existindo a ocorrência de choques no circuito;
- Não possui válvula direcional na linha principal;
- Utilização do reservatório de óleo é reduzida;
- Em geral, há menor geração de calor.

A diferença entre os sistemas apresentados pode ser contatada pela forma de frenagem dinâmica. Entretanto, em um circuito aberto é necessária uma válvula de contrabalanço, instalada na linha de baixa pressão que permite a passagem de óleo

proporcionalmente a uma determinada pressão na linha de acionamento do motor, ou seja, controlando a descida da carga suspensa no gancho. Já no circuito fechado o giro do motor é limitado pela vazão admitida pela bomba, devido ao alinhamento direto entre estes componentes.

Figura 22. Válvula de contrabalanço.



Fonte: O autor (2020)

2.8.2 Meios de contaminação do óleo e seus efeitos no sistema hidráulico

A contaminação do óleo é responsável por grande parte dos problemas hidráulicos encontrados, afetando de diversas formas seus componentes como válvulas, cilindros, bombas, motores hidráulicos, mangueiras, tubos.

Essas impurezas podem ser produzidas ou até mesmo inseridas no sistema durante a montagem do circuito hidráulico, na substituição de componentes, pela abertura do sistema, durante a operação e pela falha do sistema filtragem e arrefecimento.

Meio de contaminação por via externa ao sistema:

- Filtros de respiro do tanque;
- Cilindros;
- Conexões danificadas ou imprecisão no momento de fixá-las.

Contaminação do sistema durante os procedimentos de manutenção:

- Montagem / desmontagem do sistema;
- Abrindo o sistema;
- Abastecimento de óleo.

Se esses componentes forem danificados por contaminação sólida do óleo, o sistema poderá falhar, resultando em variados tipos de avaria, incluindo a possibilidade de queda livre de carga.

A gravidade dos danos aos componentes depende do material do particulado, da pressão operacional, da natureza (arredondada ou com arestas vivas), do tamanho e quantidade das partículas.

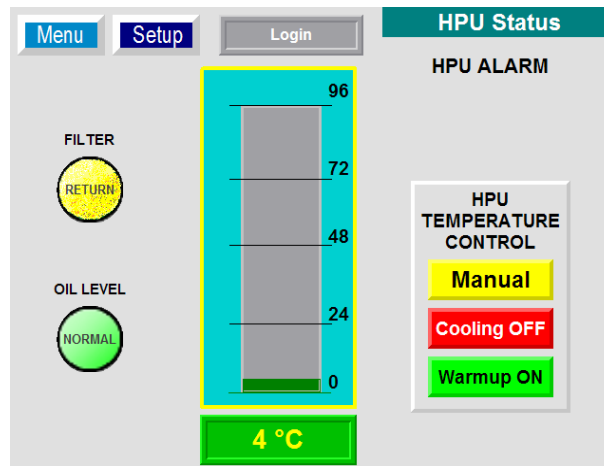
Fatores como dureza do material contaminante e pressão do sistema, podem influenciar diretamente na proporção dos danos aos componentes hidráulicos.

É possível encontrar partículas de alta dureza e, portanto, com grande capacidade de danificar os elementos internos do sistema hidráulico, porém, com dimensões menores que 30 μm , não sendo visíveis a olho nu. Isso significa que um fluido aparentemente limpo pode, de fato, estar contaminado.

2.8.3 Meios de contaminação do óleo e seus efeitos no sistema hidráulico

O guindaste também está equipado com um sistema de aquecimento de óleo hidráulico. Durante a partida inicial em operações em clima frio, pode ser necessário aquecer o óleo. Na tela principal do painel do operador, pode-se selecionar o aquecimento hidráulico e sendo feito, o óleo hidráulico circulará pela válvula de controle e retornará ao tanque. A função de aquecimento hidráulico não tem impacto significativo no desempenho operacional do guindaste, mas não deve ser usado depois que a temperatura hidráulica atingir aproximadamente 25 ° C, pois isso pode levar ao acúmulo excessivo de calor hidráulico.

Figura 23. Tela inicial do painel do operador.

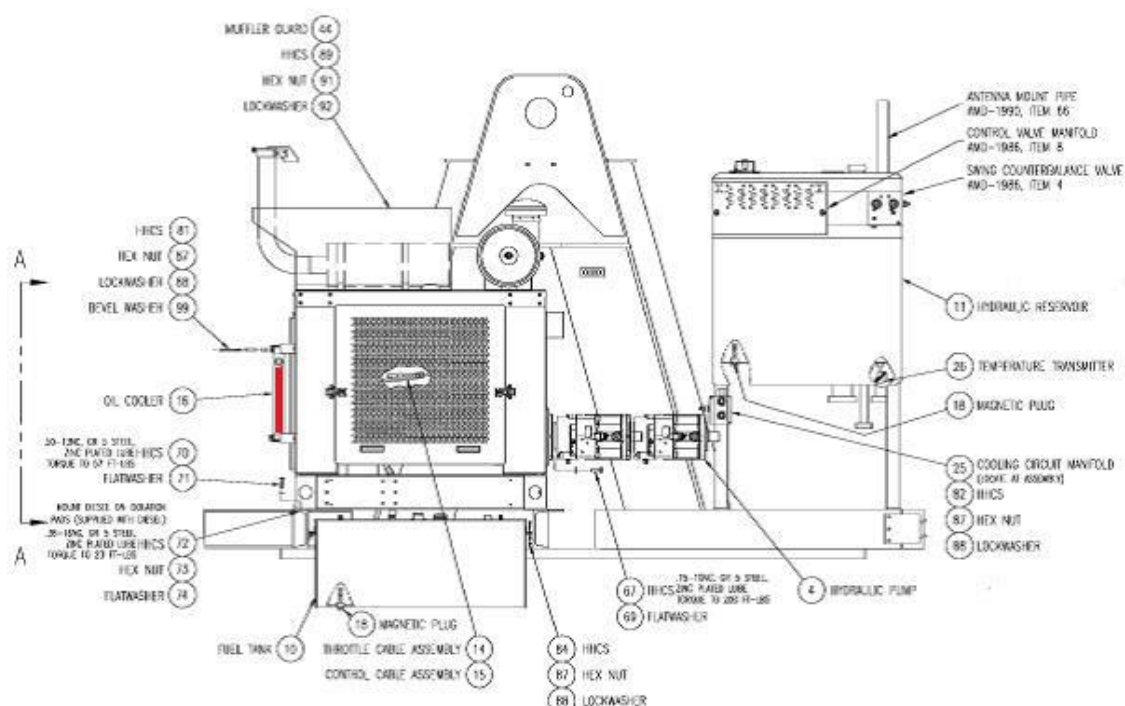


Fonte: O autor (2018)

O sistema de refrigeração do óleo, consiste em um trocador de calor montado próximo ao exaustor do motor diesel, assim, utiliza a corrente de ar como auxílio para às trocas térmicas.

O sistema hidráulico opera com um manifold que redireciona o fluido hidráulico para refrigeração e filtragem. Na opção AUTO, o óleo circula automaticamente através do trocador quando a temperatura do óleo atinge 38°C, e já em modo MANUAL, o operador do guindaste pode ligar e desligar o sistema de arrefecimento à sua vontade.

Figura 24. Demonstração do conjunto motor diesel/bombas hidráulicas e sistema de arrefecimento.



Fonte: Manual do guindaste (Stick Boom Crane, SB600-66)

O sistema de refrigeração hidráulico acoplado ao motor diesel pode ser uma boa opção para trabalhar em climas amenos, mas no Brasil o clima normalmente é quente e o radiador de óleo apresenta-se ineficiente.

2.8.4 Sistema de comando e controle

Em geral as unidades de acionamentos hidráulicas podem ser controladas ou utilizar comandos elétricos. Os joysticks são utilizados para controle do equipamento, seja para envio de sinais elétricos ou hidráulicos.

Realizar o monitoramento de corrente elétrica, pressão de óleo de motor e conversor de torque, temperatura da água do motor, rotação do motor e pressão de ar no reservatório pneumático são fundamentais para confiabilidade do acionamento mecânico, devendo os instrumentos estar operacionais e devidamente aferidos. Nesses modelos não é comum ter um dispositivo que interprete as informações disponibilizadas por instrumentos de controle.

Figura 25. Painel de instrumentos de um guindaste.



Fonte: O autor (2018)

Nas unidades hidráulicas podemos ter a monitoração de corrente elétrica, pressão, vazão das bombas, temperatura do óleo hidráulico, nível de óleo do reservatório etc.

Figura 26. Monitor de variáveis do acionamento.



Fonte: O autor (2018)

Na figura 26, o monitor relaciona as variáveis monitoradas no acionamento de um tipo de guindaste. Essas são enviadas para um painel de controle PLC para identificar as necessidades de intervenção na operação do equipamento, variando com o grau de atualização do seu projeto.

2.9 SISTEMA DE SEGURANÇA

Nos guindastes offshore atuais possuem como itens básicos de segurança os seguintes dispositivos:

2.9.1 Limite superior e inferior de movimentação de lança

A sua finalidade é evitar que a lança seja posicionada em condições que ocorra desvios a tabela de carga do equipamento, possibilitando o tombamento ou falha estrutural da lança. Podendo ser atuado pelo fechamento de contatos entre determinados pontos do cavalete (superior) ou chassi (inferior), ou por contadores de número de voltas do tambor de lança.

2.9.2 Limite superior e inferior de elevação de carga

São usados respectivamente para evitar o choque do moitão ou bola peso com a ponta da lança e desenrolamento excessivo de cabo do tambor, o que poderia resultar na ancoragem no tambor. A atuação pode ser através de contadores de volta dos tambores ou, em unidades antigas onde o limite superior é atuado por uma alavanca que movida pelo cabo ao enrolar no tambor cortam o comando. Um outro dispositivo utilizado é chamado “anti-two block”, ou seja, seu funcionamento ocorre pelo contato de um acessório instalado no cabo de aço a bola peso/moitão com um componente que atuam “switches”.

Figura 27. Limite superior atuado por alavanca.



Fonte: O autor (2020).

Figura 28. Anti-two block” instalado em guindastes offshore.



Fonte: O autor (2020).

2.9.3 Batentes de lança

É um conjunto de uma barreira estrutural a continuidade da operação de levantamento de lança, em algumas unidades ainda são instalados switches de contato secundários para “pilotar” um corte do comando em andamento.

Há modelos possuem cilindros hidráulicos que reagem ao esforço de compressão exercido pela lança interrompendo a operação de movimento.

Figura 29. Batentes da Lança.



Fonte: O autor (2020).

2.9.4 Dispositivo de monitoramento de carga

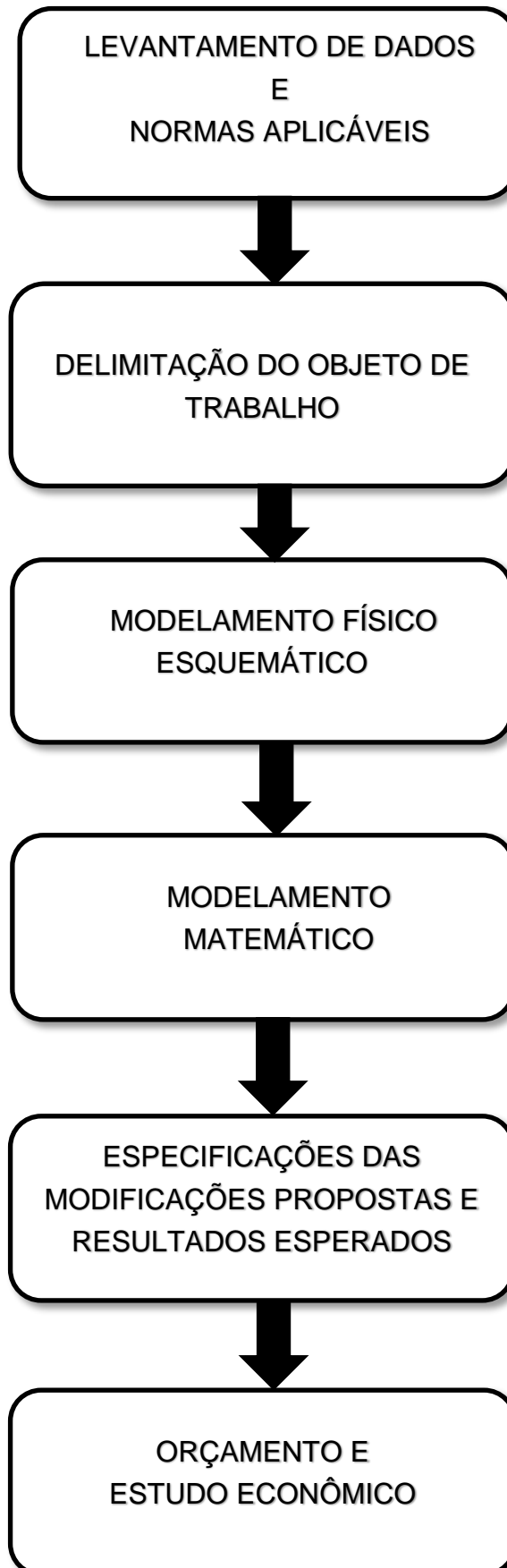
Possuem diferentes características e funções, o principal objetivo é indicar ao operador o içamento da carga, sendo as informações do ângulo e raio de operação e % da S.W.L que é as condições de operação, por um painel instalado na cabine de operação.

Figura 30. Painel de controle.



Fonte: O autor (2020).

3 METODOLOGIA



3.1 LEVANTAMENTO DE DADOS

A implementação de um projeto ou a melhoria na eficácia de um já existente deve haver uma estratégia para que essa implementação tenha uma garantia que estabeleça uma boa compreensão das expectativas até o resultado esperado. Partindo do princípio que para tornar eficiente a confiabilidade do sistema hidráulico de guindastes offshore a primeira coisa a se fazer é o levantamento de dados. De acordo com a necessidade desse trabalho, é preciso tomar conhecimento detalhado das falhas que já existiram no equipamento, realizar um estudo de casos e implementar uma ação estratégica para reduzir ou até mesmo acabar com as falhas durante a vida útil da máquina.

3.2 DELIMITAÇÃO DO OBJETO DE TRABALHO

O projeto tem como finalidade principal desenvolver um estudo abordando de forma detalhada, o comissionamento de um guindaste tipo Box Boom Crane ou Straight Boom Crane (guindaste com lança tipo caixa ou caixão), que devido a uma série de falhas, chegou-se a um incidente com queda de carga, compreendendo desde a análise de falhas às ações corretivas necessárias e testes.

3.3 MODELAMENTO FÍSICO

O modelamento físico assim como o matemático, são fundamentais na estruturação de projetos e estudos como o apresentado neste trabalho. É importante que a formulação do modelamento físico seja de forma simples, porém, representando com fidelidade os objetivos propostos pelo projeto. Desta forma, será definido e caracterizado a composição física de sistemas hidráulicos de guindastes offshore no estudo de manutenção e análise de falhas para confiabilidade, evidenciando a descrição de componentes e quantificação das grandezas que conduzem o funcionamento do sistema, como potências, perdas, pressões, vazões, rendimentos e eficiência. Para que se torne possível a realização de uma previsão das melhorias obtidas no sistema a partir deste projeto, será realizada a modelagem física do sistema que se deseja obter, a fim de se permitir o comparativo com a modelagem física do

sistema que o antecedia, evidenciando os ganhos planejados, tais como os componentes que foram submetidos à mudança ou adaptação.

3.4 MODELAMENTO MATEMÁTICO

Ao analisar o sistema hidráulico do guindaste para a formulação de sua modelagem matemática, o principal objetivo é realizar a interação com conteúdo teóricos como temperatura de trabalho, temperaturas máximas e mínimas admissíveis, potências nominais e efetivas, e vazões máximas e mínimas admissíveis.

Serão necessários modificações para se obter o resultado desejado, ou seja, a correção do problema, a elevação de temperatura do óleo, assim como a formulação de um meio preventivo para que não ocorra novamente. Essas alterações a serem implantadas, são baseadas na necessidade de se obter resultados significativos, que permitam um sistema hidráulico operacionalmente seguro e eficiente, sem grandes interrupções e perdas, conforme previamente mencionado.

3.5 ORÇAMENTO

Uma vez que os guindastes offshore não influenciam diretamente nas linhas de produção, acaba existindo uma manutenção e preservação negligenciada. Compreende-se que seja necessário um bom entendimento das falhas cometidas no equipamento, antes de se investir um capital. Tomando conhecimento com base no modelamento matemático, onde é possível comparar a atual situação do equipamento com a pós-modificação, é possível investir com segurança sem que haja desperdício de capital.

4 DESENVOLVIMENTO

4.1 ANÁLISE DE DADOS

Até o momento foram evidenciadas informações de forma geral e introdutória desta máquina de elevação, já que esta é aplicada em meio offshore e é desconhecida por muitos.

Com o objetivo de desenvolver um estudo de sistemas de gerenciamento e controle de indicadores de falhas e planejamento estratégico de manutenção, visando a eficiência na confiabilidade do sistema hidráulico de guindastes offshore, será empregado, a análise completa do guindaste Appleton Marine, Inc. Box Boom Crane SB600-66 (guindaste de lança tipo caixa – Appleton Marine, Inc – Modelo: SB600-66).

A escolha por este guindaste foi em razão à um incidente ocorrido durante uma operação de içamento de carga, devido a falha do sistema de acionamento, resultando em queda livre de material guindado. A constatação de falha no sistema de acionamento, foi decorrente à estudos de casos e análises de falhas de componentes.

Considerando a queda livre no sistema de carga auxiliar do guindaste Appleton SB600-66, as seguintes verificações foram tomadas.

- Eventos descritos no log book do guindaste;
- Condição do óleo hidráulico através de análises em duas situações: Temperatura ambiente e 38 ° C;
- Condição dos filtros do óleo hidráulico;
- Funcionamento do circuito do cooler;
- Funcionamento e estado dos cabos elétricos do joystick;
- Condições e funções das solenóides;
- Funcionamento das válvulas direcionais nos manifolds hidráulico;
- Posicionamento das mangueiras nos manifolds de controle hidráulico;

- Posicionamento das válvulas nos manifolds de controle hidráulico;
- Pressões hidráulicas dos freios;
- Funções e pressões do manifold principal de controle hidráulico;
- Manifold hidráulico usado para liberação de descida de emergência;
- Funcionamento da válvula de contrabalanço;
- Sincronização do funcionamento do freio com o acionamento do motor hidráulico do guincho;
 - Estado do motor hidráulico por meio de desmontagem, inspeção e peritagem dos componentes internos;
 - Estado do freio por meio de desmontagem, inspeção e peritagem dos componentes internos.

Os parâmetros utilizados para verificações de dados como set de pressões dos equipamentos, foram fundamentados no manual do fabricante. Os procedimentos adotados para tais verificações, são referentes às seguintes normas.

- ABS, "Guia para a Certificação de Equipamentos Elevatórios";
- DNV 2.22, "Regras para a certificação de aparelhos de elevação";
- API Spec 2C - "Especificação para Guindastes Offshore Montados em Pedestal";
 - API RP 2D - "Prática Recomendada para Operação e Manutenção de Guindastes Offshore";
 - EN 13852-1, Guindastes offshore de uso geral;
 - Petrobras N 1930 - "Inspeção em Serviço de Guindastes Offshore";
 - Petrobras N 2170 - "Inspeção em Serviço de Acessório de Carga";
 - Matriz de Legislação de Equipamentos de Elevação (NSL);

- NORSOK R-CR-002 "Requisitos comuns para equipamentos de elevação" - Rev. 1, janeiro de 1995;

Para sistema hidráulico:

- ISO 12669 - "Potência do fluido hidráulico - Método para determinar o nível de limpeza exigido (RCL) de um sistema";
- ISO 1219-1 - "Sistemas e componentes de potência de fluidos - Símbolos gráficos e diagramas de circuitos - Parte 1: Símbolos gráficos para uso convencional e aplicações de processamento de dados";
- ISO 1219-2 - "Sistemas e componentes de potência de fluidos - Símbolos, gráficos e diagramas de circuitos Parte 2: Diagramas de circuitos".

Equipamento de elevação (alguns itens anexados):

- SI 2307 - Operações de içamento e regulamentos de equipamentos de içamento (LOLER), 1998;
- Provisões SI 2306 e regulamentos de uso de equipamentos de trabalho (PUWER);

Certificado:

- Artigo 25 (2) da Convenção da OIT sobre Segurança e Saúde no Trabalho no Trabalho Portuário (No. 152), 1979.

4.2 VERIFICAÇÕES INICIAIS E DESCRIÇÃO DO SISTEMA DO GUINDASTE

O sistema de içamento auxiliar consiste em um guincho planetário associado ao cordame. O tambor é movido por um motor hidráulico de pistão axial de deslocamento variável, este, possui uma válvula controladora de pressão, que atua como freio dinâmico, controlando o guincho durante operações de descidas de carga. Um freio de disco múltiplo, liberado hidraulicamente é incorporado ao trem de engrenagens do guincho para fornecer frenagem estática. O sistema auxiliar é capaz

de levantar 7,5 toneladas no modo de carga a 60,0 metros por minuto. No modo pessoal, o guincho auxiliar é capaz de levantar 1,0 tonelada.

A unidade de energia diesel-hidráulica é montada na mesa de giro do guindaste e é composta por motor diesel, caixa redutora, bomba hidráulica e reservatório hidráulico.

Incorporado à unidade de potência está um sistema de shutdown de alta temperatura do óleo hidráulico. Se a temperatura do óleo hidráulico exceder aproximadamente 60 °C, o alarme amarelo TEMP HIDRÁULICA será exibido na tela do painel para alertar o operador. Se a temperatura do óleo continuar a aumentar e ultrapassar aproximadamente 70 °C, os indicadores de alarme AUTO SHUTDOWN serão exibidos na tela OPERATION e um alarme sonoro soará.

Ao pressionar RESET na tela do CLP irá silenciar o alarme e zerar o cronômetro de auto shutdown de 30 segundos, permitindo uma operação posterior do guindaste. Se nenhuma ação for tomada e o temporizador de desligamento automático tiver expirado, a HPU será desligada automaticamente. Os indicadores amarelos de alarme HYDRAULIC TEMP e AUTO SHUTDOWN mudarão para indicadores de falha vermelhos e o alarme sonoro soará. A HPU pode ser reiniciada conforme indicado anteriormente.

O guindaste é equipado com um sistema de arrefecimento do óleo hidráulico. Em operações com o guindaste no modo auto, o óleo hidráulico circula automaticamente pelo refrigerador quando a temperatura do óleo atinge 30 °C.

O resfriamento também pode ser iniciado manualmente por meio da tela HPU STATUS, selecionando o modo auto verde, que altera a configuração para manual. No modo manual, o operador pode alternar entre COOLING ON (circula o óleo hidráulico através do resfriador) e COOLING OFF (standby, sem circulação de óleo hidráulico).

4.3 DESCRIÇÃO DO INCIDENTE OCORRIDO

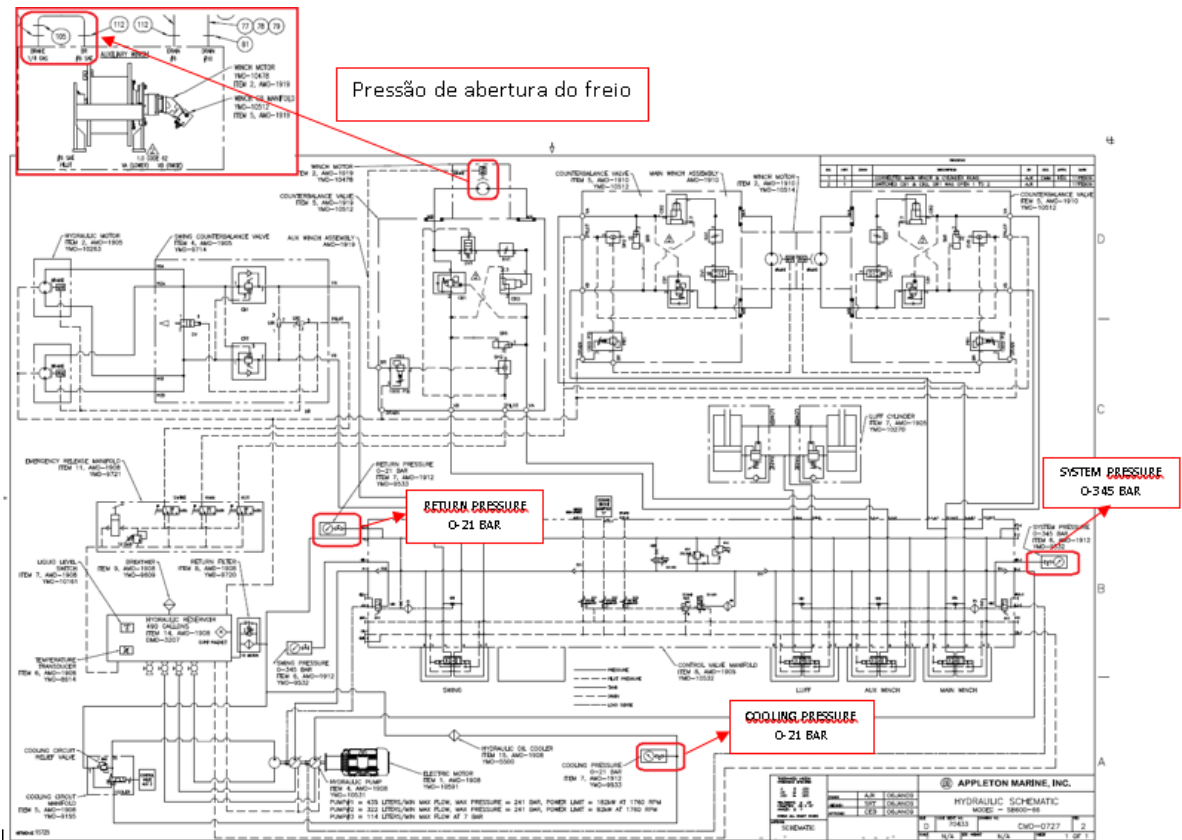
Durante operações com o guindaste SB600-66 no recebimento de um contêiner de 3m - 5,5 toneladas, do barco de abastecimento, o contêiner "caiu livremente" no convés na área de depósito de uma altura de aproximadamente 5,5 metros.

No decorrer da investigação foram monitorados os parâmetros hidráulicos dos sistemas do guindaste antes de iniciar a manutenção corretiva necessária, como desmontagem do motor, freio e a possível substituição de componentes como válvulas hidráulicas.

A investigação da causa do incidente foi iniciada pela verificação de informações técnicas do manual do fabricante, e levantamento de dados dos componentes que constituem o circuito hidráulico do guincho auxiliar.

Com a Figura 31 é possível identificar os principais elementos com seus respectivos sets de calibração. Estes dados, serão os parâmetros utilizados nos testes seguintes, visando com a análise de falhas, a identificação da causa do incidente.

Figura 31. Esquemática sistema hidráulico



Fonte: Manual do guindaste (Stick Boom Crane, SB600-66)

a) Teste funcional e medições.

Munido com as referências indicadas no manual, foi possível a coleta de dados no local com o monitoramento de temperatura e pressão do sistema com pirômetro óptico e kit de manômetros.

Figura 32. IHM



Fonte: O autor (2018).

Figura 33. Pirômetro



Fonte: O autor (2018).

Figura 34. Manômetro no painel da cabine.



Fonte: O autor (2018).

Para certificação do adequado funcionamento do freio do guincho auxiliar, foi inserido um manômetro na linha piloto do freio, e em seguida, realizado teste funcional com o guincho. Com o teste, foi verificado que a linha piloto atuou conforme as instruções do manual do fabricante, abrindo com pressão de 30 BAR.

Figura 35. Manômetro inserido na linha piloto do freio

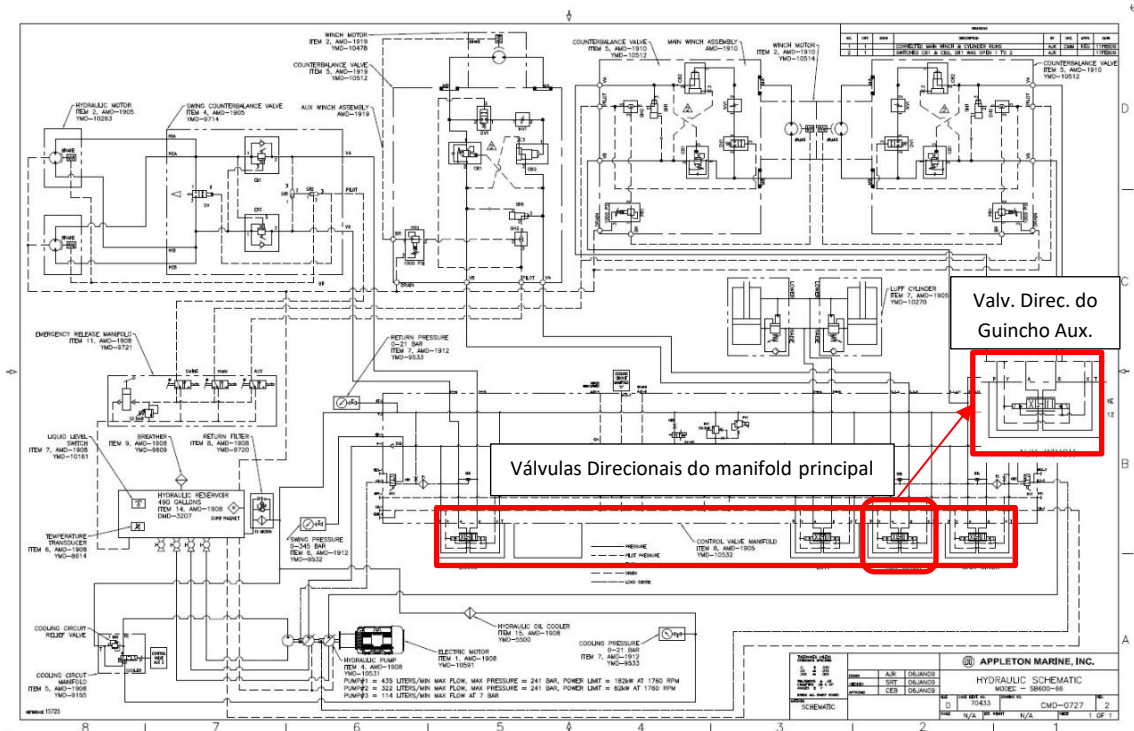


Fonte: O autor (2018).

Foram encontrados alguns componentes do sistema hidráulico com corrosão externa severa ou danificados, exigindo substituição nas válvulas direcionais e a avaria das solenoides, fatores estes que podem influenciar no funcionamento do circuito hidráulico de acionamento.

Identificação das válvulas direcionais no circuito hidráulico e seu posicionamento na mesa de giro.

Figura 36. Circuito hidráulico



Fonte: O autor (2018).

- b) Desmontagem, inspeção e peritagem de componentes hidráulicos do guincho auxiliar.

Devido à relatos do operador de guindaste, de ruídos nas proximidades do tambor do guincho, o conjunto de bloco hidráulico, motor hidráulico e freio, foram removidos para as devidas inspeções e peritagens.

Ao remover o motor, foi observado sinais de corrosão no flange do motor hidráulico e freio. Uma prática comum em uniões deste tipo, é o uso de vedações como juntas de papelão industrial ou borracha, e até mesmo silicone, de forma a evitar a contaminação por agentes ambientais externos ao acoplamento. A ausência de qualquer material vedante pode ser a causa desta infiltração, ou até mesmo o torque falho dos parafusos de fixação.

Figura 37. Flange do motor com corrosão.



Fonte: O autor (2018).

Ao remover o motor, foi observado sinais de corrosão no flange do motor hidráulico e freio. Uma prática comum em uniões deste tipo, é o uso de vedações como juntas de papelão industrial ou borracha, e até mesmo silicone, de forma a evitar a contaminação por agentes ambientais externos ao acoplamento. A ausência de qualquer material vedante pode ser a causa desta infiltração, ou até mesmo o torque falho dos parafusos de fixação.

Figura 38. Remoção do bloco hidráulico e desmontagem do motor.



Fonte: O Autor (2018).

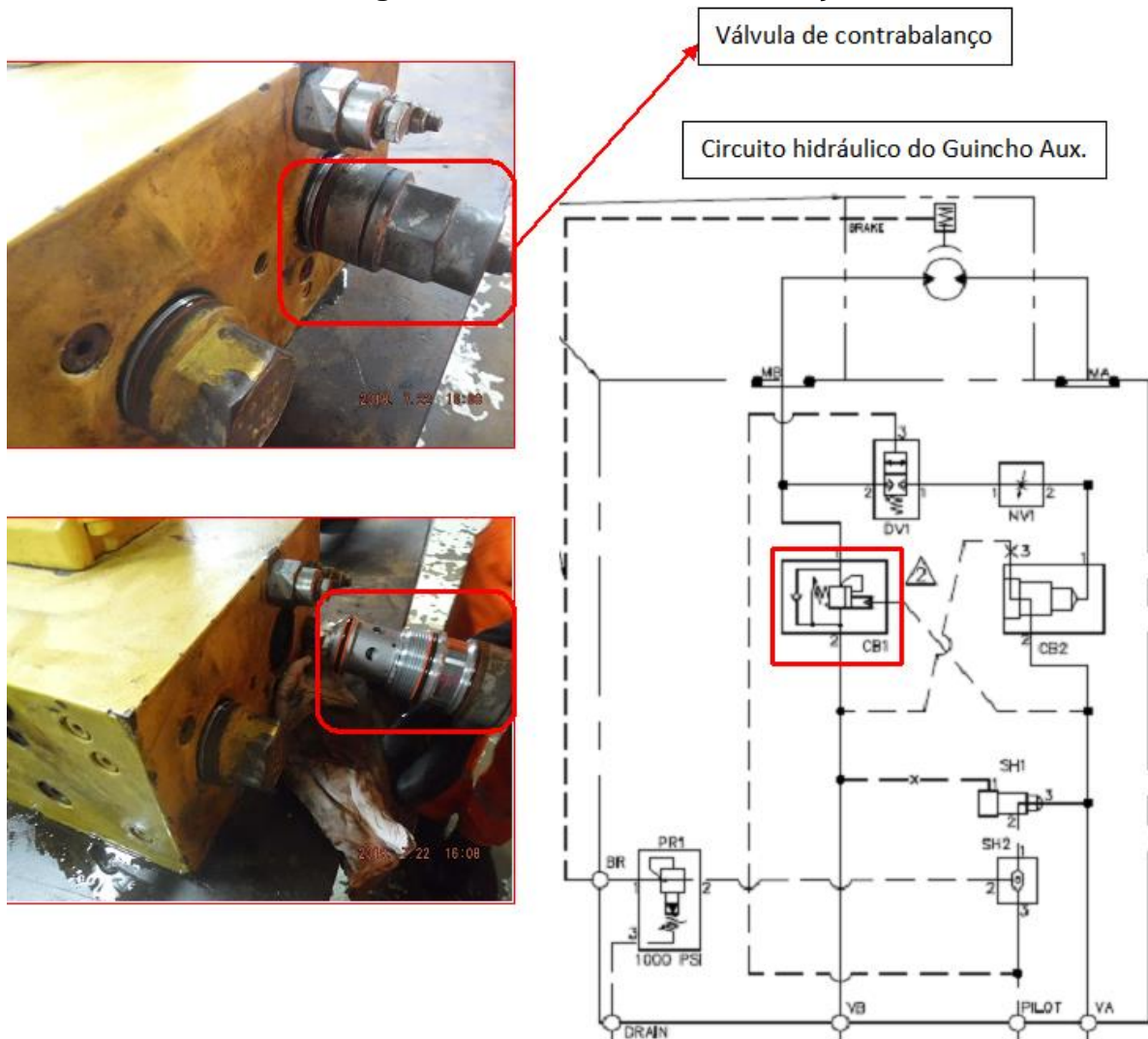
Figura 39. Identificação de quatro pistões quebrados.



Fonte: O autor (2018).

Em continuidade à investigação, todas às válvulas do bloco hidráulico do motor foram removidas e inspecionadas. Foi identificado avaria do parafuso de ajuste da válvula de contrabalanço (destacada do circuito hidráulico abaixo), este apresentava emperramento, impossibilitando a calibração da válvula.

Figura 40. Válvula de contrabalanço.



Fonte: O autor(2018).

Desmontagem do conjunto de freio para inspeção dos componentes internos de acordo com as instruções e recomendações do fabricante.

Figura 41. Conjunto de freio.



Fonte: O autor (2018).

Figura 42. Sessão do manual do fabricante demonstrando a lista de componentes.

POS.	DENOMINAZIONE PARTICOLARE	ITEM	Q. TA'	CODICE
31	-	-	-	-
30	TAPPO TCEI 1/8"0AS DIN 908	PLUG	1	41902000
29	RING. IN RAME RICOTTO 1/8"110.2X1X1.51	WASHER	1	423001700
28	SEGER ALBERO #60	INTERNAL SNAP RING	1	421001000
27	CUSCINETTO A SFERE 10012 TIPO A	DEEP GROOVE BALL BEARING	1	400005200
26	YITE TCEI M1X120 12.0	HEX SOCKET CAP SCREW M1X120	4	410404400
25	ANELLO DI SPALLAMENTO DR 90 X FORO	SHOULDER RING	1	415026400
24	SEGER ALBERO #50	INTERNAL SNAP RING	1	421000000
23	IMBR. P. DISCHI S20F9 CON RUOTA LIB.	DISC CARRIER BEAR	1	02241005
22	RUOTA LIBERA DMX 1210003	FREE WHEEL	2	400030100
21	CUSCINETTO A SFERE 6009 TIPO A	DEEP GROOVE BALL BEARING	1	400000000
20	GIUNTO SCANALATO 8180P 213 SAE "D"	MOTOR COUPLING	1	02211117
19	ANELLO DI TENUTA 60x60x77,5 BMSCL	SEAL RING	1	415007000
18	CUSCINETTO A SFERE 10010 TIPO B	DEEP GROOVE BALL BEARING	1	400004100
17	DR 2-200	O-RING SEAL	1	400001100
16	PISTONE FRENO	BRAKE PISTON	1	02271002
15	ANELLO PER CORPO FRENO	BRAKE HOUSING RING	1	02731005
14	DR 2-159 N 874-70 (PARKER)	O-RING SEAL	1	400016700
13	ANTIESTRUSIONE PARBAK 8-150	ANTIEXTRUSION RING	1	415007500
12	DISCO IN ACCIAIO EST. 5" SP.1	STEEL DISC	5	415003000
11	DISCO SINTERIZZATO MIBA 7351104 C	SINTERIZED DISC	4	415004000
10	FLANGIA ATTACCO MOTORE SAE "D"	MOTOR FLANGE SAE "D"	1	02511120
9	MOLLA FRENO FILO D.3.8 (F9151)	BRAKE HELICAL SPRING	14	02701007
8	DR 2-163	O-RING SEAL	1	400005400
7	ANTIESTRUSIONE PARBAK 8-163	ANTIEXTRUSION RING	1	415007800
6	DR 2-163 N 874-70 (PARKER)	O-RING SEAL	1	400016800
5	CORPO FRENO	BRAKE HOUSING	1	02431002
4	DR 2-162	O-RING SEAL	1	400012800
3	DR 2-163	O-RING SEAL	1	400005400
2	FLANGIA CHIUSURA FRENO F9	COVER	1	02481001
1	YITE TCEI M1X130 12.0	HEX SOCKET CAP SCREW M1X130	8	410405400

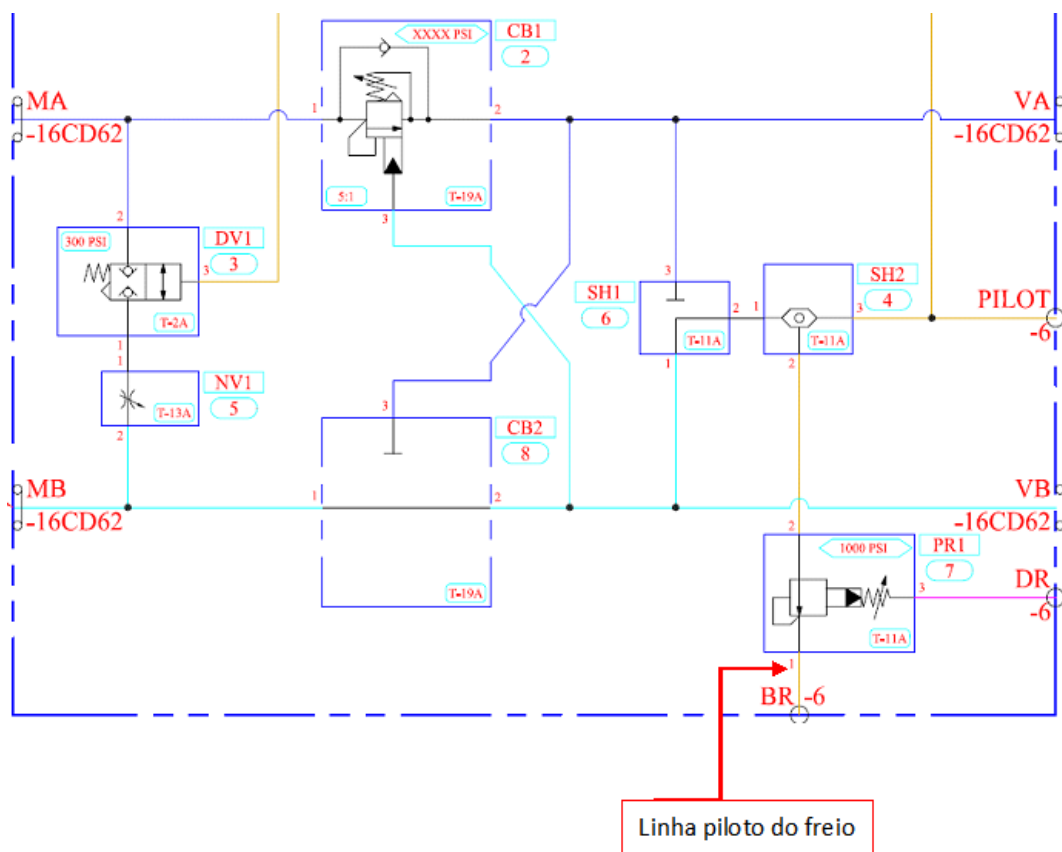
Fonte: Manual do guindaste (Stick Boom Crane, SB600-66)

Nenhuma descontinuidade ou avaria de elementos foram identificados.

4.3.1 Avaliação técnica da causa do incidente

A carga caiu devido à quebra dos pistões motor hidráulico Sunfab SCM-130. Ao ser acionado o comando do guincho auxiliar para abaixar carga, já estando com o motor hidráulico avariado, o freio se manteve aberto pela linha hidráulica piloto. Além disso, a válvula de contrabalanço manteve-se pilotada e aberta permitindo a passagem de fluxo.

Figura 43. Circuito guincho auxiliar



Fonte: Manual do guindaste (Stick Boom Crane, SB600-66)

4.4 AVALIAÇÃO DA FALHA DO EQUIPAMENTO

Para realizar a correta avaliação do impacto obtido pela falha do equipamento, as informações técnicas do sistema hidráulico deverão ser especificadas. A figura 44 demonstra os dados técnicos de projeto do motor fornecidas pelo fabricante.

Figura 44. Informações técnicas do motor hidráulico Sunfab.



Fonte: O autor (2018).

Figura 45. Temperatura admissível do óleo hidráulico

SCM 010-130 ISO

General instructions

Choice of shaft seal

Motor SCM	Code	Temp.	Max. housing pressure bar at rpm								
		°C	1000	2000	3000	4000	5000	6000	7000	8000	9000
010-034	N	75	5.5	2.7	1.8	1.4	1.1	0.9	0.8	0.7	0.6
	H	75	24.6	12.3	8.2	6.1	4.9	4.1	3.5	3.1	2.7
	V	90	5.5	2.7	1.8	1.4	1.1	0.9	0.8	0.7	0.6
040-064	N	75	5.5	2.7	1.8	1.4	1.1	0.9	0.8		
	H	75	24.6	12.3	8.2	6.1	4.9	4.1	3.5		
	V	90	5.5	2.7	1.8	1.4	1.1	0.9	0.8		
084-130	N	75	3.8	1.9	1.3	1.0	0.8	0.6			
	H	75	17.2	8.6	5.7	4.3	3.4	2.9			
	V	90	3.8	1.9	1.3	1.0	0.8	0.6			

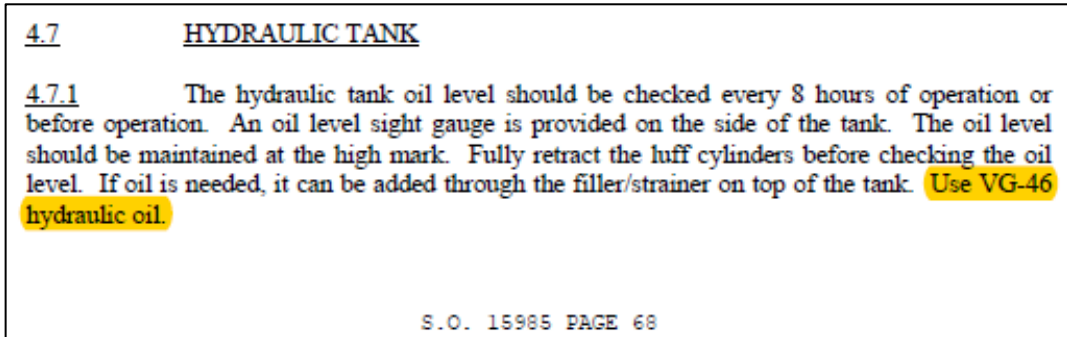
Code according to page 2, Versions, main data

Factors affecting the choice of shaft seal include the hydraulic motor housing pressure and the drainage oil temperature.

The drainage oil should have a maximum temperature of 75 °C with a Nitrile shaft seal and 90 °C with a Viton shaft seal. These temperatures must not be exceeded.
The housing pressure must be equal to or greater than the external pressure on the shaft seal.

Fonte: Manual do guindaste (Stick Boom Crane, SB600-66)

Figura 46. Óleo especificado no manual do guindaste



Fonte: Manual do guindaste (Stick Boom Crane, SB600-66)

Após o incidente, foi realizado a avaliação do dados do painel de controle do guindaste, e foram identificados diversos Alarmes de Alta Temperatura de óleo no display do PLC conforme a imagem abaixo, porém, todos os alertas foram silenciados pelo operador. Também foi identificado que a temperatura do sistema hidráulico permaneceu em torno de 85 °C e 90 °C com os devidos alertas de alarme até a quebra motor.

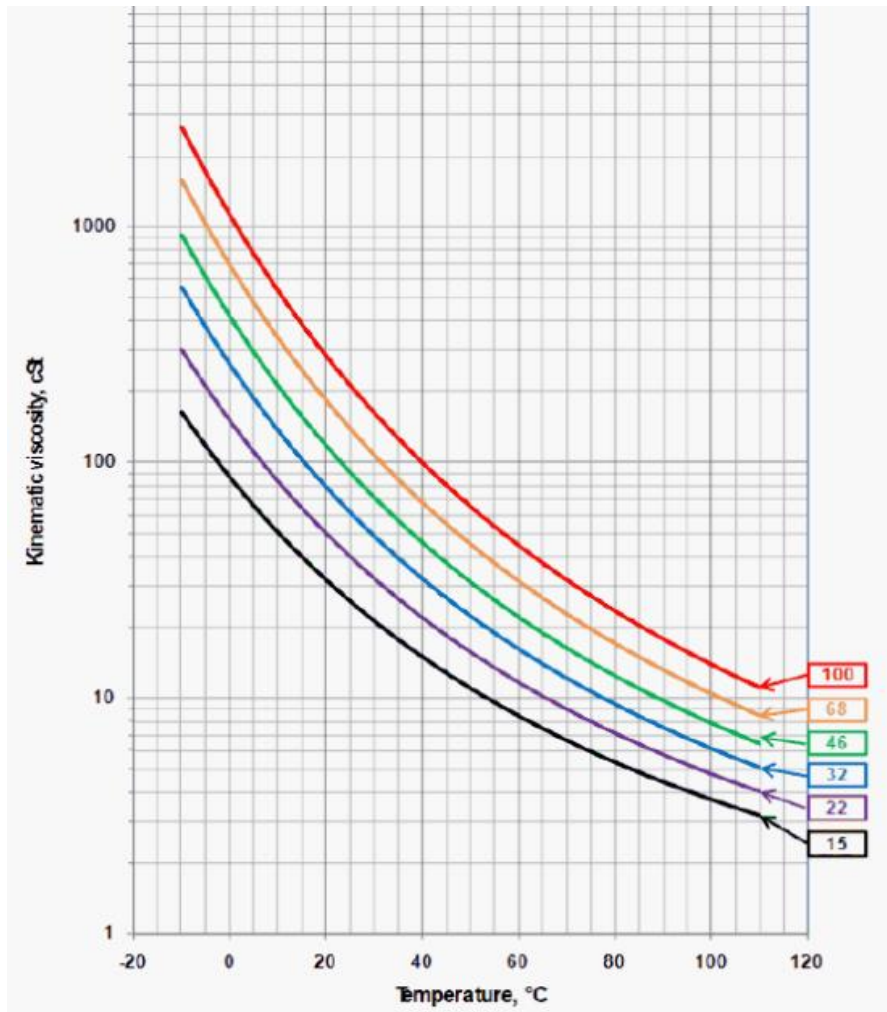
Figura 47. Alarme de alta temperatura

Alarm time	Message
7/19/2018 5:22:19 PM	Crane E-Stop PB Engaged (CRIO)
7/19/2018 5:09:39 PM	High Hydraulic Oil Temperature A*
7/19/2018 5:09:10 PM	High Hydraulic Oil Temperature
7/19/2018 5:08:41 PM	Crane E-Stop PB Engaged (CRIO)
7/19/2018 5:08:35 PM	High Hydraulic Oil Temperature A*
7/19/2018 5:08:05 PM	High Hydraulic Oil Temperature
7/19/2018 5:07:34 PM	Crane E-Stop PB Engaged (CRIO)
7/19/2018 5:07:29 PM	High Hydraulic Oil Temperature A*
7/19/2018 5:06:34 PM	High Hydraulic Oil Temperature
7/19/2018 5:06:00 PM	Crane E-Stop PB Engaged (CRIO)
7/19/2018 5:05:54 PM	High Hydraulic Oil Temperature A*
7/19/2018 5:05:30 PM	High Hydraulic Oil Temperature
7/19/2018 5:05:28 PM	Deadman Not Pressed
7/19/2018 5:05:24 PM	High Hydraulic Oil Temperature

2018. 7. 19 20:18

Fonte: O autor (2018).

Figura 48. Diagrama de viscosidade x temperatura do óleo Shell Tellus S2V.



Fonte: Manual do guindaste (Stick Boom Crane, SB600-66)

Figura 49. Óleo recomendado pelo manual

SCM 010-130 ISO

Piping

Recommended oil velocity in pressure line max. 7 m/sec

Filtering

Cleanliness according to ISO norm 4406, code 16/13.

Hydraulic fluids

High performance oils meeting ISO specifications – such as HM, DIN 51524-2 HLP, or better – must be used.

A min. viscosity of 10 cSt is required to keep the lubrication at a safe level.

The ideal viscosity is 20 - 40 cSt.

Fonte: Manual do guindaste (Stick Boom Crane, SB600-66)

A condição do fluido operacional desempenha um papel fundamental nesta análise, uma vez que aproximadamente 70% de todas as avarias dos sistemas hidráulicos e de lubrificação podem ser atribuídas à condição do óleo com efeitos prejudiciais comprovados na eficiência e rentabilidade dos sistemas e equipamentos.

Uma vez reconhecida a conexão direta entre a condição do fluido e a rentabilidade dos sistemas hidráulicos de guindastes, tornam-se necessários, os seguintes fatores: sistema eficiente de resfriamento, monitoramento contínuo e uma avaliação bem projetada, que garantam a eficiência e confiabilidade operacional de todo o sistema.

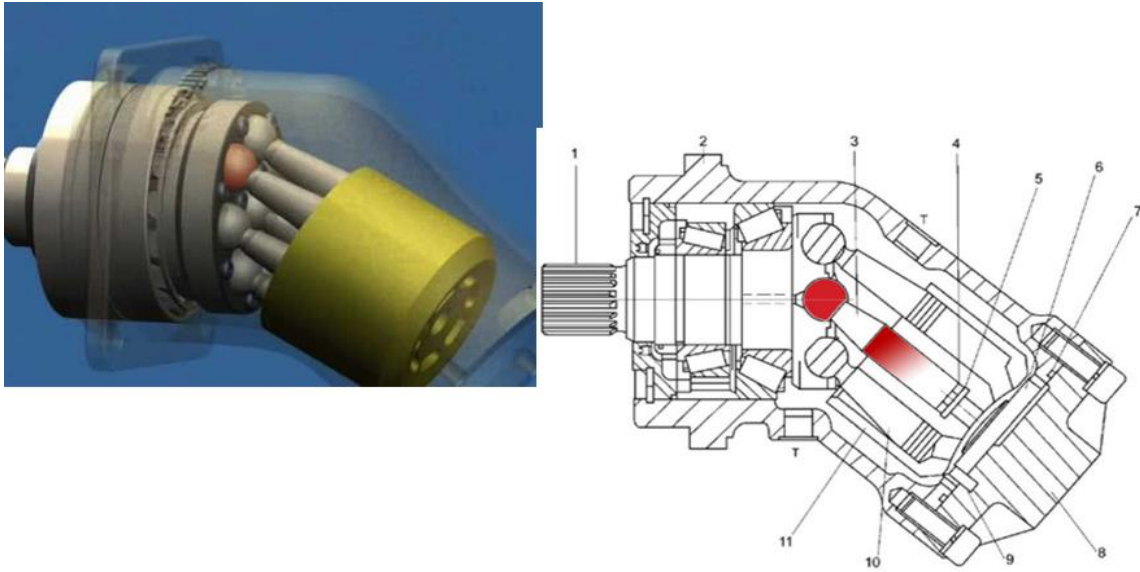
De acordo com o fabricante do motor hidráulico Sunfab, é recomendado o uso de óleo com viscosidade mínima de 10 cSt, demonstrado na figura 49, para manter a lubrificação de seus componentes internos.

Foi relatado pela equipe de manutenção de bordo, que o sistema de refrigeração do sistema hidráulico não estava funcionando corretamente. Mesmo com a temperatura alta, o fluido não estava circulando pelo resfriador devido à falha do fusível do circuito elétrico da válvula direcional.

Como pode ser encontrado no diagrama mencionado na figura 48, de Viscosidade de Óleo x Temperatura, o óleo ISO VG 46 trabalhando em 85 °C - 90 °C tem viscosidade em torno de 10 cSt.

O motor hidráulico trabalhando a 85 °C está no limite da margem de segurança, conforme a figura 45 e devido à ineficiência do sistema de refrigeração, é possível definir que a viscosidade do óleo permaneceu abaixo do limite de segurança nos minutos que antecederam o incidente, provocando o rompimento do filme lubrificante entre os elementos internos, e assim, permitindo o contato entre metais em alta velocidade, causando desgaste e gerando partículas metálicas no óleo, e conseqüentemente a obstrução de cavidades, fato que resultou no travamento dos pistões.

Figura 50. Influência da alta temperatura no motor hidráulico.



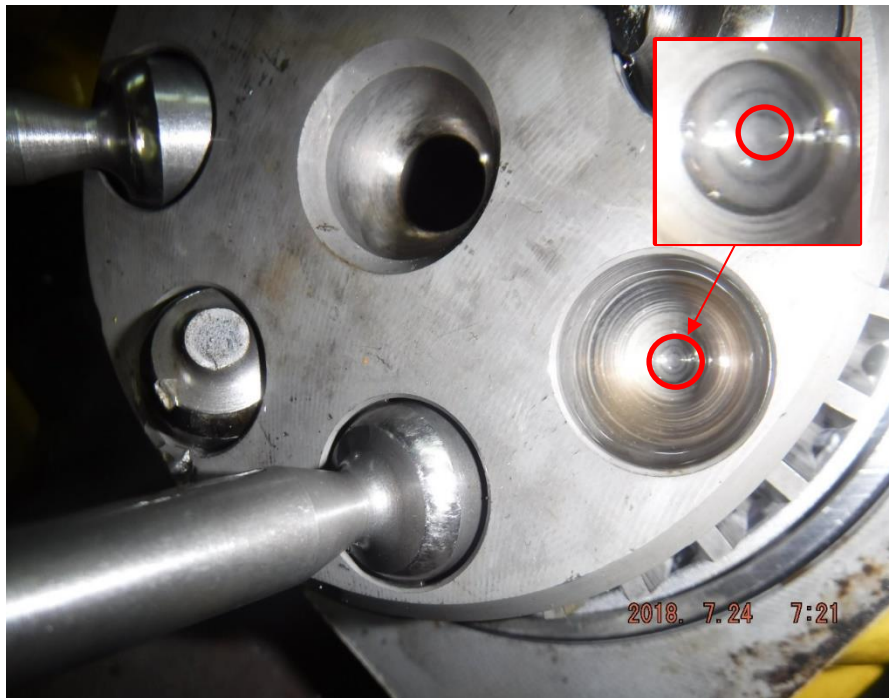
Fonte: <https://encrypted-tbn0.gstatic.com/images?q=tbn%3AANd9GcReui0pRVvdGplzW8zABGckAAYMsdF-48E8Tg&usqp=CAU>

Figura 51. Análise da ruptura do pistão



Fonte: O autor (2018).

Figura 52. Formação do filme lubrificante.



Fonte: O autor (2018).

Como pode ser observado na figura 52, devido à dimensão das cavidades, partículas metálicas podem obstruir os canais de lubrificação. De forma a comprovar este fato, foi colocado óleo em cada alojamento dos pistões por aproximadamente 24h e foi verificado que em algumas câmaras, o óleo não escoou.

Figura 53. Camada de óleo no alojamento dos pistões




Fonte: O autor (2020)

4.5 ANÁLISE DA CAUSA RAIZ

Para que seja possível uma análise crítica do que realmente ocasionou a falha em questão, será utilizado a metodologia dos 05 porquês, conforme evidenciado na tabela 3.

Tabela 3. Metodologia dos 05 porquês.

Modo de Falha	Queda livre da carga içada com o guincho auxiliar
<p>1</p> <p>Por quê?</p>	<p>O container içado caiu no deck de carga com aproximadamente 5,5 metros de altura, devido a quebra do motor hidráulico do guincho auxiliar.</p>
<p>2</p> <p>Por quê?</p>	<p>Perda da camada de filme lubrificante entre os componentes internos do motor hidráulico.</p>
<p>3</p> <p>Por quê?</p>	<p>Durante o incidente foi relatado pela tripulação, o aumento de temperatura no sistema hidráulico, evidenciado no painel de controle do guindaste, com valores superiores a 85 °C e por isso, a película de lubrificação nas partes internas do motor foi perdida.</p>
<p>4</p> <p>Por quê?</p>	<p>O sistema de arrefecimento do sistema hidráulico não funcionou corretamente.</p>
<p>5</p> <p>Por quê?</p>	<p>Falha no fusível de ativação da válvula solenóide de resfriamento.</p>



CAUSA RAIZ

Fonte: O autor (2020)

4.6 AÇÕES CORRETIVAS IMEDIATAS

Em conformidade com o estudo realizado anteriormente e dos fatos que foram apresentados no decorrer deste trabalho, serão listadas as principais ações a serem tomadas para restabelecimento da condição de base do equipamento, uma vez que a causa raiz fora identificada como o não funcionamento da válvula solenóide do

sistema de arrefecimento, em decorrência do mau funcionamento do fusível, acarretando diversas falhas, pois o motor hidráulico passou a operar em temperaturas elevadas e fora dos seus parâmetros de projeto.

1) Constata-se a necessidade de substituição imediata do motor hidráulico, para que seja possível o retorno do equipamento em seu pleno estado de funcionamento.

2) Flushing das linhas de acionamento do guincho auxiliar, de forma a remover partículas remanescentes nas linhas. Nas mangueiras hidráulicas flexíveis, necessita-se realizar flushing a seco com PIG (dispositivos cilíndricos, de espuma ou material similar, usados para remover de tubulações e mangueiras, resíduos de água, ferrugem e outras impurezas).

4) Renovação do sistema hidráulico: Drenagem de todo o óleo do sistema hidráulico, limpeza do tanque e substituição do óleo por 1.800 litros do novo Shell Tellus S2 V ISO VG4 (óleo recomendado conforme norma ISO 4406 e NAS 9); se atentando para particulados e agregados que podem estar influenciando ou ocasionando ineficiência do sistema.

5) Substituição da válvula de contrabalanço Sun Hydraulic CAIG-LGN 1BA7 do guincho auxiliar.

4.7 APLICAÇÃO DOS TIPOS DE MANUTENÇÃO ASSOCIADOS AO SISTEMA HIDRÁULICO

Em conformidade com a manutenção corretiva descrita no tópico 4.6, fazendo com que o equipamento se tornasse disponível novamente para produção, faz-se necessário implantar medidas preventivas e preditivas, visando manter a disponibilidade do guindaste, de acordo com o tópico 2.1.

4. 7.1 Medidas de preservação para o sistema hidráulico

No que se refere a manutenção preditiva no sistema hidráulico, se faz necessário a instalação de uma unidade off-line de filtragem no guindaste por um

período de tempo, para o acompanhamento e análise do óleo, com contagem de partículas, de forma a equalizar o nível de NAS do óleo, assim, removendo qualquer contaminante que ainda poderia estar decantado no sistema.

O monitoramento da temperatura do motor hidráulico deverá se manter contínuo para evitar que haja quebra do filme lubrificante por alta temperatura, assim como o monitoramento de todo sistema hidráulico durante todas as operações para garantir o pleno funcionamento do sistema de arrefecimento.

Por sua vez, as manutenções preventivas também deveram ser respeitadas de modo a implantar e revisar planos de manutenção cabíveis ao guindaste. Levando em consideração os seus respectivos grau de prioridade, criticidade dos componentes e periodicidade.

4.8 ORÇAMENTO E ESTUDO ECONÔMICO

O planejamento para desenvolvimento de novos projetos ou a melhoria de um já existente, além da busca por equipamentos mais eficientes e seguros, é requerido que haja retorno financeiro, seja ele a curto, médio ou a longo prazo.

Com a definição dos principais objetivos da implantação de novas melhorias, com base em sistemas físicos e matemáticos, é realizado o estudo financeiro para que haja o uso seguro de capital de investimento, prevendo possíveis perdas e com projeções de economia e/ou lucro.

A parada não programada de equipamentos como guindastes, pode resultar em uma série de prejuízos à empresa, desde atrasos no carregamento ou descarregamento de materiais, até interrupções de atividades de manutenção na linha de produção que dependam das operações do guindaste. Tendo em vista restringir os problemas citados, é recomendável a implantação de procedimentos de controle de sistemas hidráulicos, conforme já abordado neste trabalho.

Sendo assim, fora realizado um estudo econômico da parada emergencial realizada no guindaste, levando em consideração toda a mão de obra utilizada para a manutenção corretiva, assim como os cabíveis materiais para reparo do conjunto, em um período de 15 dias, tempo este necessário para total restabelecimento do equipamento. Vale ressaltar que não foi realizado o levantamento das multas

aplicadas à empresa responsável pela plataforma, em função da inoperância do guindaste propriamente dito. A tabela 4 demonstra a análise econômica para execução das ações corretivas.

Tabela 4. Análise econômica para execução das ações corretivas

CUSTO DE MATERIAIS			
Item	Unidade	Custo unitário	Custo Total
Motor hidráulico SUNFAB type: SCM-130W-H-SD4-D13-S1U-100	01	R\$ 15.000,00	R\$ 15.000,00
Barril de óleo ISO VG 46 (Shell Tellus 46)	03	R\$ 2.000,00	R\$ 6.000,00
Filtros de retorno HYDAC (10 µm)	01	R\$ 1.000,00	R\$ 1.000,00
Válvula Sun Hydraulic CAIG-LGN 1BA7	01	R\$ 7.146,00	R\$ 7.146,00
Filtro de alta pressão CP-SAE Series	01	R\$ 3.000,00	R\$ 3.000,00
Válvulas direcionais (Proportional Directional Control Valve - Type WRZ / WRH, Size 25, Series 3X)	04	R\$ 5.000,00	R\$ 20.000,00
Cooler do sistema hidráulico	01	R\$ 10.000,00	R\$ 10.000,00
Custo TOTAL de Materiais para reparo emergencial			R\$ 62.146,00
CUSTO DE MÃO DE OBRA			
Valor da hora trabalhada (R\$/hora)		Custo Total de Mão de Obra do Reparo	
Engenheiro Mecânico	R\$ 100,00	R\$ 18.000,00	
Técnico Mecânico	R\$ 80,00	R\$ 14.400,00	
Inspetor	R\$ 80,00	R\$ 14.400,00	
Custo TOTAL de Mão de obra para reparo emergencial		R\$ 46.800,00	
Custo TOTAL do REPARO EMERGENCIAL (MÃO DE OBRA + MATERIAIS)		R\$ 108.946,00	

Fonte: O autor (2020).

Realizando planos de inspeção periódicos, responsáveis pelo controle da coleta de amostras de óleo para análise de partículas, verificação de temperatura do sistema, verificação de parâmetros como pressão e vazão, preservação de componentes como válvulas, bombas, motores hidráulicos e cabos elétricos de solenoides, dentre outras funções, visando atividades de prevenção ao próprio sistema hidráulico, e considerando que dois inspetores serão deslocados para realização dessas atividades durante duas horas por dia, foi feito um estudo do custo mensal necessário para que tais medidas preventivas e preditivas sejam mantidas, estando estas já listadas em tópicos anteriores, objetivando um comparativo entre o gasto necessário para estas atividades e o próprio custo de uma única parada do equipamento.

Considerando o custo do Hh dos colaboradores responsáveis pela execução dos planos periódicos sendo de R\$ 80,00/hora (razão entre a média de um salário de inspetor offshore pelas horas trabalhadas), e tendo em mente a utilização de 02 colaboradores durante 2 horas por semana, obtém-se a tabela 5.

Tabela 5 - Análise de custos para ações de preservação do sistema hidráulico

CUSTO DE INSPEÇÃO MENSAL (MEDIDAS PREVENTIVAS E PREDITIVAS DO SISTEMA HIDRÁULICO)	
Custo diário	R\$ 160,00
Custo semanal	R\$ 1.120,00
Custo mensal	R\$ 4.800,00
Custo anual	R\$ 57.600,00

Fonte: O autor (2020).

5 CONCLUSÃO

O trabalho retrata uma abordagem inicial introdutória, visando a apresentação geral deste equipamento que é desconhecido por muitos por serem aplicados em um setor específico que é o offshore. Evidenciando os principais tipos de guindastes, e os elementos que o compõe, a compreensão da importância da aplicação de planos de gerenciamento de manutenção deste equipamento se torna mais clara.

Com o objetivo de otimização do circuito hidráulico ineficiente do guindaste referenciado neste trabalho, é fundamental o conhecimento das grandezas que envolve o sistema hidráulico, e assim, a influência de cada componente nesses parâmetros, como bombas para as vazões, e válvulas para as pressões.

Aplicando conceitos de mecânica dos fluidos, termodinâmica, elementos de máquinas, dentre outros para a elaboração de uma análise de falha assertiva para a confiabilidade de sistemas hidráulicos, foi possível determinar a causa raiz da falha, às ações corretivas necessárias e o plano de atividades recomendáveis para conservação e preservação do sistema hidráulico do guindaste, garantindo assim, seu status de operacionalmente seguro.

6 BIBLIOGRAFIA

ABRAÇADO. M.P. A movimentação de cargas em plataformas offshore: da operação à integração ao projeto. Rio de Janeiro- RJ; Out/2013. Disponível em: <<http://www.producao.ufrj.br/index.php/en/theses-and-dissertations/dissertation/2013/293--255/file>>. Acessado em: 15/08/2020.

ABRÃO. E. C. Operador de Guindaste. Jacareí- SP; Abr/2011. Disponível em:<https://www.academia.edu/34570144/APOSTILA_DE_GUINDASTE>. Acessado em: 11/05/2020.

BRASIL. H. V. Máquinas de Levantamento. Rio de Janeiro- RJ: Editora Guanabara. S.A. 1988.

MIRANDA. R. S DE. Análise dinâmica de um guindaste offshore sobre pedestal. Rio de Janeiro- RJ; Ago/2019.. Disponível em: < http://w2.files.scire.net.br/atrio/ufrj-pem_upl//THESIS/1970/pemufjr2019mscrafaelsilvademiranda_20191016111233911.pdf>. Acessado em: 05/09/2020.

RONCETTI. L. Elaboração de diagramas de limite operacional para procedimentos de içamento offshore. Rio de Janeiro- RJ; Jun/2014. Disponível em: <<http://www.coc.ufrj.br/pt/documents2/mestrado/2014/2532-leonardo-roncetti-da-silva-mestrado/file>>. Acessado em: 11/05/2020.

RUDENKO. N. Máquinas de Elevação e Transporte. Rio de Janeiro- RJ: Livros Técnicos e Científicos Editora S.A. 1976.