



ANÁLISE DO PROCESSO DE INTERNALIZAÇÃO DE COMPONENTE
DE UM EQUIPAMENTO DE MOVIMENTAÇÃO DE CARGA DE
NAVIO SONDA: UM ESTUDO DE CASO EM UMA EMPRESA DE
ÓLEO E GÁS

Isabela Chapeta Mattoso Buitrago

Trabalho de Conclusão de Curso de Graduação submetido ao Corpo Docente da Engenharia Mecânica do Campus Macaé da Universidade Federal do Rio de Janeiro, como parte dos requisitos necessários à obtenção do grau de Engenheiro Mecânico.

Orientador: Maurício Oliveira, M. Sc.

Macaé – RJ
Julho de 2023

ANÁLISE DO PROCESSO DE INTERNALIZAÇÃO DE COMPONENTE
DE UM EQUIPAMENTO DE MOVIMENTAÇÃO DE CARGA DE
NAVIO SONDA: UM ESTUDO DE CASO EM UMA EMPRESA DE
ÓLEO E GÁS

Isabela Chapeta Mattoso Buitrago

TRABALHO DE CONCLUSÃO DE CURSO DE GRADUAÇÃO
SUBMETIDO AO CORPO DOCENTE DA ENGENHARIA MECÂNICA DO
CAMPUS MACAÉ DA UNIVERSIDADE FEDERAL DO RIO DE JANEIRO COMO
PARTE DOS REQUISITOS NECESSÁRIOS PARA OBTENÇÃO DO GRAU DE
ENGENHEIRO MECÂNICO.

Examinada por:

Prof. Maurício Oliveira, D. Sc.

Orientador – UFRJ Macaé

Prof. Diego Cunha Malagueta, D. Sc.

Membro interno – UFRJ Macaé

Prof. Bernardo Pompermayer,

Membro interno – UFRJ

Macaé – RJ

Julho de 2023

CIP - Catalogação na Publicação

B932

Buitrago, Isabela Chapeta Mattoso

Análise do processo de internalização de componente de um equipamento de movimentação de carga de um navio sonda: um estudo de caso em uma empresa de óleo e gás / Isabela Chapeta Mattoso Buitrago - Macaé, 2023.
61 f.

Orientador(a): Maurício Oliveira .

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

1. Engenharia reversa. 2. Propriedades mecânicas. 3. Processos de fabricação.
4. Engenharia mecânica. I. Oliveira, Maurício, orient. II. Título.

CDD 624

“O caos não é um poço. O caos é uma escada. Muitos que tentam escalá-la falham e nunca mais tentam. A queda os quebra. E alguns têm a chance de escalar, mas se recusam. Eles se agarram ao reino ou aos Deuses ou ao amor. Ilusões. Apenas a escada é real. A subida é tudo o que existe” (Petyr Baelish, 2013)

AGRADECIMENTOS

Em primeiro lugar agradeço aos meus pais, Nelia e Jefferson que me apoiaram e deram suporte à minha escolha de cursar Engenharia Mecânica, por terem construído uma base sólida e serem o meu alicerce e por viabilizarem meus estudos fora de casa. Sem eles, o meu sonho não seria possível. À minha irmã, Mariana, e ao meu sobrinho, Lucas, que sempre me motivaram e me ajudaram a não desistir.

Aos amigos que me acompanharam desde cedo e aos que fiz ao longo da graduação, que formam uma grande rede de apoio e me ajudaram a controlar minhas aflições ao longo de todo percurso. O apoio deles me faz ter certeza de que não estou sozinha mesmo longe de casa e isso é fundamental.

Aos professores excepcionais que contribuem de maneira particular à construção dinâmica do curso de Engenharia Mecânica, deixando suas impressões por onde passam e, naturalmente, tornaram-se grandes amigos.

Finalmente, ao meu orientador acadêmico, Maurício, que me acolheu como orientanda com muita paciência e compreensão, respeitando minhas limitações e me incentivando a externar o meu melhor. Sabemos o quanto essa etapa foi difícil pra mim e sem seu suporte eu não teria conseguido. Agradeço pela sua empatia, positividade e por não desistir de mim mesmo quando eu mesma parecia ter desisto, sem você o fechamento desse ciclo não seria possível.

RESUMO

Resumo do Projeto de Graduação apresentado à Universidade Federal do Rio de Janeiro como parte dos requisitos necessários para a obtenção do grau de Engenheiro Mecânico

ANÁLISE DO PROCESSO DE INTERNALIZAÇÃO DE COMPONENTE DE UM EQUIPAMENTO DE MOVIMENTAÇÃO DE CARGA DE NAVIO SONDA: UM ESTUDO DE CASO EM UMA EMPRESA DE ÓLEO E GÁS

Isabela Chapeta

Julho / 2023

Orientador: Mauricio Oliveira

Curso: Engenharia Mecânica

Este trabalho tem como objetivo analisar o processo de internalização de um componente de um equipamento de movimentação de carga de navio sonda, através da realização de um estudo de caso em uma empresa de óleo e gás. Para isso, foram utilizadas estratégias de gestão da manutenção para criação do procedimento interno da empresa, métodos para execução do estudo de engenharia reversa e fabricação, tais quais análise dimensional, propriedades de materiais metálicos, ensaios e processos de fabricação. O estudo apresentado trata-se do processo de engenharia reversa necessário para fabricação de um item de reposição de um equipamento de movimentação de carga que foi descontinuado pelo fabricante. Desta forma, o estudo foi conduzido com o objetivo de encontrar um material equivalente, de fácil acesso, que atenda aos requisitos do projeto para fabricação do item. A pesquisa mostrou que foi possível obter os dados dimensionais a partir da amostra e que o material alternativo atende aos requisitos do projeto original do item, possibilitando então a fabricação e utilização da peça fabricada como um item de reposição para manutenção do equipamento.

Palavras-chave: Manutenção estratégica. Engenharia Reversa. Propriedades mecânicas. Ensaios Mecânicos. Processos de Fabricação.

ABSTRACT

Abstract of the Undergraduate Project presented to the Federal University of Rio de Janeiro as part of the requirements necessary to obtain the degree of Mechanical Engineer

ANALYSIS OF THE COMPONENT INTERNALIZATION PROCESS OF
A DRILLSHIP CARGO HANDLING EQUIPMENT: A CASE STUDY IN
AN OIL AND GAS COMPANY

Isabela Chapeta

JULY / 2023

Advisor: Mauricio Oliveira

Course: Mechanical Engineering

This work aims to analyze the internalization process of a component of a drillship cargo handling equipment, through the realization of a case study in an oil and gas company. For this, maintenance management strategies were used to create the company's internal procedure, methods for performing the reverse engineering and manufacturing study, such as dimensional analysis, properties of metallic materials, tests and manufacturing processes. The study presented is about the reverse engineering process required to manufacture a replacement item of a cargo handling equipment that was discontinued by the manufacturer. Thus, the study was conducted with the objective of finding an equivalent material, easily accessible, that meets the requirements of the project for the manufacture of the item. The research showed that it was possible to obtain dimensional data from the sample and that the alternative material meets the requirements of the original design of the item, thus enabling the manufacture and use of the manufactured part as a replacement item for equipment maintenance.

Keywords: Strategic maintenance. Reverse engineering. Mechanical properties. Mechanical Tests. Manufacturing Processes.

ÍNDICE

1. INTRODUÇÃO	1
1.1. Justificativa	2
1.2. Motivação	3
1.3. Objetivo Geral	3
1.4. Objetivos Específicos	3
1.5. Delimitação do Tema	4
1.6. Estrutura do Trabalho	4
2. REVISÃO DE LITERATURA	6
2.1. Indústria do Petróleo no Brasil	6
2.1.1. Cenário atual.....	10
2.2. Manutenção	11
2.2.1. Histórico da Manutenção.....	12
2.2.2. Gestão Estratégica da Manutenção.....	17
2.3. Engenharia Reversa	19
2.3.1. Aplicação na Indústria	21
2.3.2. Etapas do Processo de ER	22
2.4. Propriedades Mecânicas dos Metais	24
2.5. Ensaio Mecânicos	26
2.5.1. Ensaio de Tração	26
2.5.2. Ensaio de Impacto de Charpy.....	28
2.5.3. Teste de Dureza	30
3. PROCEDIMENTO METODOLÓGICO	31
3.1. Metodologia de Estudo de Caso	32
3.2. A Empresa X	33
3.2.1. Procedimento de Internalização de Equipamentos e Peças.....	35
3.3. Internalização de Fabricação: O Caso da porca do Guindaste	36
3.4. O Processo de Engenharia Reversa da Porca do Guindaste	37
3.4.1. Inspeção dimensional e prototipagem em CAD	37
3.4.2. Identificação do Material.....	38
3.4.3. Tratamento térmico.....	41
3.4.3.1. Normalização	41

3.4.3.2.	Têmpera.....	42
3.4.3.3.	Revenido.....	43
3.4.4.	Ensaio Mecânicos	44
3.4.4.1.	Ensaio de Impacto Charpy	44
3.4.4.2.	Ensaio de Tração	45
3.4.4.3.	Ensaio de Dureza Brinell.....	46
3.4.5.	Tensão Equivalente de Von-Mises	48
3.4.6.	Simulação em software de elementos finitos	51
4.	DISCUSSÃO DOS RESULTADOS.....	53
5.	CONSIDERAÇÕES FINAIS	55
5.1.	Possibilidade de Trabalhos Futuros	56
5.2.	Limitações do Estudo.....	56
6.	REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	57
	APÊNDICES	61

LISTA DE FIGURAS

Figura 1: Trajetória do Brasil na indústria petrolífera	8
Figura 2: Processo de indução/geração de tecnologias da área de petróleo offshore	9
Figura 3: Evolução da Manutenção	15
Figura 4: Tipos de Manutenção	16
Figura 5 Resultados x Tipos de Manutenção	17
Figura 6 Visão Geral da Manutenção de Equipamentos	19
Figura 7 Comparação dos processos de desenvolvimento de produto tradicional e através da Engenharia Reversa	20
Figura 8 Etapas do processo de Engenharia Reversa (Lima, 2003)	20
Figura 9: Representação esquemática dos tipos de tensão a que está sujeita uma estrutura	24
Figura 10: Um corpo de provas padrão para ensaios de tração com seção transversal circular	26
Figura 11: Representação esquemática do equipamento usado para condução de ensaios de tração.....	27
Figura 12: Corpo de prova modelo Charpy	29
Figura 13: Desenho esquemático de um martelo pendular para ensaio de choque/impacto.....	30
Figura 14: Método Brinell para medida de dureza	31
Figura 15: Resultados consolidados de receita bruta e líquida da Empresa X em bilhões.	34
Figura 16: Relação do número de integrantes efetivos da Empresa X.....	35
Figura 17: Desenho em CAD da peça - Porca do Guindaste.....	38
Figura 18: Gráfico de Tratamento Térmico – Normalização	42
Figura 19: Gráfico de Tratamento Térmico – Têmpera	43
Figura 20: Gráfico de Tratamento Térmico – Revenimento	44
Figura 21: Máquina para ensaio de impacto Charpy	45
Figura 22: Máquina universal de Tração Instron.....	46
Figura 23: Durômetro	47
Figura 24: Desenho 3D da peça no Solid	51
Figura 25: Resultado da simulação no Solid	52
Figura 26: Corte ampliado da simulação no Solid	52

LISTA DE TABELAS

Tabela 1: Propriedades Físicas e Mecânicas do Material da peça original	39
Tabela 2: Sistema de especificação SAE e Faixas de Composição para Aços-Carbono Comuns e Vários Aços Baixa Liga	40
Tabela 3: Propriedades do material adquirido para fabricação do protótipo.....	41
Tabela 4: Resultado do Ensaio de Charpy	45
Tabela 5: Resultado dos teste de tração	46
Tabela 6: Resultado do teste de dureza Brinell	47
Tabela 7: Comparação de Resultados.....	53

1. INTRODUÇÃO

O avanço tecnológico dos últimos anos, combinado com a globalização de mercado, produziu um cenário econômico altamente competitivo. Onde ao mesmo tempo em que gera oportunidades de expansão das atividades, também pode se tornar uma ameaça à continuidade dos negócios. Além do ambiente de alta competitividade, a cobrança por soluções inovadoras também é uma consequência deste desenvolvimento.

No setor petrolífero, esse cenário econômico altamente competitivo exigiu das empresas, além de um desempenho superior, custos mais baixos, sem que haja alteração nas entregas, desde prazo até qualidade do serviço oferecido

Diante disso, as organizações interessadas em assegurar sua continuidade no setor a qual pertencem precisam rever seus métodos e processos, focar em melhoria contínua e aderir a uma gestão estratégica direcionada para redução de custos e desenvolvimento tecnológico. É nesse sentido que Souza, Bacic e Rabelo (1995) apresentam a ideia de que como consequência do surgimento de um novo padrão tecnológico e da intensificação da concorrência, a redução do tempo de vida das tecnologias e o aumento da fluidez dos mercados, tem exigido que o foco da gestão de custos fosse expandido de forma a torná-la consistente com a elaboração e o desenvolvimento da estratégia competitiva empresarial.

Quando se fala em produção industrial, independente do nível de automação, a produtividade e a qualidade do produto final necessitam do desempenho do equipamento, que está diretamente ligado ao estado de conservação e funcionamento do mesmo. Desse modo, a manutenção se torna peça fundamental para obtenção dos resultados da organização. Para Kardec & Nascif (2009), a manutenção não pode estar limitada em reparar o equipamento de forma a devolver suas funcionalidades no menor tempo possível, ela precisa manter a função do equipamento disponível para a operação, reduzindo a probabilidade de uma parada de produção não desejada, ou seja, precisa deixar de ser eficiente para se tornar eficaz e, com isso, estar voltada para os resultados empresariais da organização.

Independente do tipo de manutenção, a troca de alguns itens é inevitável, e esses itens sobressalentes ou peças de reposição podem ser desde itens consumíveis de baixo custo e que são repostos prontamente até peças e alto custo e complexidade que

muitas vezes são produzidas sob encomenda. Estas podem possuir, além de alto custo, prazo para entrega elevado, baixa rotatividade no estoque e, frequentemente, dependência de um único fornecedor, reduzindo o poder de negociação (SAGGIORO; MARTIN; LARA, 2008). A partir disso, o mercado tem investido na nacionalização ou internalização de peças de reposição que consiste basicamente em encontrar soluções, utilizando principalmente o processo de engenharia reversa, para substituir itens críticos que normalmente são adquiridos exclusivamente através dos fabricantes dos equipamentos.

1.1. Justificativa

Diante do cenário apresentado, a escolha de realizar um estudo de caso do processo de internalização de uma peça de reposição de um equipamento de movimentação de carga de navio sonda como tema, justifica-se pelo fato de que a dificuldade de aquisição de peças de reposição pode acarretar indisponibilidade do equipamento e conseqüentemente parada da produção, afetando diretamente a produtividade. Sabendo que a permanência das empresas no mercado atual, com alta competitividade, depende do quão maior a produtividade de uma organização está em relação aos seus concorrentes, sendo esta produtividade dada pela razão entre o faturamento e os custos (KARDEC & NACSIF, 2009). É possível notar que procedimentos que garantam a disponibilidade dos equipamentos sem abrir mão da confiabilidade e que seja uma ferramenta potencial para redução de custos de manutenções, pode impactar diretamente no preço final do produto ou serviço, dar espaço para melhorias e inovações e, com isso, aumentar a competitividade de mercado. Beneficiando assim, tanto as organizações como os consumidores.

Utilizar a engenharia reversa, ou reengenharia, como ferramenta de manutenção é uma maneira de atingir esse objetivo através da nacionalização ou internalização de peças, isto é, fabricar as peças em território nacional ou, até mesmo, dentro da própria organização, ao invés de importa-las. Isso pode ser aplicado em setores da economia onde a importação pode deixar de ser vantajosa e trazer custos adicionais, comprometendo a sua posição estratégica no mercado competitivo, assim como em situações em que o equipamento e suas peças foram descontinuados.

Sendo assim, este estudo visa analisar uma metodologia, utilizando projeto de engenharia reversa, para fabricação de sobressalentes a partir de peças existentes de

forma a reduzir encargos de importação e prazo de entrega e, como efeito, o prazo de execução do serviço, além de abrir espaço para inovação, qualificar tecnicamente os funcionários, fomentar a indústria nacional e adquirir autonomia com relação ao fabricante.

1.2. Motivação

A escolha do ramo de óleo e gás deu-se pela forte presença desse segmento na cidade de Macaé, Rio de Janeiro, não à toa intitulada capital nacional do petróleo. O acompanhamento das inspeções, manutenções e reparos, assim como dos estudos de engenharia para desenvolvimento de peças, presente nas experiências profissionais da autora, despertou grande interesse desde o momento em que pôde conhecer detalhadamente a gestão da manutenção e o estudo de engenharia.

As ferramentas de análise metalográfica e dimensionamento de peças, cada vez mais desenvolvidas e precisas estimularam a busca por conhecimento e domínio de metodologias aplicáveis. As técnicas utilizadas já haviam sido introduzidas para a autora durante a graduação e na vida profissional, mas ainda não exploradas em situações reais.

Em suma, a motivação para a realização deste trabalho partiu de uma combinação de interesses pessoais da autora: o entusiasmo por equipamentos mecânicos, seu funcionamento e complexidade, assim como a curiosidade e desejo de aprofundar os conhecimentos relacionados aos métodos de análise e dimensionamento, prototipagem e teste de peças.

1.3. Objetivo Geral

Considerando-se os principais elementos do cenário até aqui apresentado, este trabalho tem como objetivo geral analisar processo de internalização de componente de um equipamento de movimentação de carga de navios sonda através de um estudo de caso em uma empresa de óleo e gás.

1.4. Objetivos Específicos

De acordo com a delimitação temática até aqui apresentada, estabelecem-se ainda, os seguintes objetivos específicos:

- a) Contextualizar a indústria do petróleo e descrever o cenário atual do mercado;
- b) Conceituar Manutenção Estratégica;
- c) Apresentar a engenharia reversa como ferramenta dos processos de internalização de fabricação;
- d) Definir os aspectos principais do processo de internalização;
- e) Analisar o processo de internalização da porca do guindaste realizado pela Empresa X.

1.5. Delimitação do Tema

Partindo-se do princípio de que delimitar a pesquisa é estabelecer limites para a investigação (MARCONI E LAKATOS, 2005) e considerando a complexidade dos assuntos abordados, este trabalho não pretende esgotar todo o conteúdo referente ao planejamento da manutenção e aos processos de fabricação, do mesmo modo que não se propõe a tratar questões legais e tributárias. Sendo assim, o enfoque deste estudo é apresentar uma metodologia para fabricação de peças utilizando engenharia reversa e mostrar como esse procedimento auxilia no planejamento da manutenção estratégica.

1.6. Estrutura do Trabalho

Para alcançar o seu objetivo central, o presente trabalho foi estruturado em cinco capítulos, sendo esta introdução o primeiro deles.

O segundo capítulo, referente à revisão de literatura, foi estruturado com base em quatro temáticas. Primeiro, propõe-se a contextualizar a indústria do petróleo no Brasil apresentando uma visão geral do histórico e do cenário atual. A segunda temática tem como intenção introduzir ao leitor as definições mais relevantes de Manutenção Industrial baseadas na teoria apresentada por Paulo Samuel de Almeida no livro *Manutenção Mecânica Industrial – Conceitos Básicos e Tecnologia Aplicada*, seguida da terceira temática que visa apresentar dos conceitos de Engenharia Reversa. Por último o estudo apresenta os processos para fabricação e teste de materiais metálicos.

O terceiro capítulo trata do estudo de caso, tendo início com a apresentação da metodologia utilizada no trabalho. A organização na qual o estudo foi realizado, apresentada neste estudo com o nome fictício Empresa X, é contextualizada através da exposição de algumas de suas características, estrutura organizacional e procedimentos

5

internos para realização do processo de internalização. O estudo de caso é abordado a seguir, são apresentadas todas as etapas para realização do estudo de engenharia seguindo o procedimento da empresa.

O quarto capítulo compromete-se com a discussão dos resultados do presente estudo, considerando as informações apresentadas e as etapas anteriores. Por fim, no capítulo cinco, são apresentadas as considerações finais.

2. REVISÃO DE LITERATURA

2.1. Indústria do Petróleo no Brasil

Com o objetivo de compreender os principais fatos da indústria do petróleo no Brasil, sua importância e o contexto em que a Empresa X, objeto deste estudo, se encontra, neste tópico serão apresentados os principais marcos históricos do setor petrolífero no Brasil, até o panorama mais recente.

O começo da história do petróleo no Brasil, segundo Thomas (2001), teve início em 1858 com a assinatura do Decreto nº 2.266 por Marquês de Olinda, no qual concede o direito de extrair mineral betuminoso para fabricação de querosene às margens do rio Maraú, na então província da Bahia, à José Barros Pimentel. Em 1859, durante a construção da Estrada de Ferro Leste Brasileiro, foi constatado gotejamento de óleo em Lobato, no subúrbio de Salvador, pelo o inglês Samuel Allport. Contudo, a procura por petróleo no Brasil oficialmente ocorreu em 1864, quando o Governo imperial concedeu autorização ao inglês Thomas Sargnt, para prospecção e lavra de turfa, petróleo e outros minerais em Camamu e Ilhéus, na província da Bahia, afim de extrair óleo para iluminação (MORAIS, 2013). Ainda de acordo com Moraes (2013), o início do desenvolvimento da área de óleo e gás no país na década de 1860 era resultado da corrida mundial pela procura de fontes minerais para a fabricação de óleo para iluminação, que objetivava substituir os combustíveis derivados do carvão e/ou de origem animal.

Somente 30 anos depois, em 1891, os primeiros relatos de pesquisas sobre o assunto ocorreram, devido aos sedimentos argilosos betuminosos existentes no litoral de Alagoas. Alguns anos depois, em 1897, Eugênio Ferreira Camargo perfurou o primeiro poço de petróleo em Bofete, São Paulo, que atingiu 488 metros de profundidade com produção de 0,5m³ de óleo, segundo relatos da época. O Serviço Geológico e Mineralógico do Brasil perfurou cerca de 60 poços, após sua criação em 1919, no Pará, Alagoas, Bahia, São Paulo, Paraná, Santa Catarina e Rio Grande do Sul, sem sucesso (THOMAS, 2001). Enquanto no Brasil havia baixo interesse em explorar petróleo, principalmente devido à situação de que não eram encontradas jazidas. Ao redor do mundo, principalmente nos Estados Unidos, o processo de exploração de petróleo e produção de querosene se intensificava e promovia avanços tecnológicos. Esse cenário

perdurou por anos, gerando dúvidas sobre a existência de hidrocarbonetos no país (MORAIS, 2013).

De acordo com Thomas (2001), em 1939 na perfuração do poço DNPM-163, em Lobato, no Recôncavo Baiano, sob competência do recém-criado Departamento Nacional de produção Mineral (DNPM), foi encontrado petróleo a uma profundidade de 210 metros. O autor afirma que os resultados da exploração neste poço, embora tenha sido considerado antieconômico, foram de fundamental importância para o desenvolvimento do setor óleo e gás no país. Segundo estudo apresentado por Morais (2013), a manifestação de petróleo em Lobato e as descobertas subsequentes entre 1941 e 1942 no estado da Bahia, começaram a distanciar a ideia de que no Brasil não teria petróleo.

Thomas (2001) aponta que um marco importante na história da indústria petrolífera no Brasil foi a criação da Petrobras durante o governo Vargas, em 1953, onde foi instituindo o monopólio estatal do petróleo com a missão de solucionar a questão da alta dependência brasileira do petróleo importado. Contudo, Morais (2013) salienta que os mais de vinte anos de pesquisa e exploração no Nordeste, principalmente em Sergipe e Rio Grande do Norte, foram insuficientes para reverter o quadro de crescente dependência do petróleo importado. A necessidade de encontrar novas jazidas para diminuição da dependência de importações e consequente busca da autossuficiência se intensificou após as duas crises mundiais do petróleo, em 1973 e em 1979, devido à instabilidade macroeconômico causada pelos altos preços pagos na importação do petróleo pelo Brasil, sendo estes os principais fatores motores da procura de fontes de petróleo no país (MORAIS, 2013). De acordo com Morais (2013), a possibilidade de conquistar a autossuficiência na produção de petróleo começou a ganhar força entre 1974 e 1976, com a revelação da Bacia de Campos – 35 anos depois das descobertas iniciais na Bahia.

Morais (2013) relata que ao focar na exploração marítima de petróleo logo após as primeiras descobertas, considerando a carência de domínio intelectual sobre os equipamentos que seriam instalados nos primeiros poços, o Brasil assumiu riscos econômicos e tecnológicos elevados para atender a urgência em iniciar a produção de petróleo nas jazidas da Bacia de Campos. Em razão do recente aumento do número de campos num intervalo curto de tempo, os riscos e investimentos assumidos na produção

da Bacia de Campos se mostravam como os maiores até então verificados em diversas regiões marítimas do mundo. Em contrapartida, o autor alega que a indústria reforçava a possibilidade de altos retornos financeiros.

Segundo Morais (2013), em meados da década de 1980, os equipamentos relativos à produção marítima de petróleo eram capazes de operar para profundidades de cerca de 400 metros. Nessa ponto, as questões técnicas envolvendo produção em águas rasas (até 300 metros de lâmina d'água) estavam solucionadas. A partir de 1986, chegava uma nova etapa da produção de petróleo no Brasil com a descoberta das jazidas em águas profundas, com lâminas d'água com até 1.000 metros, demandando saltos tecnológicos e levantando questionamentos a respeito da possibilidade de alcançar produtivamente tamanha profundidade.

Além da Bacia de Campos, com os campos de Marlin e Albacora, Thomas (2001) também menciona dois outros fatos relevantes da década de 1980, a constatação de existência de petróleo em Mossoró, Rio Grande do Norte, que em pouco tempo tornou-se a segunda maior área produtora de petróleo no país e as descobertas do Rio Urucu, no Amazonas.

Para Morais (2013) a trajetória do Brasil na indústria do petróleo pode ser resumida em cinco fases, conforme Figura 1:

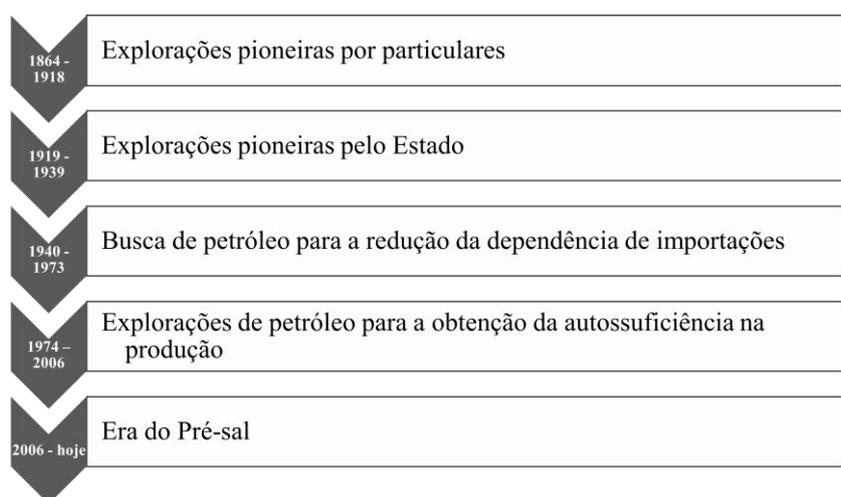


Figura 1: Trajetória do Brasil na indústria petrolífera

Fonte: Adaptado de Morais (2013)

Morais (2013) aponta que o estímulo ao desenvolvimento de novas tecnologias voltadas para a indústria de produção de petróleo offshore se dá a partir

compreensão da grande diversidade das condições físicas e ambientais presentes na exploração e produção de petróleo offshore e seus impactos na operação. Como desafios tecnológicos da exploração marítima o autor cita as condições ambientais, as grandes distâncias entre a plataforma e o poço, a invisibilidade das operações, os elementos contaminantes do petróleo e sua viscosidade (MORAIS, 2013).

O autor cita como desafios tecnológicos da exploração offshore as condições ambientais, as grandes distâncias entre a plataforma e o poço (e vice-versa), a invisibilidade das operações, os elementos contaminantes do petróleo e sua viscosidade. Com base nisso, ao identificar as barreiras tecnológicas enfrentadas, empresas petrolíferas junto com instituições de ciência e tecnologia, uniram profissionais diversos – exploradores, técnicos operacionais, pesquisadores – e deram início à fase de pesquisa e desenvolvimento de equipamentos e processos para a exploração, extração e produção de petróleo (MORAIS, 2013).

Morais (2013) sintetiza o processo de desenvolvimento de tecnologias para produção offshore na Figura 2:

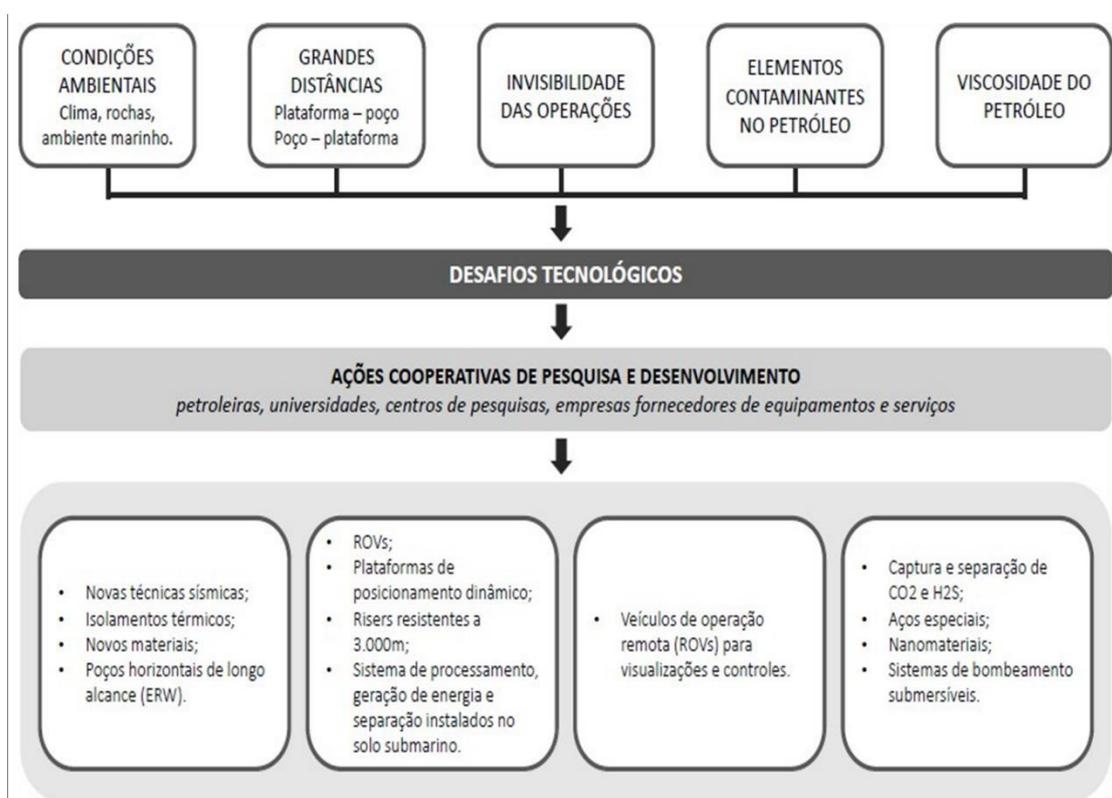


Figura 2: Processo de indução/geração de tecnologias da área de petróleo offshore

Fonte: Adaptado de Morais (2013).

Morais (2013) evidencia que a princípio as tecnologias utilizadas no Brasil foram importadas à medida que os primeiros campos de petróleo na Bacia de Campos foram se desenvolvendo, entre 1977 e 1984. Apenas quando os campos de petróleo gigantes de Albacora e Marlim foram descobertos, em 1986, que foi preciso gerar tecnologias próprias para explorar e produzir em águas profundas. O desenvolvimento de tecnologia conduzido na Petrobras, é realizado ou coordenado pelo Centro de Pesquisas e Desenvolvimento (CENPES), que conta com a colaboração de diversas instituições de pesquisas, parceria com cerca de 100 universidades, empresas produtoras de equipamentos e fornecedores de serviços.

Svoboda e Yue (2017) destacam que no Brasil a dependência do petróleo seguiu a tendência mundial, assumindo altas posições nos rankings de produção de petróleo bruto, sendo atualmente uma das grandes referências desse segmento. Os autores relatam que o Brasil aparece entre os trinta países mais relevantes da indústria de óleo e gás do mundo. ranking mundial de produção petrolífera de 2015, o Brasil alcançou o décimo segundo lugar mundial, quinto nas Américas, terceiro na América Latina e segundo na América do Sul (Svoboda e Yue, 2017).

Entre 2014 e 2016, os investimentos destinados à produção de petróleo no país declinaram cerca de 40%, a recuperação no ano seguinte, 2017, foi de apenas 4%, com configuração distinta em cada região. O corte de custos e adiamento de investimentos na indústria de óleo e gás, segundo a Petrobras (2018), foi resultado da queda substancial dos preços do petróleo. Esse cenário alterou situação competitiva da companhia no mercado.

De acordo com Svoboda e Yue (2017), pressionada a seguir um caminho mais conservador a Petrobras começou a controlar suas finanças através da diminuição de investimentos, venda de ativos e fechamento de poços logo no início de 2016, por consequência do baixo preço do petróleo e do escândalo de corrupção envolvido. O autores apontam que, por outro lado, essas ações levaram a reformas recentes no setor offshore do Brasil e, assim, o caminho é de melhoria nos termos fiscais para novas licitações. Com isso o país dá sinais de que está voltando para o caminho de desenvolvimento no setor de óleo e gás, após esse período conturbado.

2.1.1. Cenário atual

A retomada do mercado iniciou após a aprovação da Lei 13.365, de novembro de 2016, onde passa a ser facultativo à Petrobrás o direito de preferência para atuar como operador e possuir participação mínima de 30% nos consórcios formados para exploração de blocos licitados no regime de partilha de produção (como citar a lei?), esta ação do governo federal visava atrair investidores para todos os ambientes de exploração e produção existentes no Brasil.

Segundo o Anuário Estatístico Brasileiro do Petróleo, Gás Natural e Biocombustíveis (ANP, 2018; 2019), a produção do Brasil representou 3% da produção global total - considerando também Líquido de Gás Natural (LGN) – colocando o país na 10ª posição no ranking de produção de petróleo mundial em 2017. No ranking de países que mais consumiram petróleo em 2017, o Brasil ocupou o sétimo lugar, com consumo de cerca de 3 milhões de barris/dia (3,1% do total mundial) em 2017 e manteve sua posição no ano seguinte, 2018.

Em 2019 o Brasil se consolida como o 10º maior produtor de petróleo no mundo com a produção de aproximadamente 2,8 milhões de barris/dia (3% do total mundial) (ANP, 2020). Em 2020 o mundo registrou queda de 6,9% da produção mundial com relação ao ano anterior produzindo 88,4 milhões de barris/dia, no entanto o Brasil subiu uma posição no ranking mundial, ocupando a 9ª posição, com 3,4% da produção mundial (pouco mais de 3 milhões de barris/dia) (ANP, 2021).

Até a data de elaboração deste estudo a Agência Nacional de Petróleo (ANP) não havia divulgado o anuário com os dados consolidados de 2021, contudo, o último Boletim Mensal da Produção de Petróleo e Gás Natural (ANP, 2022) que apresenta os dados de Novembro/2021, aponta que a produção de petróleo e gás natural nesse mês no Brasil foi de aproximadamente 2,8 milhões de barris/dia, isso representa um aumento 2,7% na produção de petróleo comparado ao mês anterior e de 3,5% em comparação com novembro de 2020.

Com a notada crescente de produção de petróleo no país desde 2017, espera-se que o Brasil supere as expectativas de produção diária em 2022.

2.2. Manutenção

Primeiramente é importante conceituar manutenção para então discutir seus avanços e variações. O dicionário Aurélio define manutenção como sendo a ação de

manter, sustentar e/ou conservar algo ou alguém, assim como define como sendo o conjunto de medidas utilizadas para manter e/ou conservar algo de forma a garantir seu bom funcionamento.

Segundo a NBR 5462-1994, norma que define termos relacionados a confiabilidade e manutenibilidade, manutenção é a reunião de ações técnicas e administrativas que tem por objetivo preservar ou recolocar um item em um estado no qual possa desempenhar uma função requerida, estas ações incluem modificação e melhoria do item quando necessário e possível. Sendo item definido como “Qualquer parte, componente, dispositivo, subsistema, unidade funcional, equipamento ou sistema que possa ser considerado individualmente (NBR 5462/1994, p.1)”.

A partir desses conceitos, Xenos (1994) entende que a existência da manutenção se dá pela necessidade de evitar o desgaste, por causas naturais ou pelo uso, de equipamentos e instalações. Visto que esse desgaste pode se apresentar de diferentes formas, desde aparência até perda de desempenho e falha.

2.2.1. Histórico da Manutenção

Desde os primórdios das civilizações podem ser observadas atividades relacionadas à manutenção, tais como conservação e reparos de ferramentas e objetos. Segundo Pascoli (1994), a manutenção faz parte do cotidiano da humanidade desde quando os Vikings realizavam manutenções em seus barcos para garantir seu perfeito estado durante as batalhas por volta do Século X. No século XVI, na Europa Central, começou a ser conhecida com o nome de manutenção com o surgimento do relógio mecânico, quando, por consequência, surgiram os primeiros técnicos em montagem e assistência. Porém, apenas com o avanço tecnológico proveniente da Revolução Industrial no século XVII, marcada pela substituição do trabalho manual por máquinas, que a manutenção surgiu como uma prática na indústria a fim de garantir a continuidade do trabalho. Nesta época o próprio operador era treinado para realizar reparos na máquina da qual era responsável (WIREBSK, 2007).

Este cenário no qual a indústria era pouco mecanizada, os equipamentos eram simples e a manutenção se encontrava em segundo plano perdurou até a Segunda Guerra Mundial. Neste sentido que se manifestam Kardec & Nascif (2009), quando

afirmam que, a partir de 1930, a evolução da manutenção pode ser dividida em quatro gerações, apresentadas na Figura 3, que são:

a. Primeira geração: Abrange todo o período que antecede a Segunda Guerra Mundial. Neste período, além da produtividade não ser prioridade e conseqüentemente a manutenção sistematizada ser vista como desnecessária, a ideia de que todos os equipamentos sofreriam quebras ou falhas, pois se desgastavam com o tempo, fez com que esta geração tenha a manutenção corretiva não planejada como característica.

b. Segunda Geração: Compreende no período entre os anos 50 e 70 do século XX, ou seja, pós Segunda Guerra Mundial. Com o aumento da demanda por produtos e diminuição do contingente de mão de obra industrial, conseqüências da guerra, houve um grande aumento da mecanização das instalações industriais.

A dependência do bom funcionamento das máquinas para manter a produtividade alta, revelou a necessidade de evitar falhas nos equipamentos. Resultando no conceito da manutenção preventiva, que nesta época consistia em intervenções com intervalos fixos.

c. Terceira Geração: Tem início na década de 70 e segue até o início do século XXI. Neste período o processo de automação e mecanização industrial foi acelerado, ou seja, a produção passou a depender cada vez mais do bom funcionamento dos equipamentos. Esta dependência fazia com que a paralização da produção resultasse em prejuízos tanto financeiros quanto na qualidade dos produtos. Este cenário reforçou o conceito da manutenção preventiva e sua utilização, estimulou o desenvolvimento de softwares para o planejamento, controle e acompanhamento dos serviços de manutenção, fez com que o conceito de confiabilidade fosse cada vez mais aplicado pela engenharia e na manutenção. Como efeito deste último e sustentado pelos estudos de confiabilidade da indústria aeronáutica, o processo de Manutenção Centrada na Confiabilidade teve início no Brasil na década de 90. Mesmo com este avanço dos estudos de confiabilidade, as taxas de falhas prematuras dos equipamentos eram elevadas, isto se deve a ausência de interação entre as áreas de engenharia, manutenção e operação.

d. Quarta Geração: Principiou no início do século XXI e se mantém até os dias de hoje. Esta geração é caracterizada, principalmente, pelo aprimoramento e implementação dos conceitos estabelecidos na terceira geração:

Disponibilidade, Confiabilidade e Manutenibilidade, justificando a consolidação do exercício da Engenharia da Manutenção. Sendo a minimização das falhas prematuras e a redução de intervenções na planta, dois grandes desafios da manutenção, atividades como a análise de falhas, manutenção preditiva e monitoramento da condição do equipamento se tornaram práticas cada vez mais utilizadas. A ausência de interação entre as áreas de engenharia, manutenção e operação, notada na geração anterior como um dos fatores que dificultavam a diminuição de falhas prematuras, é solucionada nesta de forma que a sistemática adotada pelas empresas garanta a disponibilidade, confiabilidade e custo do ciclo de vida da instalação.

EVOLUÇÃO DA MANUTENÇÃO				
	Primeira Geração	Segunda Geração	Terceira Geração	Quarta Geração
Ano				
Aumento das expectativas em relação à Manutenção	<ul style="list-style-type: none"> • Conserto após a falha 	<ul style="list-style-type: none"> • Disponibilidade crescente • Maior vida útil do equipamento 	<ul style="list-style-type: none"> • Maior confiabilidade • Maior disponibilidade • Melhor relação custo-benefício • Preservação do meio ambiente 	<ul style="list-style-type: none"> • Maior confiabilidade • Maior disponibilidade • Preservação do meio ambiente • Segurança • Influir nos resultados dos negócios • Gerenciar os ativos
Visão quanto à falha do equipamento	<ul style="list-style-type: none"> • Todos os equipamentos se desgastam com a idade e, por isso, falham 	<ul style="list-style-type: none"> • Todos os equipamentos se comportam de acordo com a curva da banheira 	<ul style="list-style-type: none"> • Existência de 6 padrões de falha 	<ul style="list-style-type: none"> • Reduzir drasticamente falhas prematuras
Mudança nas técnicas de Manutenção	<ul style="list-style-type: none"> • Habilidades voltadas para o reparo 	<ul style="list-style-type: none"> • Planejamento manual da manutenção • Computadores grandes e lentos • Manutenção Preventiva (por tempo) 	<ul style="list-style-type: none"> • Monitoramento da condição • Manutenção Preditiva • Análise de risco • Computadores pequenos e rápidos • Softwares potentes • Grupos de trabalho multidisciplinares • Projetos voltados para a confiabilidade • Contratação por meio de obra e serviços 	<ul style="list-style-type: none"> • Aumento da Manutenção Preditiva e Monitoramento da condição • Minimização nas manutenções Preventiva e Corretiva não planejada • Análise de falhas • Técnicas de confiabilidade • Manutenibilidade • Engenharia de Manutenção • Projetos voltados para confiabilidade, manutenibilidade e custo do ciclo de vida • Contratação por resultados

Figura 3: Evolução da Manutenção

Fonte: Adaptado de Kardec & Nascif (2009)

Diante dos conceitos e do histórico até aqui apresentados, é possível observar que existem diversas formas atuação da manutenção, sendo caracterizada essencialmente entre planejada e não planejada. A maneira com que a intervenção é feita caracteriza o tipo de manutenção e ela pode ser essencialmente dividida em 5 principais tipos, conforme apresenta a Figura 4: Corretiva, Preventiva, Preditiva, Detectiva e Engenharia da Manutenção.

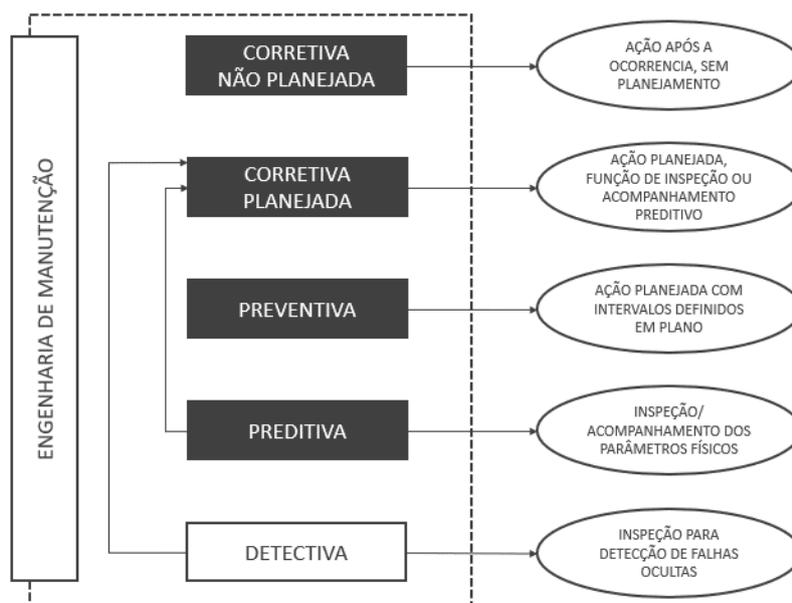


Figura 4: Tipos de Manutenção

Fonte: Adaptado de Kardec & Nascif (2009)

De acordo com Kardec e Nascif (2009), a Engenharia de Manutenção é a área de suporte técnico destinado a consolidar a rotina e implantar a melhoria. Para isso, os autores apontam que essa área é responsável por aumentar a confiabilidade, disponibilidade e segurança, melhorar a manutenibilidade e a capacitação do pessoal, eliminar problemas crônicos, solucionar questões tecnológicas, participar de projetos, criar planos de inspeção e manutenção com olhar crítico, auxiliar a execução, gerenciar materiais, acompanhar indicadores de performance, realizar análise de falhas e estudos de causa raiz e, por fim, elaborar e acompanhar a documentação técnica.

Kardec e Nascif (2009) resumem a Engenharia da Manutenção como sendo o conjunto de atividades que tornam possível aumentar a confiabilidade e a disponibilidade dos equipamentos, como perseguir benchmarks, aplicar técnicas modernas e manter o nível compatível com a manutenção do Primeiro Mundo.

A Engenharia da Manutenção é mais uma quebra de paradigmas da evolução da manutenção, neste ponto o foco é encontrar causas e resolvê-las, acabar com problemas crônicos de falha e mau desempenho, melhoria contínua dos projetos, padrões e sistemas, interferir tecnicamente nas compras. A Figura 5 apresenta uma melhora nos resultados ao passo que as técnicas de manutenção se aprimoram e vão sendo introduzidas:

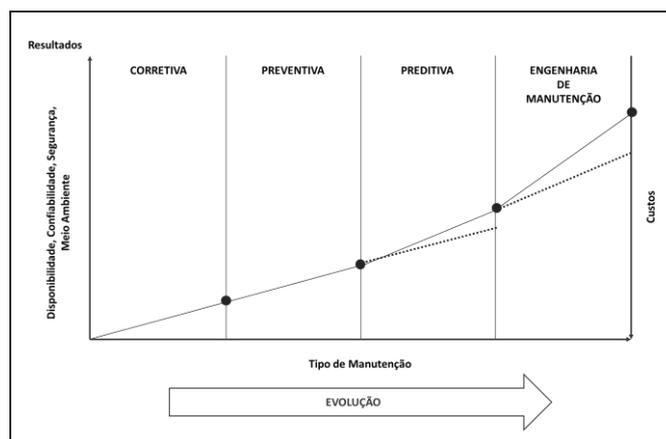


Figura 5 Resultados x Tipos de Manutenção

Fonte: Adaptado de Kardec & Nascif (2009)

Na mesma linha Xenos (1998) apresenta as atividades de manutenção divididas entre atividades de manutenção propriamente ditas e atividades de melhoria. A primeira, objetiva manter as condições originais do equipamento de operação e desempenho, reestabelecendo os eventuais danos à essas condições. Os serviços de manutenção desta atividade não podem exceder as condições iniciais do equipamento, apenas restabelecer as condições originais de operação, desempenho e confiabilidade. Diferente das atividades de melhoria que, segundo o autor, visam melhorar as condições originais de operação, desempenho e confiabilidade, promovendo alterações no projeto ou configuração original do equipamento. Nesta atividade o foco é elevar os parâmetros de produtividade dos equipamentos. O conjunto destas atividades pode ser chamado de Engenharia da Manutenção.

2.2.2. Gestão Estratégica da Manutenção

Com o aumento da competitividade empresarial, do desenvolvimento tecnológico e da exigência por melhoria na qualidade de produtos e serviços, as

empresas precisaram rever sua forma de gerenciar e neste movimento nota-se a importância de uma gestão da Manutenção voltada para os interesses organizacionais. Neste ponto, a manutenção deve ser considerada como um ponto importante para aumento da competitividade e eficácia nas organizações. Kardec e Nascif (2009) consideram que para que a atividade de manutenção faça parte de forma eficaz do processo produtivo é necessário pensar e agir estrategicamente, junto aos interesses da organização, para que a empresa siga o caminho da excelência.

Ainda segundo Kardec e Nascif (2009), atualmente a gestão da manutenção existe para que não seja mais necessário realizar manutenções não planejadas. Para isso a tendência do mercado é cada vez mais criar relações de parceria entre empresas com foco na área de manutenção com o objetivo de aumentar a disponibilidade e confiabilidade das instalações, assim como, aderir a ferramentas de gestão disponíveis, como SixSigma, Gestão de Ativos, Reengenharia ou engenharia Reversa, dentre outros.

Xenos (1998), afirma que para que o Sistema de Gerenciamento da Manutenção seja completo e estratégico, ele deve combinar métodos de manutenção com a prática de algumas funções de apoio, sendo estas: Tratamento de falhas dos equipamentos; Padronização da Manutenção; Planejamento da Manutenção; Peças Reservas e Almoxarifado; Orçamento da Manutenção; Educação e Treinamento. Este sistema visa, além de manter as condições originais dos equipamentos, introduzir melhorias com o objetivo de aumentar a produtividade e a qualidade. A figura 6 dá uma visão geral do conjunto dos métodos de manutenção e funções de apoio.

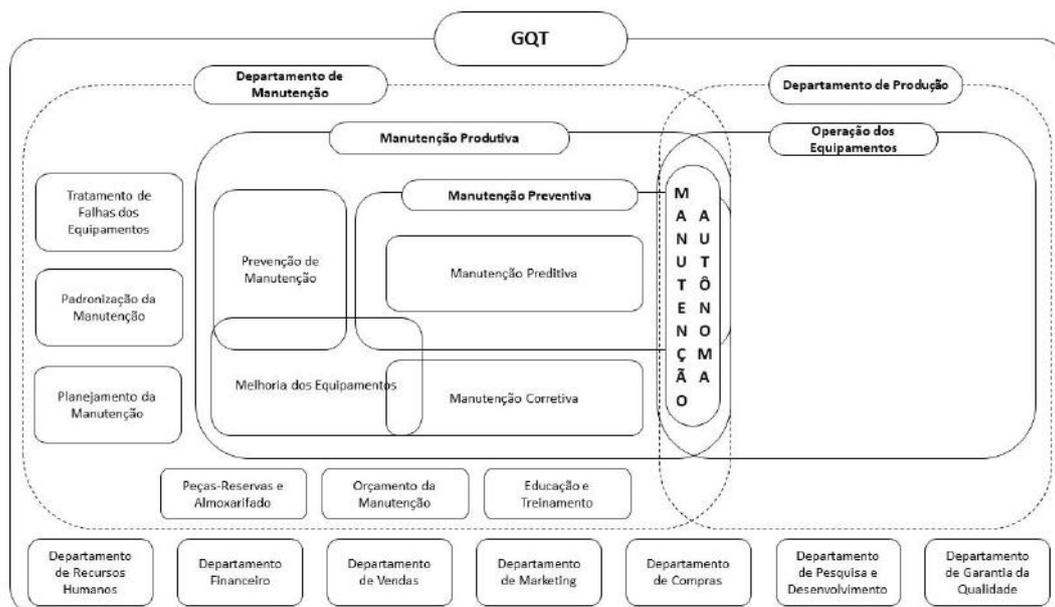


Figura 6 Visão Geral da Manutenção de Equipamentos

Fonte: Adaptado de Xenos (1998)

A grande mudança de paradigma para a manutenção se tornar estratégica é que não basta reparar o equipamento o mais rápido possível, é necessário, principalmente, manter a função do equipamento disponível para operação, diminuindo a possibilidade de parada não planejada da produção, isto é, deixar de ser eficiente para se tornar eficaz e estar alinhada com os resultados da organização (Kardec e Nascif, 2009).

2.3. Engenharia Reversa

O surgimento do termo Engenharia Reversa se deu pela análise de hardware, onde existe a prática de analisar, a fim de decifrar, projetos já acabados. A Engenharia Reversa por si própria é um processo de avaliação do sistema em questão, não envolvendo alteração ou replicação do mesmo, porém ela é utilizada regularmente para melhoria de produtos, sejam próprios ou de concorrentes (CHIKOFSKY, 1990).

A engenharia reversa pode ser descrita como sendo a duplicação de um item, seja ele uma peça, um código de programação ou um projeto. De acordo com Ferneda (1999) este processo de duplicação de uma peça, operacional e dimensionalmente, fazendo uso de análise e medição físicos para elaborar dados técnicos de forma que seja possível copiá-la, é chamado de Engenharia Reversa.

Para Ingle (1994), a Engenharia Reversa consiste no processo de desmontagem de um equipamento, a fim de definir como o produto foi desenvolvido, dos componentes ao produto final. O autor acredita que a Engenharia Reversa é um processo de desenvolvimento de produto e o descreve conforme Figura 7:

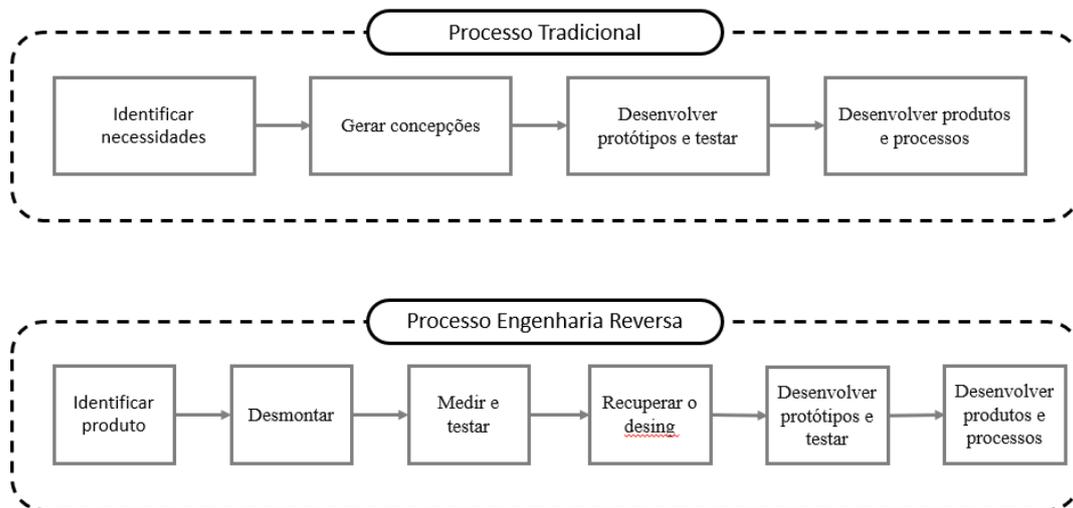


Figura 7 Comparação dos processos de desenvolvimento de produto tradicional e através da Engenharia Reversa

Fonte: Adaptado de Ingle (1994)

Lima (2003) afirma que a engenharia reversa é o processo de dimensionar com exatidão e determinar padrões geométricos de uma peça já existente, ou seja, o processo acontece de trás para frente e com base em um modelo físico cria-se um modelo virtual, a partir deste modelo, seguindo as etapas de engenharia, é possível realizar a fabricação do produto. Ainda segundo o autor este processo, de forma geral, segue os passos demonstrados na Figura 8:



Figura 8 Etapas do processo de Engenharia Reversa (Lima, 2003)

Fonte: Autor

A metodologia utilizada na Engenharia Reversa permite que novos produtos sejam criados em menores intervalos de tempos e com maiores possibilidades de

sucesso se comparada às metodologias convencionais e, por este motivo, atrai grande interesse na sua utilização (NOGUEIRA E LEPIKSON, 2006).

Na mesma linha, Bagci (2009) indica que a Engenharia Reversa é a avaliação sistemática de um produto com a finalidade de replicação, seja para a criação de um novo objeto, duplicação exata de uma parte existente ou ainda para a recuperação de um item danificado ou quebrado.

Em países desenvolvedores de tecnologia, a Engenharia Reversa não é um tema muito abordado por ser confundido com plágio, entretanto quando introduzida numa sistemática para criação e implementação de melhorias esta técnica pode resultar no aprimoramento dos produtos em desenvolvimento, visto que ao tomar como referência especificações técnicas de produtos existentes com desempenho consolidado, o processo de desenvolvimento se torna mais eficiente (FOGLIATTO E MURY, 2002).

2.3.1. Aplicação na Indústria

Acredita-se que a maior utilização da Engenharia Reversa acontece no mercado industrial. Puntambekar (1994) e Yuan (2001) acreditam que as empresas precisam manter os custos baixos e aumentar a qualidade dos produtos devido à alta competitividade e, por isso utilizam a Engenharia Reversa. O uso desta técnica possibilita encurtar o ciclo do produto que vai do design até a fabricação. Ainda para os autores, as aplicações da ER na indústria estão relacionadas com a criação de novos produtos, cópia de modelos existentes, correção e melhoria de modelos, inspeção e documentação de produtos, sendo:

1. Criação de um novo produto: Ocorre quando um novo produto é produzido a partir de um objeto existente. Situação comumente realizada na indústria com a criação de modelos físicos baseados em modelos e funcionalidades já existentes, iniciando por um modelo CAD através do método da Engenharia Reversa.

2. Cópia de um modelo existente: Em casos em que o item parou de ser fabricado ou não existem desenhos ou quaisquer informações sobre um modelo, faz-se necessário a produção deste item a partir de um objeto já

existente. A Engenharia Reversa pode copiar todas as características do objeto, para a confecção do novo modelo.

3. Correção de um modelo danificado: Quando parte de um objeto está danificado a utilização do método de engenharia reversa facilita grandemente a confecção do item substituto auxiliando na mitigação de erros.

4. Melhoria da geometria de um modelo: A partir de um modelo existente funcional, é possível implementar melhorias considerando a aplicabilidade de suas funções, geometria, dimensões e até mesmo o material de fabricação.

5. Inspeção de um produto: Utilizar do método de digitalização 3D para realizar inspeções por comparação, entre o modelo desejado e o modelo confeccionado, visto que ainda existem produtos difíceis de inspecionar pelos métodos convencionais principalmente devido à geometria.

6. Documentação através de desenhos de engenharia: Muitas vezes um produto não possui documentação técnica, seja porque ela foi perdida ao longo do tempo, seja porque está desatualizada ou até mesmo porque nunca existiu. Mas constantemente os dados técnicos são necessários para manter e reparar equipamentos. A Engenharia Reversa pode gerar esta documentação (INGLE, 2001).

Grande parte das aplicações da Engenharia Reversa na indústria não requerem uma cópia exata do modelo, mas sim a ideia por trás dele como design e aplicabilidade por exemplo. Se um produto falha durante a utilização ou apresenta deformações, o que precisa ser considerado é a sua ideia de aplicação e a partir das causas de falha realizar melhorias no produto. Porém, ao fazer a digitalização deste produto todas as informações são capturadas, inclusive as que precisam ser alteradas ou corrigidas, para isso pode-se usar recursos como simetria, paralelismo e perpendicularismo, mesmo que o modelo original não apresente estas características (PUNTAMBEKAR, 1994).

2.3.2. Etapas do Processo de ER

Dong-Fan (1996) afirma que a Engenharia Reversa é composta por 3 etapas: digitalização da peça, extração das entidades e criação do modelo CAD a partir destas informações. Na mesma linha Puntambekar (1994) indica que o processo de Engenharia

Reversa pode ser dividido em duas etapas: a digitalização do produto e a criação do modelo CAD a partir dos dados digitalizados.

O primeiro passo para o processo de ER é a aquisição de dados geométricos para reconstrução tridimensional do modelo, para isto existem diversas tecnologias de digitalização tridimensional disponíveis no mercado podendo ser realizadas com e sem contato. Neste processo, o espaço onde o modelo físico está localizado é referenciado à um sistema de coordenadas cartesianas e seu resultado é um conjunto de pontos bi ou tridimensionais que são armazenados como imagem (DONG-FAN, 1996).

A captura de pontos pode ser realizada com ou sem contato físico entre o instrumento de medição e o modelo. Na digitalização com contato, um componente conhecido como probe ou apalpador toca o modelo fisicamente para realizar a aquisição de pontos, para tal existem duas técnicas a aquisição ponto-a-ponto e a aquisição por varredura ou scanning. Na primeira, o apalpador se aproxima na direção normal a superfície do modelo e ao tocá-la as coordenadas do ponto central do apalpador são adquiridas, em seguida o componente se afasta da peça em busca do próximo ponto e assim sucessivamente. Enquanto que na segunda, o apalpador permanece em contato com a superfície da peça, deslocando-se em uma direção pré-determinada, conseguindo uma grande quantidade de pontos em tempo menor que na aquisição ponto-a-ponto (AVIZ, 2010).

Na digitalização sem contato, utiliza-se a projeção de fontes de energia, sendo, as fontes de luz, magnéticas e sônicas as mais utilizadas. A aquisição de pontos neste caso ocorre por meio da observação da transmissão de energia refletida quando ela é projetada na direção perpendicular a superfície do objeto. Desta forma, os dados geométricos são calculados usando tecnologias de triangularização, time-of-flight, interferometria e algoritmos de processamento de imagem (AVIZ, 2010).

Mesmo que a tecnologia para digitalização de peças esteja avançada e confiável, a imagem resultante do processo possui imperfeições e não é possível direcioná-la diretamente para o trabalho de uma máquina ferramenta para fabricação, por isso ela é submetida a um processo de tratamento da imagem. Após a aquisição da nuvem de pontos o software que interpreta os dados obtidos faz um realinhamento dos pontos da imagem, levando o erro a uma margem muito próxima do zero. A partir daí aplicam-se diversas ferramentas afim de realizar um ajuste fino na peça. Por fim, são

feitas comparações entre a peça física e a versão digitalizada através de coordenadas (VIEIRA, 2008).

2.4. Propriedades Mecânicas dos Metais

Os metais são materiais amplamente utilizados em projetos de engenharia, principalmente em estruturas e componentes mecânicos, para que o item desejado seja projetado de maneira que a deformação resultante das cargas em que é submetido não cause danos irreversíveis é necessário conhecer as características do material, visto que as propriedades mecânicas do material refletem no seu comportamento tensão-deformação ao ser submetido a forças ou cargas externas (CALLISTER, 2012).

O comportamento de um material quando submetido a esforços mecânicos é definido por suas propriedades mecânicas, propriedades estas que determinam a capacidade de um material transmitir e resistir aos esforços que lhe são aplicados, sem que haja fratura ou deformações incontroláveis (CHIAVERINI, 1986).

Chiaverini (1986) destaca que os esforços mecânicos aplicados no material podem ser de natureza estática, com aplicação da carga de modo lento e gradual, como na tração, compressão e torção por exemplo, ou de natureza dinâmica, sendo a aplicação da carga de modo repentino, como um choque, ou ainda de forma repetida, com a carga variando repetidamente, como na fadiga. A intensidade dessas cargas é definida por “tensão”, que corresponde à força dividida pela seção transversal do corpo e é classificada de acordo com o tipo de carga aplicada, podendo ser de tração, de compressão ou de cisalhamento. A Figura 9 ilustra os três tipos básicos de tensões:

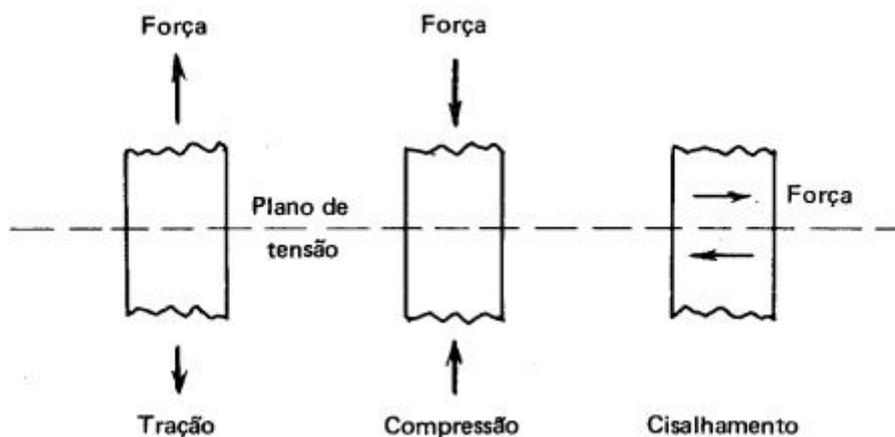


Figura 9: Representação esquemática dos tipos de tensão a que está sujeita uma estrutura

Quando um corpo é submetido a uma carga, internamente ocorre uma distribuição de forças ou de componentes de forças que pode resultar numa mudança na geometria da peça na qual a carga foi aplicada, sendo denominada de deformação a mudança dimensional notada no material como resultado da carga aplicada (CHIAVERINI, 1986). O grau que uma estrutura se deforma depende da magnitude da tensão imposta, podendo esta ser permanente ou não. Isto é, a deformação pode ser elástica, o que significa que ela não é permanente, ou seja, quando a carga deixa de ser aplicada o material retorna a sua forma original, ou a deformação pode ser plástica, o que significa que ela é permanente e não recuperável (CALLISTER, 2012).

Segundo Callister (2012) as propriedades mecânicas relevantes para compreensão do comportamento de materiais metálicos são rigidez, resistência, dureza, ductilidade e tenacidade. Os itens abaixo apresentam uma visão geral de cada uma dessas propriedades de acordo com o autor:

1. Rigidez: também conhecida como elasticidade é a resistência do material à deformação elástica, ou seja, é a habilidade do material para se deformar quando submetido a um esforço e retornar a forma original ao fim dele.
2. Resistência: é a capacidade de um material resistir a diferentes tipos de tensão sem deformação ou ruptura.
3. Dureza: é a resistência do material a uma deformação plástica localizada, como um risco por exemplo.
4. Ductilidade: é uma medida do grau de deformação plástica que um material suporta até a fratura, quando maior a deformação antes da ruptura maior a ductilidade do material.
5. Tenacidade: é a capacidade que um material tem de absorver energia e se deformar plasticamente antes da fratura.

Na mesma linha, Hibbeler (2010), afirma que a resistência de um material, que é inerente ao próprio material, depende de sua capacidade de suportar uma carga sem deformação excessiva ou ruptura e que para determinar esta propriedade é necessário entender o comportamento elástico e o comportamento plástico do material utilizando métodos experimentais.

Dito isso, o item a seguir discorre sobre os ensaios mecânicos relevantes para o presente estudo e a utilização dos dados adquiridos por meio deles para entender o comportamento do material.

2.5. Ensaio Mecânico

2.5.1. Ensaio de Tração

O ensaio de tração é um dos testes mais importantes para determinar as propriedades mecânicas de um material, ele consiste em deformar um corpo de prova padronizado, ilustrado na Figura 10, até a ruptura, por uma carga de tração aplicada uniaxialmente ao longo do eixo do corpo de provas e que é aumentada gradativamente. Este ensaio é realizado utilizando uma máquina de ensaios de tração que é desenvolvida para tracionar o corpo de provas e realizar medições contínuas e simultaneamente da carga instantânea que está sendo aplicada e dos alongamentos, utilizada uma célula de carga e um extensômetro respectivamente, conforme demonstrado na Figura 11 (CALLISTER, 2012).

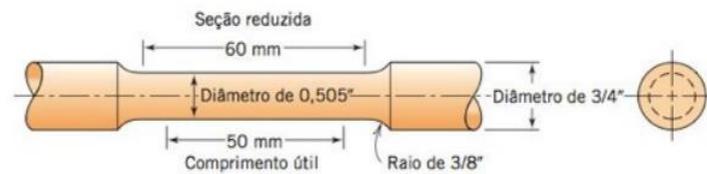


Figura 10: Um corpo de provas padrão para ensaios de tração com seção transversal circular

Fonte: Callister (2012)

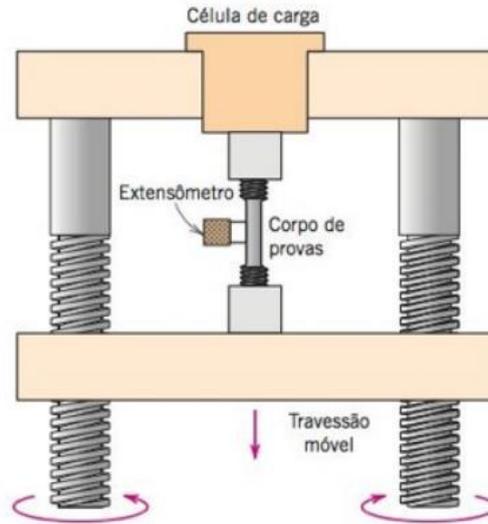


Figura 11: Representação esquemática do equipamento usado para condução de ensaios de tração

Fonte: Callister (2012)

A aplicação de uma força num corpo sólido promove uma deformação do material na direção do esforço e o ensaio de tração consiste em submeter um material a um esforço que tende a esticá-lo ou alongá-lo. Geralmente, o ensaio é realizado num corpo de prova de formas e dimensões padronizadas, para que os resultados possam ser comparados ou, se necessário, reproduzidos. Este corpo de prova é fixado numa máquina de ensaio que aplica esforços crescentes na sua direção axial, sendo medidas as deformações correspondentes. Os esforços ou cargas são medidos na própria máquina de ensaio e o corpo de prova é levado até a sua ruptura (SOUZA, 1982).

Quando um corpo de prova metálico é submetido a um ensaio de tração, pode-se construir um gráfico tensão-deformação, pelas medidas diretas da carga (ou tensão) e da deformação que crescem continuamente até quase o fim do ensaio.

As propriedades mecânicas, geralmente obtidas por médio do ensaio de tração, são as seguintes:

- Limite de resistência (LR), que é a tensão máxima suportada pelo metal;
- Limite de escoamento (LE), que é a tensão que marca a transição do metal da zona de deformação elástica para a zona de deformação plástica;

- Limite de escoamento convencional (L_n), que é calculado por médio do gráfico tensão-deformação, quando não é possível calcular diretamente o limite de escoamento;

- Alongamento total do corpo de prova (ϵ), é expresso em %;

- Estricção (ϕ), que é expressa em %, calcula a diminuição da seção transversal do corpo de prova.

2.5.2. Ensaio de Impacto de Charpy

O comportamento dos materiais quando submetido a cargas dinâmicas é diferente de quando são impostas cargas estáticas e esforços dinâmicos, principalmente o impacto – ou choque – que é um esforço frequente em equipamentos mecânicos e seus componentes, por isso é importante o conhecimento do comportamento do material quando submetido a este tipo de esforço (CHIAVERINI, 1986).

O ensaio de impacto tem como objetivo mensurar a quantidade de energia absorvida por um material quando ele é submetido a uma ação de esforço de choque de um valor conhecido, tendo como choque a carga que é aplicada repetina e bruscamente, o ensaio de choque determina a tenacidade do material e conseqüentemente e o material é frágil ou dúctil (CHIAVERINI, 1986).

O ensaio é realizado em um pendulo de impacto, o golpe do pêndulo é oscilante e aplicado no corpo de prova. Este possui formato retangular e um entalhe do tipo “buraco de fechadura” conforme a Figura 12, é fixado no suporte do equipamento de forma que a face que possui o entalhe fique oposta a face de impacto. Assim que o corpo de prova é posicionado o martelo do pendulo é liberado de uma altura pré-definida de forma que cause a ruptura do material instantaneamente (CHIAVERINI, 1986).

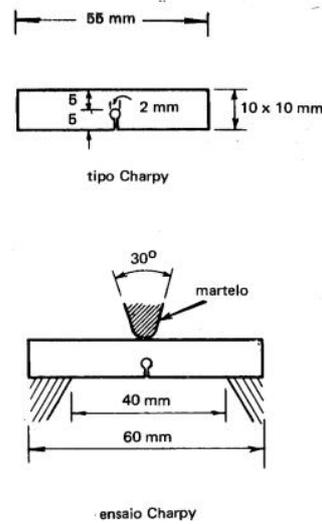


Figura 12: Corpo de prova modelo Charpy

Fonte: Chiaverini (1986)

A energia inicial do pêndulo é adquirida quando ele é levado a uma certa altura, ao ser liberado ele encontra o corpo de prova causando a ruptura do corpo de prova e continua sua trajetória, conforme ilustrado na Figura 13. A maior altura que o pêndulo atinge após a ruptura do material, que corresponder a posição final, determina a energia final do mesmo, e é a diferença entre as energias final e inicial que equivale a energia absorvida pelo material, comumente representada em Joules (CHIAVERINI, 1986).

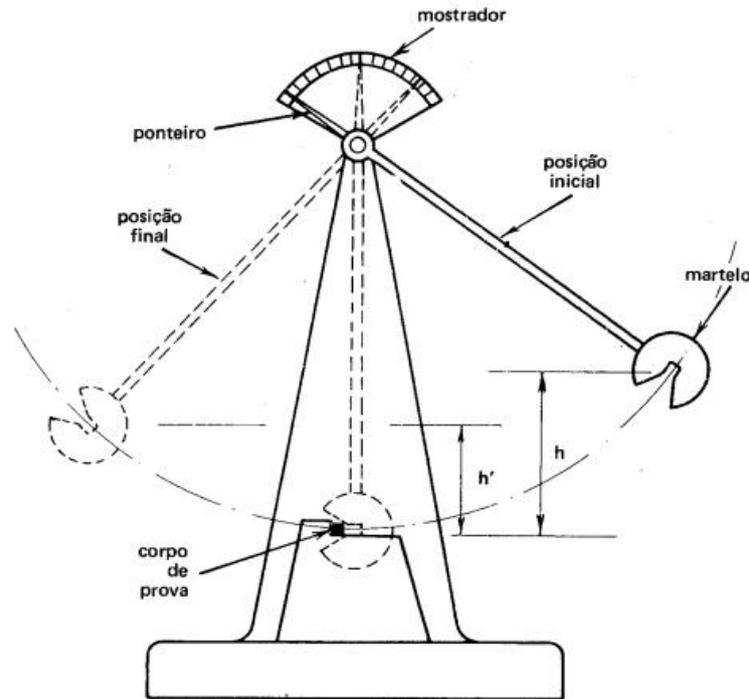


Figura 13: Desenho esquemático de um martelo pendular para ensaio de choque/impacto.

Fonte: Chiaverini (1986)

2.5.3. Teste de Dureza

De modo geral os ensaios de dureza são baseados no princípio da penetração na superfície do metal. Isto é realizado aplicando uma carga num objeto chamado de penetrador na superfície do metal. Seu objetivo é determinar a resistência a penetração de um determinado metal ou seja, a resistência a deformação permanente.

Segundo Chiaverini (1986), o Ensaio de dureza Brinell é o primeiro ensaio largamente aceito e padronizado na indústria e que isto se deu pelo fato de que os valores resultantes deste ensaio serem relacionados facilmente com a resistência a tração. Neste ensaio uma esfera de aço, com diâmetro D , é empurrada a uma carga P na superfície do material resultando numa impressão de diâmetro d que é necessário para calcular o valor da “Dureza Brinell”, a Figura 14 representa esquematicamente o sistema de penetração do método Brinell.

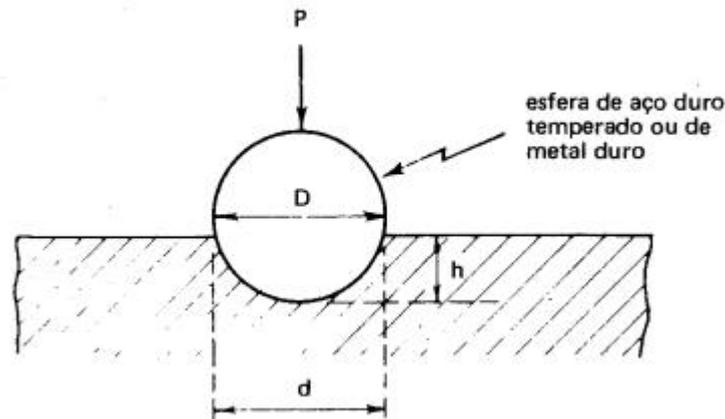


Figura 14: Método Brinell para medição de dureza

Fonte: Chiaverini (1986)

Durante o ensaio a carga é mantida constante por um tempo pré determinado, elas variam de 500 a 3000kg em incrementos de 500kg visto que materiais mais duros exigem cargas maiores. O valor da dureza Brinell é representado por H ou HB e é dado tanto em função da magnitude da força quanto do diâmetro da impressão resultante, ele corresponde ao quociente da carga aplicada pela área da impressão obtida, é expressa pela Equação 1 (CALLISTER, 2012).

$$HB = \frac{2P}{\pi D \left(D - \sqrt{D^2 - d^2} \right)}$$

De acordo com Callister (2012), os ensaios de dureza são realizados com maior frequência por sua simplicidade, baixo custo e por ser não destrutivo. Além disso, outras propriedades mecânicas podem ser estimadas a partir do resultado do ensaio de dureza, como por exemplo o limite de resistência a tração. Ambas as propriedades, dureza e limite de resistência a tração, são indicadores da resistência de um metal a deformação plástica e conseqüentemente são proporcionais entre si.

3. PROCEDIMENTO METODOLÓGICO

Neste capítulo será exposto um estudo de caso do processo de internalização de item para fabricação, porca do guindaste, equipamento de plataforma de perfuração de poços de petróleo offshore, de uma empresa que provém soluções para a indústria de

óleo e gás no Brasil e no mundo. Por motivos de confidencialidade, alguns dados apresentados foram modificados, mantendo a proporção e coerência.

Portanto, no primeiro momento será conceituada a metodologia de estudo de caso, a apresentação das características da organização estudada, sua estrutura organizacional e sua política para processos de internalização.

Em seguida, será realizada a apresentação do caso analisado, descrição do item e do processo de engenharia reversa utilizado. Por fim, serão apresentados os resultados de viabilidade e fabricação da peça em questão.

3.1. Metodologia de Estudo de Caso

Classificada como uma metodologia de pesquisa aplicada, Prodanov e Freitas (2013) declaram que o estudo de caso baseia-se na coleta e análise de informações sobre determinado indivíduo, grupo ou elemento, com o objetivo de compreender aspectos variados de sua vida, condição ou situação, de acordo com o tema da investigação. Os autores manifestam essa metodologia como um tipo de pesquisa qualitativa e/ou quantitativa, visto como uma categoria de investigação que tem como finalidade estudar uma unidade de forma aprofundada.

Para Yin (2001), um estudo de caso é uma investigação experimental de um fenômeno contemporâneo dentro de seu contexto. É uma metodologia que visa explorar situações da vida real, especialmente nas quais os limites entre o fenômeno e o contexto não estão claramente definidos. A investigação confronta um cenário único em que existam mais variáveis de interesse do que pontos de dados e, como consequência, a pesquisa é fundamentada por diversas fontes de evidências e amparada no desenvolvimento anterior de proposições teóricas para realizar a coleta e análise de dados. Isto é, para Yin (2001), o estudo de caso é utilizado quando é pertinente trabalhar com condições contextualizadas diante do fenômeno estudado.

Segundo Martins (2006) a metodologia de estudo de caso, independentemente de qualquer tipologia, contribuirá na busca por explicações, análises e interpretações convincentes para situações que envolvam fenômenos complexos. Trata-se do desenvolvimento de “uma teoria explicativa do caso que possibilite condições para se fazerem inferências analíticas sobre proposições constatadas”. Yin (2001) a caracteriza

como um estudo profundo e exaustivo de um ou poucos elementos de forma que se obtenha um vasto e detalhado conhecimento.

Para Prodanov e Freitas (2013), o estudo de caso exige que o estudioso possua grande equilíbrio intelectual e alta capacidade de observação por lidar com fatos ou fenômenos usualmente isolados. Além disso, faz-se necessário moderação por parte do pesquisador quanto à generalização dos resultados. Yin (2001) define o estudo de caso como estratégia de pesquisa abrangente, podendo ser utilizada tanto em pesquisas exploratórias quanto em descritivas e explicativas.

Dessa forma, a metodologia de estudo de caso foi adotada com finalidade de determinar as variáveis causais que levaram um equipamento de perfuração de poços de petróleo à falha operacional e desenvolver proposições lógicas, soluções e possível abrangência para outras áreas acerca do tema.

3.2. A Empresa X

A Empresa X é privada, possui nacionalidade brasileira e tem como negócio prover soluções para a indústria de óleo e gás upstream offshore no Brasil, oferecendo aos clientes o afretamento e prestação de serviços integrados desde a concepção de engenharia e gerenciamento de projetos offshore à operação de plataformas. Adota como valores a segurança, relações de confiança, compromisso, ética, transparência e sustentabilidade.

Embora tenha sido efetivamente estruturada em 2006, suas primeiras atividades antes mesmo da consolidação como companhia – ocorreram há cerca de 40 anos, em meados da década de 1980. Atualmente, atua nas áreas de fornecimento e instalação de infraestrutura submarina, produção offshore, serviços offshore especializados e perfuração offshore.

No segmento de perfuração offshore, a Empresa X realiza afretamentos e operações com sondas para águas ultraprofundas, fazendo uso de tecnologias de última geração. Seus ativos são compostos por plataformas de perfuração do tipo navio-sonda e do tipo semissubmersível.

Em 2015, a Empresa X gerou uma receita bruta de R\$3,8 bilhões e nos anos seguintes apresentou baixa nos indicadores, chegando a R\$2,9 bilhões em 2017 e

mantendo o mesmo valor em 2018. Os resultados aproximados consolidados entre 2015 e 2018 de receita bruta e receita líquida da Empresa X foram apresentados na Figura 15.

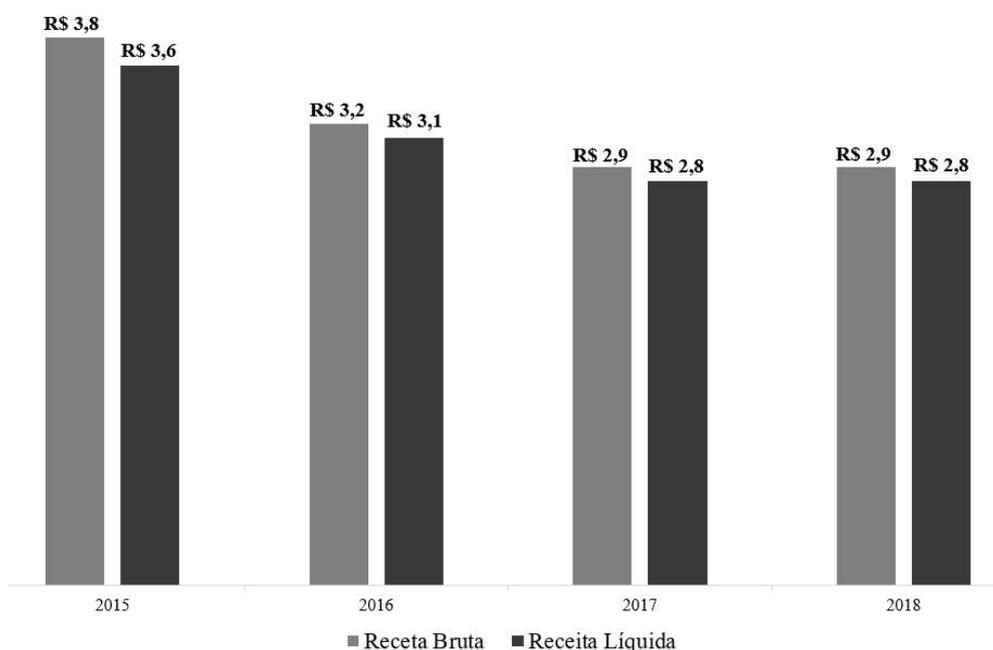


Figura 15: Resultados consolidados de receita bruta e líquida da Empresa X em bilhões.

Fonte: Adaptado do Relatório Anual da Empresa X (2018).

A Empresa X contava com cerca de 5.400 colaboradores em 2015 e, apenas três anos depois, esse número praticamente caiu pela metade, atingindo a marca de 2.300 integrantes, conforme figura 16, sendo esse cenário reflexo do período socioeconômico enfrentado pelo Brasil naquele ano. Diante dessa situação, fez-se necessário adotar medidas para redução de custos.

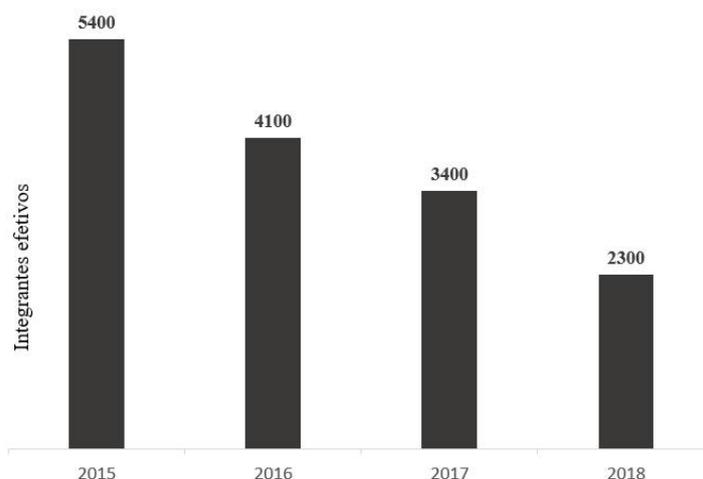


Figura 16: Relação do número de integrantes efetivos da Empresa X.

Fonte: Adaptado do Relatório Anual da Empresa X (2018).

3.2.1. Procedimento de Internalização de Equipamentos e Peças

A partir do cenário econômico apresentado anteriormente, a Empresa X adotou algumas medidas para reduzir custos e melhorar os resultados, dentre estas medidas está o processo de internalização de equipamentos e peças, objeto deste estudo. Em 2017, notou-se a necessidade de investir em estudos de engenharia que trouxessem benefícios financeiros e operacionais, sendo assim criou-se o procedimento XP001 que tem como objetivo descrever as etapas do processo de internalização de equipamentos, peças e serviços.

Para a Empresa X, a Internalização é subdividida em três modalidades conforme descrito abaixo, sendo necessário uma análise crítica do item a ser internalizado, para definição do tipo de processo a ser desenvolvido:

1. Internalização de Reparo: relacionada à execução de serviços de reparo/manutenção, seja desenvolvendo novos fornecedores para executar o serviço ou revisando o procedimento de reparo do equipamento;
2. Internalização de Itens Padronizados: refere-se às peças que estão disponíveis no mercado por outros fornecedores além do fabricante do equipamento;
3. Internalização de Fabricação: processo de fabricação de peças que não são encontradas no mercado ou que trarão melhorias ao equipamento.

A companhia considera que os principais objetivos do processo de internalização podem ser resumidos em:

- a) garantir a disponibilidade de material para compra junto a fornecedores cadastrados;
- b) reduzir o tempo no processo de compra;
- c) desenvolver tecnicamente a indústria nacional;
- d) reduzir custos de aquisição de material;
- e) com o gerenciamento do Departamento de Compras, realizar a identificação de novos fornecedores para peças cuja fabricação tenha sido descontinuada pelos OEM;
- f) aperfeiçoar projeto original;
- g) Avaliar os possíveis impactos da internalização com o foco de minimizar os riscos operacionais.

A internalização de um determinado equipamento, peça ou serviço é realizada através da análise e desenvolvimento de equivalências de itens que atendam integralmente as necessidades do sistema em que estão inseridos. O desenvolvimento ocorre através de análise crítica do item (equipamento, peça e/ou serviço) e do processo de internalização, aplicando a metodologia de engenharia reversa e definição de parâmetros técnicos com auxílio de parceiros (fornecedores). As etapas do processo de internalização – considerando que a demanda foi aprovada para o estudo - na empresa X estão apresentadas n fluxograma presente no Anexo 1.

O estudo apresentado contempla o caso em que uma peça foi descontinuada pelo fabricante e não estava disponível para compra no mercado, gerando uma demanda de fabricação da peça a partir de uma peça já existente.

3.3. Internalização de Fabricação: O Caso da porca do Guindaste

O estudo trata-se de um processo que surgiu devido à uma demanda identificada durante a manutenção preventivca do Guindaste de Convés de um dos Navios Sonda da Empresa X, com capacidade para 50 toneladas, onde notou-se a necessidade de substituição de uma porca de oscilação que estava comprometida, após o Departamento de Suprimentos constatar que a porca em questão havia sido

descontinuada no mercado, ou seja, não existia mais nenhum fabricante que a produzia, iniciou-se o processo de Internalização seguindo o procedimento XP001.

Neste caso, a RES foi criada no Sistema de Gestão de Ativos pelo Coordenador de Manutenção a bordo do Navio Sonda e direcionada para ser categorizada como Internalização de Fabricação visto que já era do conhecimento da equipe técnica que o item fora descontinuado. Devido a criticidade da matéria prima do item, notou-se a necessidade de utilização de Matéria Prima compatível com a original, por isto, a Equipe de bordo disponibilizou o certificado da matéria prima original referente a última compra realizada pela Sonda.

Seguindo as etapas do procedimento, o Engenheiro de Manutenção responsável pelo processo criou o Memorial Descritivo com as etapas técnicas para realização do serviço de estudo de Engenharia Reversa e de Fabricação do item. Nesse contexto, houveram duas excessões exercidas no processo, além da solicitação de fabricação antes da finalização do estudo de engenharia reversa, a equipe técnica direcionou o fornecedor para realizar o serviço por se tratar de um especialista em Ensaios Mecânicos e Fabricação de Peças com Metais e Ligas Especiais.

Desta forma, encaminhou-se o processo para o Departamento de Suprimentos conduzir as tratativas comerciais junto ao fornecedor, concluídas as tratativas a peça foi enviada ao fornecedor como amostra para que fosse feito o estudo de Engenharia Reversa na mesma. Como citado anteriormente, devido à criticidade da materia prima original da peça (SAE 4335) também estava no escopo do estudo a comparação da materia prima original com uma materia prima alternativa, sugerida pelo fornecedor, neste caso, o aço SAE 4340. Sendo assim, o fornecedor ficou responsável por realizar inspeção visual, inspeção dimensional e identificação do material (matéria prima) da peça enviada como amostra, realização de tratamento térmico e ensaios mecânicos para comprovar a compatibilidades das materias primas através dos resultados dos ensaios e fabricação do protótipo.

3.4. O Processo de Engenharia Reversa da Porca do Guindaste

3.4.1. Inspeção dimensional e prototipagem em CAD

Para o presente estudo foi disponibilizada uma amostra do item para desenvolvimento do projeto, Com a peça em mãos, o primeiro passo para iniciar um

estudo de engenharia reversa do item é a tomada da dados dimensionais a fim de criar um protótipo em CAD. Por se tratar de uma peça sem complexidade dimensional, a metodologia utilizada foi a tridimensional ponto-a-ponto, onde utiliza-se uma maquina tridimensional para medição de coordenadas de pontos pré determinados. A partir dos pontos o técnico elabora o desenho no software CAD e o mesmo passa por etapas de conferência com o intuito de mitigar erros. O resultado do projeto pode ser visto na Figura 17.

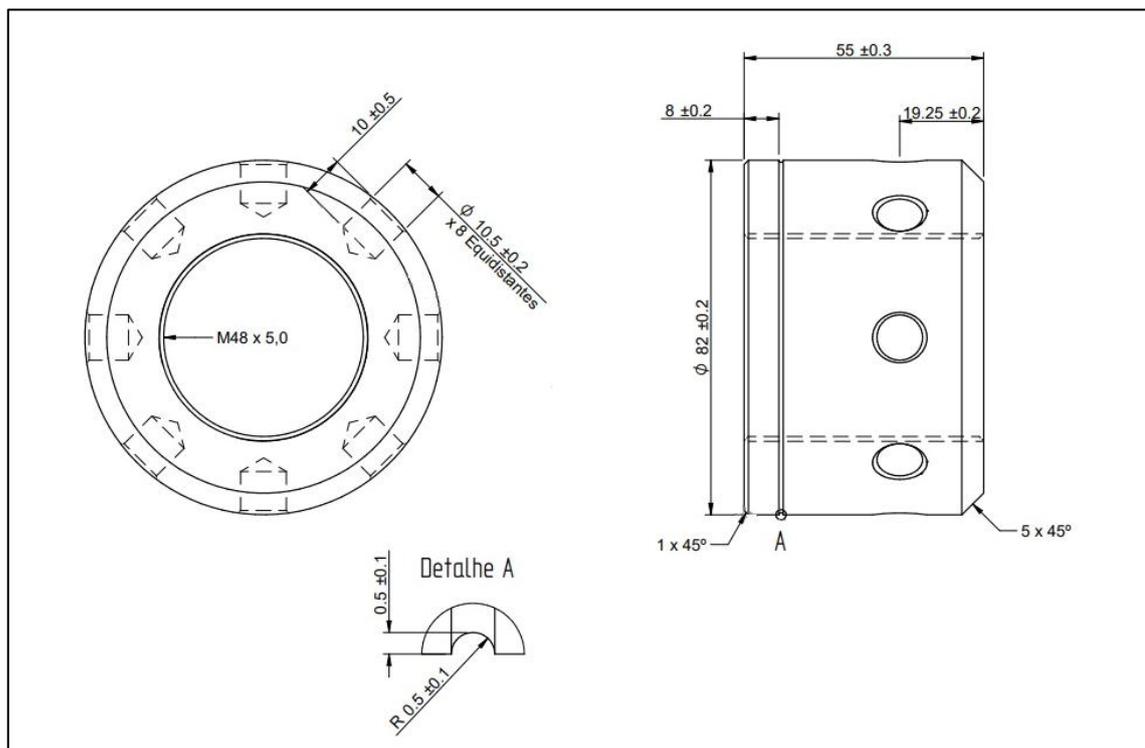


Figura 17: Desenho em CAD da peça - Porca do Guindaste

Fonte: Adaptado do Relatório enviado pelo fornecedor

3.4.2. Identificação do Material

Para este estudo não foi necessário realizar estudos metalográficos e ensaios mecânicos para identificar a composição do material da amostra e suas propriedades físicas pois junto à peça original é enviado pelo fabricante um certificado de inspeção contendo a composição química do material da peça e suas propriedades físicas. A tabela 1 apresenta os dados encontrados no certificado de inspeção.

Composição Química

Análise	C	Si	Mn	P	S	Cr	Mo	Ni	Al	Cu	Sn	N	V	B
Min:	0,300	0,000	0,500	0,000	0,000	1,300	0,150	1,300	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000
Max:	0,380	0,400	0,800	0,035	0,035	1,700	0,300	1,700	0,100	0,300	0,100	0,000	0,000	0,000
Encontrado:	0,330	0,310	0,640	0,006	0,011	1,620	0,230	1,600	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000

Propriedades Físicas**Teste de Tração**

Requisitos	>=940	>=1000	> 12		
	Limite de Escoamento (Mpa)	Limite de Resistência à Tração (Mpa)	Alongamento (%)	Redução de Área (%)	
	10	1003	1099	16	63

Teste de Dureza

Análise	Dureza Brinell (HBW)
Min	295
Max	341
Encontrado	341

Teste de Impacto

Requisitos	-40°C	>42 J			
	Temperatura °C	Energia Absorvida (J)			
		C1	C2	C3	Média
	-40	50	52	59	54

Tabela 1: Propriedades Físicas e Mecânicas do Material da peça original

Fonte: Adaptado do Certificado de Inspeção 112001 (2016)

A partir disso, o responsável pelo estudo precisou encontrar um material com características equivalentes disponível no mercado, para isto utilizou-se os conhecimentos das propriedades do aço-carbono e aço-liga. Segundo o Callister (2012), os aços são caracterizados por serem ligas ferro-carbono, com até 2% de carbono, que podem se limitar às combinações de Ferro e Carbono em diferentes concentrações ou podem ser compostos por Ferro, Carbono e mais elementos de liga que são adicionados em concentrações específicas a fim de atribuir propriedades mecânicas ao metal. Além disso, os aços mais comuns são classificados de acordo com a concentração de carbono, podendo ser baixo (até 0,25%), médio (entre 0,25% e 0,60%) e alto (entre 0,60% e 1,40%).

Existem instituições mundiais que são responsáveis pela classificação e nomenclatura dos aços e de aço-liga, são elas a SAE (Society of Automotive Engineers), a AISI (American Iron and Steel Institute) e a ASTM (American Society for Testing and Materials). Neste estudo, seguindo a especificação do certificado enviado junto à peça, será utilizado a especificação da SAE, na qual utiliza-se 4 dígitos numéricos para classificação, sendo os dois primeiros dígitos para indicar o tipo de liga e os dois últimos para indicar a concentração de carbono. A tabela 2 apresenta o

sistema de especificação SAE e faixas de composição para aços-carbono comuns e alguns aços-carbono liga.

Especificação SAE*	Faixas de Composição (%p dos Elementos de Liga em Adição ao C)			
	Ni	Cr	Mo	Outros
10XX, Aço-carbono comum				
11XX, Fácil usinagem				0,80-0,33S
12XX, Fácil usinagem				0,10-0,35S 0,04-0,12P
13XX				1,60-1,90Mn
40XX			0,20-0,30	
41XX		0,80-1,10	0,15-0,25	
43XX	1,65-2,00	0,40-0,90	0,20-0,30	
46XX	0,70-2,00		0,15-0,30	
48XX	3,25-3,75		0,20-0,30	
51XX		0,70-1,10		
61XX		0,50-1,10		0,10-0,15V
86XX	0,40-0,70	0,40-0,60	0,15-0,25	
92XX				1,80-2,20Si

*Aconcentração de carbono, em porcentagem em peso vezes 100, é inserida em lugar de "XX" para cada aço específico
Elementos: Níquel (Ni), Cromo (Cr), Molibidênio (Mo), Enxofre (S), Fósforo (P), Manganês (Mn), Vanádio (V), Silício (Si)

Tabela 2: Sistema de especificação SAE e Faixas de Composição para Aços-Carbono Comuns e Vários Aços Baixa Liga

Fonte: Adaptado Callister (2012)

Dito isso, e sabendo que o material da peça original é o SAE 4335, para encontrar propriedades equivalentes do material a equipe técnica selecionou a família SAE 43XX como ponto de partida, os elementos de liga em adição que caracterizam esta família são o Níquel, Cromo e Molibidênio. Na mesma linha, o aço comercial com concentração de carbono mais aproximada do original, com 0,35%, é o SAE 4340 com 0,40% de Carbono.

Para dar continuidade ao projeto, a equipe técnica responsável pelo estudo adquiriu uma barra redonda de aço SAE 4340 para iniciar a fabricação da peça e seguir com o estudo comparativo, a tabela 3 apresenta os dados de composição química e dureza do aço encontrados no certificado de qualidade do material.

Composição Química

Análise	C	Si	Mn	P	S	Cr	Mo	Ni	Al	Cu	Sn	N	V	B
Min:	0,370	0,150	0,600	0,000	0,000	0,700	0,200	0,620	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000
Max:	0,430	0,300	0,800	0,035	0,040	0,900	0,300	2,000	0,100	0,300	0,100	0,000	0,000	0,000
Encontrado:	0,410	0,260	0,740	0,008	0,003	0,820	0,250	1,720	0,022	0,120	0,000	0,000	0,000	0,000

Teste de Dureza

Análise	Dureza Brinell (HBW)
Min	250
Max	302
Encontrado	287

Tabela 3: Propriedades do material adquirido para fabricação do protótipo

Fonte: Certificado de Qualidade do Material 799164 (2016)

3.4.3. Tratamento térmico

Para melhorar as propriedades do material, uma amostra da matéria prima foi submetida a processos de tratamento térmico. Como o objetivo de atingir melhores condições de tenacidade, aumento de dureza, de resistência a tração, de resistência ao desgaste da superfície e redução das tensões internas, os processos de Normalização, Têmpera e Revenimento foram os escolhidos para o projeto.

Sendo assim, a barra com 88mm de diâmetro e 600mm de comprimento foi submetida aos processos:

3.4.3.1. Normalização

Os objetivos da normalização são, basicamente, remover tensões internas causadas, principalmente, pelos processos de fundição e conformação mecânica, refinar os grãos e a estrutura do aço, diminuir a dureza e melhorar a ductilidade, ou seja, eliminar os efeitos de quaisquer tratamentos mecânicos e térmicos que o material fora submetido (CHIAVERINI, 1986).

Para isso, em ambiente controlado o aço é aquecido a uma temperatura acima da temperatura crítica (ou de austenitização), mantido nessa temperatura por tempo pré determinado e resfriado no ar. Para o aço SAE 4340 a temperatura de normalização deve estar entre 860°-880° e o tempo de permanência neste patamar é de 1 hora por polegada (25,4mm), neste caso, 4 horas. O gráfico temperatura x tempo ilustrado na Figura 18 apresenta o processo:

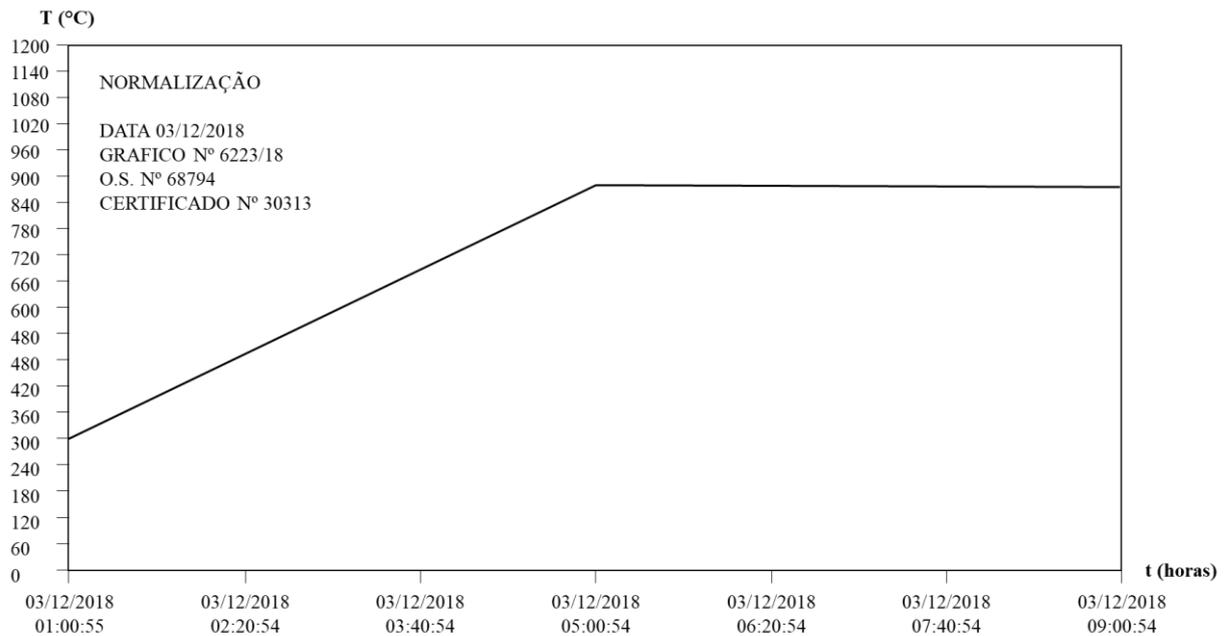


Figura 18: Gráfico de Tratamento Térmico – Normalização

Fonte: Adaptado do Certificado de Qualidade do Material

3.4.3.2. Têmpera

A têmpera é considerada o tratamento térmico mais importante dos aços utilizados na construção mecânica por entregar modificações relevantes na estrutura do aço que resultam no aumento da dureza, da resistência ao desgaste e da resistência à tração. As condições de aquecimento são iguais as praticadas no processo de normalização, porém o resfriamento ocorre de forma rápida, no qual o aço é inserido imediatamente após o período de aquecimento num meio de resfriamento, usualmente líquido (CHIAVERINI, 1986).

No processo com a amostra objeto deste estudo, a temperatura deve estar entre 860°-880° e o tempo de permanência neste patamar é de 1 hora por polegada (25,4mm), neste caso, 4 horas, assim como na Normalização. Em seguida inserida no meio de resfriamento, nesta situação o óleo a 40°C. O gráfico temperatura x tempo ilustrado na Figura 19 apresenta o processo:

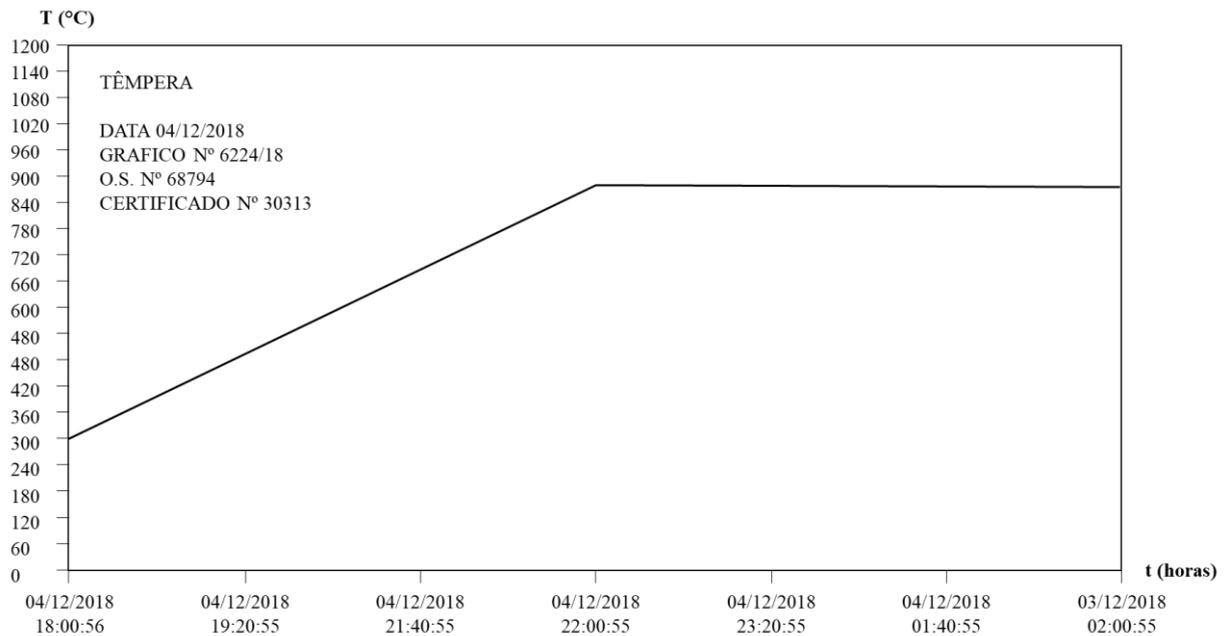


Figura 19: Gráfico de Tratamento Térmico – Têmpera

Fonte: Adaptado do Certificado de Qualidade do Material

Devido ao rápido resfriamento, além dos benefícios supracitados, a têmpera também gera diminuição da ductilidade e origina tensões internas com grande intensidade. Os inconvenientes causados por esses resultados exigem que seja feito um tratamento térmico corretivo chamado de Revenido (CHIAVERINI, 1986).

3.4.3.3. Revenido

O Revenido é um tratamento térmico associado diretamente ao processo de têmpera, sendo aplicado imediatamente após a mesma. O objetivo deste processo é aliviar ou eliminar as tensões internas adquiridas pelo aço durante a têmpera, entregando melhora na ductilidade do aço, ao reduzir os valores de dureza e resistência a tração. O processo se caracteriza por introduzir o aço imediatamente após a têmpera em ambiente controlado a temperaturas inferiores à zona crítica (CHIAVERINI, 1986).

Então, em ambiente controlado o aço é aquecido a uma temperatura abaixo da temperatura crítica, mantido nessa temperatura por tempo pré determinado e resfriado no ar. Para o aço SAE 4340 temperado a temperatura deve estar entre 500°-600° e o tempo de permanência neste patamar é de 1 hora por polegada (25,4mm), neste caso, 4 horas. O gráfico temperatura x tempo ilustrado na Figura 20 apresenta o processo:

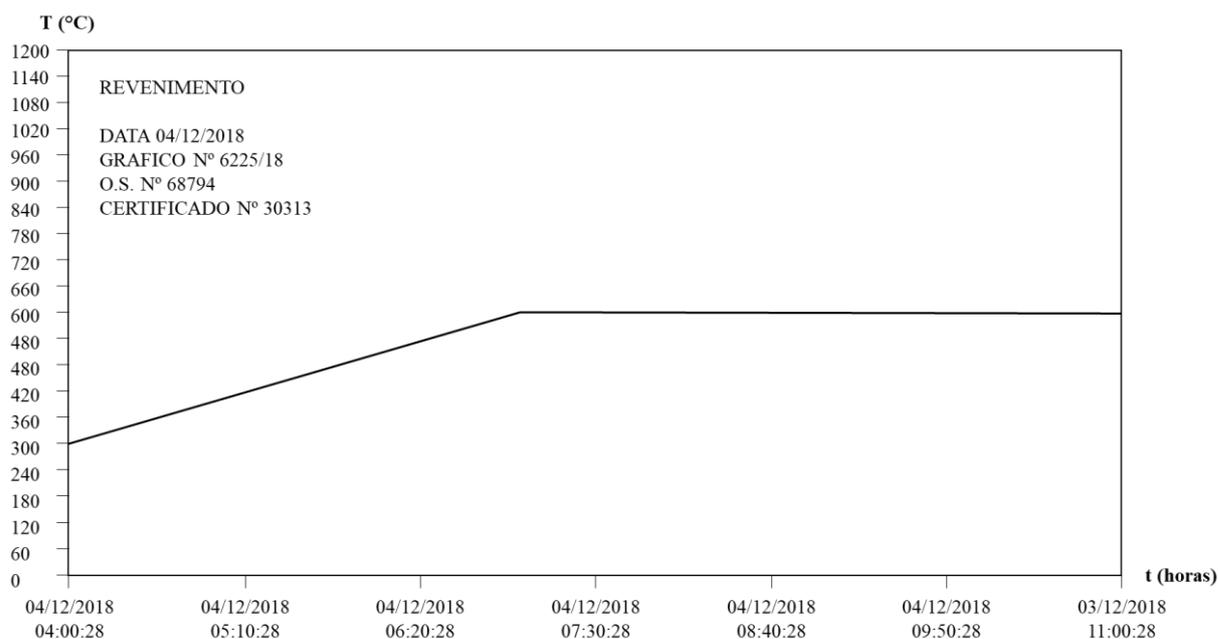


Figura 20: Gráfico de Tratamento Térmico – Revenimento

Fonte: Adaptado do Certificado de Qualidade do Material

3.4.4. Ensaio Mecânicos

Com o material tratado, para obter os dados necessários para comparação entre a materia prima original e a materia prima sugerida, após a realização de todos os tratamentos térmicos, a amostra precisa ser submetida a ensaios mecânicos que sejam capazes de informar os limites de resistência a tração e de escoamento, alongamento, redução de área, energia absorvida e dureza. Com estas propriedades é possível determinar se o material sugerido é adequado para fabricação da peça.

Desta forma, foram os ensaios de impacto Charpy, de tração e de dureza foram eleitos para este projeto, visto que, o primeiro resulta na quantidade de energia absorvida ou tenacidade, o segundo resulta nos valores de limite de escoamento, limite de resistência a tração, alongamento e redução de área, o ultimo, como o próprio nome, informa a dureza da amostra.

3.4.4.1. Ensaio de Impacto Charpy

O objetivo do ensaio de impacto Charpy é a determinação da energia de impacto e a determinação da resistência ao impacto de uma amostra metálica. Neste ensaio a amostra sofre o impacto único de uma força de grande carga pelo martelo do pêndulo da máquina de ensaios (Figura 21) provocando tensões multiaxiais. Com

resultado deste ensaio é possível avaliar se um metal é resistente ou frágil, ou seja fazer uma previsão da probabilidade da ruptura de material frágil.



Figura 21: Máquina para ensaio de impacto Charpy

Fonte: Site Labteste

O ensaio realizado para o presente estudo seguiu a norma ASTM A370 que fornece definições para testes mecânicos em aços. Dito isso, a tabela 4 apresenta as condições de teste, os requisitos e os resultados.

Teste de Impacto					
Requisitos	-40°C	> 54 J			
Dimensões (mm)	Temperatura °C	Energia Absorvida (J)			
10x10x55	-40	C1	C2	C3	Média
		89,1	102,1	92,9	95

Tabela 4: Resultado do Ensaio de Charpy

3.4.4.2. Ensaio de Tração

O Ensaio de Tração consiste basicamente na aplicação de uma carga uniaxial causando o alongamento paralelo ao eixo de aplicação da carga em um corpo de prova padronizado até a fratura. Isto é feito utilizando a máquina universal de tração, Figura

22, o corpo de prova é fixado pelas extremidades nas garras de fixação da máquina e são aplicadas cargas crescentes na direção axial e as deformações correspondentes são medidas com auxílio de um extensômetro. As cargas são mensuradas na própria máquina e o ensaio ocorre normalmente até a ruptura do material.



Figura 22: Máquina universal de Tração Instron

Fonte: Site do fornecedor

Para este estudo o ensaio foi realizado seguindo a norma ASTM A370-13, com corpo de prova cilíndrico e com temperatura de realização do ensaio entre 20 e 25°C. A tabela 5 exibe os requisitos e resultados obtidos por este ensaio.

Teste de Tração					
Requisitos	>=940	>=1000	> 12		
	Limite de Escoamento (Mpa)	Limite de Resistência à Tração (Mpa)	Alongamento (%)	Redução de Área (%)	
Diâmetro da amostra (mm)	921	1043	23,9	66	

Tabela 5: Resultado dos teste de tração

3.4.4.3. Ensaio de Dureza Brinell

De modo geral, os ensaios de dureza tem como princípio a penetração de um instrumento penetrador na superfície do metal pela aplicação de uma carga. No caso do Ensaio de Dureza Brinell, uma esfera de aço, de diâmetro D , é forçada pela aplicação de uma carga P a comprimir lentamente a superfície do material produzindo uma calota esférica de diâmetro d , a qual serve para determinar utilizando uma relação matemática um numero que corresponde ao valor da dureza Brinell (CHIAVERINI, 1986). Para este estudo o ensaio foi realizado utilizando um equipamento chamado durômetro ilustrado na Figura 23 e a Tabela 6 apresenta resultado obtido.



Figura 23: Durômetro

Teste de Dureza	
Análise	Dureza Brinell (HBW)
	Min 300
	Max 350
Encontrado	325

Tabela 6: Resultado do teste de dureza Brinell

3.4.5. Tensão Equivalente de Von-Mises

De acordo com Shigley (2011), a finalidade do parafuso de porca é manter duas ou mais partes juntas a partir do travamento do parafuso com a porca que é obtido ao torcer a porca, esta torção é realizada até que o parafuso se alongue até próximo de seu limite elástico gerando uma força de retenção, esta força existe na conexão após o aperto sem importar se é ou não exercida uma carga externa de tração no parafuso, por consequência deste alongamento a porca sofre um esforço de compressão.

Quando montada a conexão parafuso-porca, as roscas da porca estão sujeitas a um esmagamento causado pela força de retenção, a análise deste conjunto é dificultada pelas intolerâncias de fabricação que podem fazer com que nem todas as roscas da porca estejam em contato com o as roscas do parafuso para suportar a carga, fazendo com que a distribuição da carga entre as roscas seja desigual. Sendo assim, considera-se que a força atuante em 1 filete de rosca é 38% da força total (SHIGLEY, 2011).

Dito isso, e sabendo que a tensão limite de escoamento é a tensão máxima que o material pode sofrer antes de entrar no regime plástico e que , é preciso realizar a análise da distribuição de pré-carga em parafusos com porca e encontrar a tensão equivalente de Von-Mises para determinar se o material sugerido é apto para este projeto. Para tal, seguiu-se a metodologia demonstrada por Shigley (2011)

Seguindo a metodologia apresentada por Shigley (2011) para determinar o torque inicial, a força na rosca e as tensões sofridas pela rosca. Para esta análise utilizou-se uma tensão pré-carga equivalente a 25% da tensão limite de escoamento ($\sigma = 941 \text{ MPa}$) e área de trabalho igual a $1,81 \cdot 10^{-3} \text{ m}^2$, então utilizando as Equações 2 e 3 temos que a Pré-carga em N é dada por:

$$\sigma_i = 0,25\sigma$$

$$F_i = \sigma_i A$$

$$F_i = 416.650,58N$$

Onde:

49

- σ = Tensão Limite de Escoamento (N/m²)
- σ_i = Tensão pré-carga (N/m²)
- F_i = Pré-carga (N)
- A = Área de trabalho (m²)

As forças aplicadas na porca são provenientes do torque de aperto, este é dado pela equação 4 abaixo:

$$T_i \cong 0,21F_i d$$

$$T_i = 7.174,723Nm$$

Onde:

- T_i = Torque inicial (Nm)
- F_i = Pré-carga (N)
- d = Diâmetro externo ($d = 0,082m$)

Conforme dito anteriormente, não é possível garantir a uniformidade de contato entre as roscas da porca e do parafuso e por prudência a análise será feita considerando apenas uma rosca e para isso a força F será dada por:

$$F = 0,38F_i$$

$$F = 158.327,22N$$

A partir desta força pode-se determinar quais tensões a rosca está submetida. Sabendo que o corpo está submetido à um esforço de compressão, a primeira análise a ser feita é a de tensão de compressão na rosca, para isto é necessário definir a área de compressão, esta é dada pela equação 5:

$$A_t = \pi \left(\frac{d_{m\acute{a}x}}{2} \right)^2 - \pi \left(\frac{d_{m\acute{i}n}}{2} \right)^2$$

$$A_t = 4,58 \cdot 10^{-3}m^2$$

Onde:

- A_t = Área de tração (m²)
- $d_{m\acute{a}x}$ = diâmetro máximo (m)

50

- d_{min} = diâmetro nominal (m)

Com a área é possível encontrar a tensão de compressão que é dada pela equação 6 a seguir:

$$\sigma_c = \frac{F}{A_t}$$

$$\sigma_c = 34,57MPa$$

Outra carga é a carga de flexão da rosca, essa força F leva a rosca a fletir. A tensão de flexão é encontrada por meio de:

$$\sigma_f = \frac{M}{I/c}$$

Sendo:

$$M = Fl_x \text{ e } I = \frac{b.h^3}{12}$$

Temos que:

$$\sigma_f = 893,47MPa$$

Onde:

- σ_f = Tensão de flexão (Mpa)
- M = Momento fletor na rosca (Nm)
- I = Momento de inercia do filete de rosca (m⁴)
- c = metade da altura da rosca (m)
- F = Carga equivalente para 1 filete de rosca (N)
- l_x = (Raio máximo da rosca – raio mínimo da rosca) /2
- b = Comprimento do arco da rosca (m)
- h = Altura da rosca (m)

Com as tensões de compressão e flexão definidas é possível determinar a tensão equivalente de Von-Mises e finalmente atestar a viabilidade do uso do aço SAE 4340 para o projeto, sendo que para que o material esteja apto a tensão de Von-Mises deve ser menor do que a tensão limite de escoamento do material.

$$\sigma_{eq} = \sqrt{\sigma_c^2 + \sigma_f^2 - \sigma_c \sigma_f}$$

$$\sigma_{eq} = 876,70MPa$$

3.4.6. Simulação em software de elementos finitos

A fim de garantir a aplicabilidade do material para o fim proposto por este trabalho, realizou-se uma simulação utilizando o software de Elementos Finitos Solidworks do comportamento de um filete de rosca quando submetido as tensões previstas.

Para isto foi feito o desenho da peça em 3D, conforme Figura 24, com apenas um filete de rosca. Além do desenho foi definida a malha para análise, estabelecidas as condições estruturais e inseridas as cargas pré-determinadas no estudo analítico.

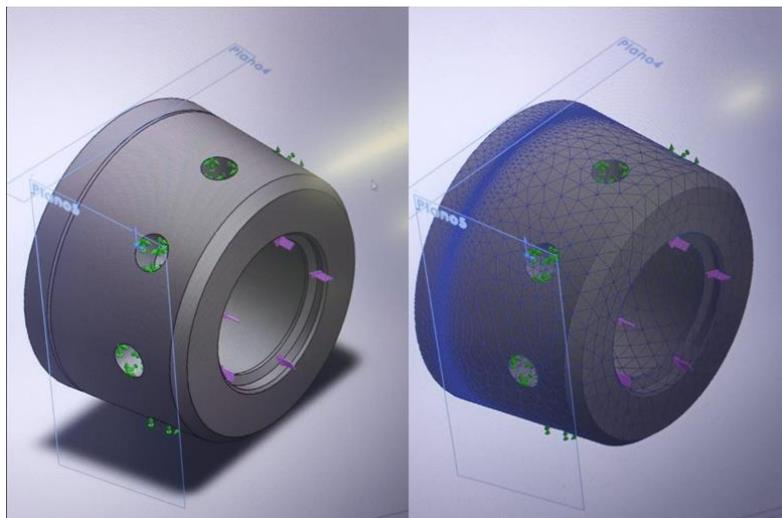


Figura 24: Desenho 3D da peça no Solid

Fonte: Autor

Depois de inseridos os dados, a simulação foi realizada e como ilustrado nas Figuras 25 e 26 a tensão máxima de Von-Mises encontrada, representada pelas áreas vermelhas, foi de aproximadamente 752MPa.

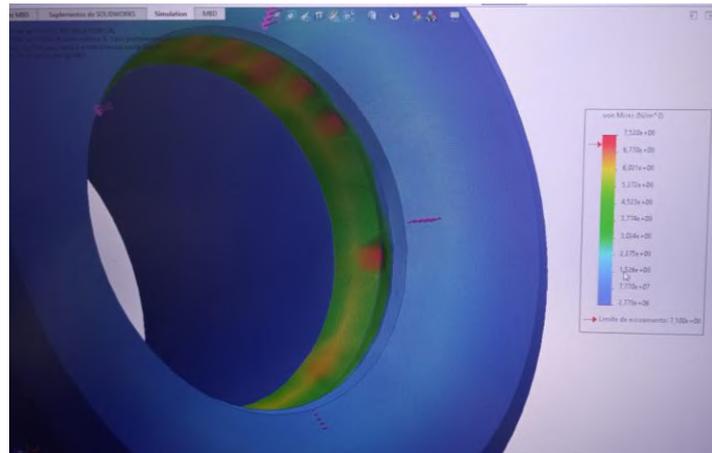


Figura 25: Resultado da simulação no Solid

Fonte: Autor

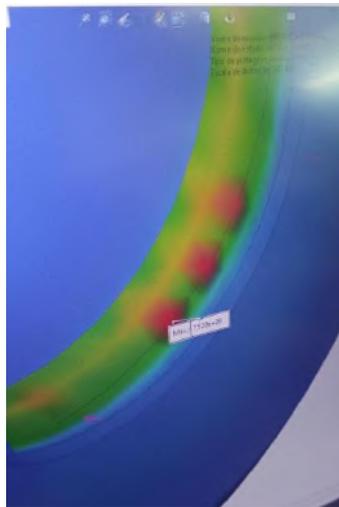


Figura 26: Corte ampliado da simulação no Solid

Fonte: Autor

4. DISCUSSÃO DOS RESULTADOS

Sabendo que o objetivo do estudo apresentado é viabilizar a fabricação da porca do Guindaste, originalmente fabricada em aço SAE 4335, com o aço SAE 4340. Neste item serão feitas as análises comparativas necessárias das propriedades mecânicas dos materiais para então aprovar ou não a fabricação da peça.

Para atender ao projeto, o material sugerido precisa atender os mesmos requisitos impostos ao material original da peça, ou seja, as propriedades não precisam ser idênticas desde que ambas atendam aos requisitos do projeto. A Tabela 7 apresenta os requisitos, as propriedades do material original e os resultados dos testes realizados no material sugerido.

Propriedades Mecânicas			
	Requisitos	Material original (SAE 4335)	Material Sugerido (SAE 4340)
Limite de Resistência à Tração	≥ 1000 Mpa	1099 MPa	1043 Mpa
Limite de Escoamento	≥ 940 Mpa	1003 Mpa	921 Mpa
Alongamento	$> 12\%$	16%	23,9%
Redução de Área	---	63%	66%
Dureza	> 295 HB	341 HB	325 HB
Charpy (-40°C)	> 42 J	54 J	95 J

Tabela 7: Comparação de Resultados

A partir dos resultados obtidos, nota-se que o limite de escoamento do material sugerido, aço SAE 4340, está 19MPa abaixo do requisitado para o projeto original e 82Mpa abaixo do Limite de escoamento do material original segundo o certificado da peça. Por isto se fez necessário analisar os esforços suportados pela porca para determinar a viabilidade deste estudo. A análise demonstrou que o Limite de Escoamento do material atende as necessidades de uso da porca, visto que a tensão de Von-Mises encontrada foi de 876,70MPa, ou seja, menor do que a requisitada pelo projeto original.

Além disso, a simulação em software de elementos finitos também atestou que as tensões sofridas pela porca são facilmente suportadas e que o material é adequado para fabricação da peça já que a tensão máxima encontrada foi de 752MPa.

Para atingir a pré carga de 0,25 da resistência ao escoamento seria necessário uma pessoa aplicar uma força de aperto de aproximadamente 600 kg numa chave de boca equivalente para o diâmetro da porca. O que é impossível para a força de um humano. O que mostra que o valor de tensão originada da força de aperto na porca será sempre menor que a tensão de escoamento. A partir dessa informação, pode-se garantir que mesmo o material escolhido mesmo tendo menor resistência ao escoamento não irá falhar para cargas de aperto.

Além disso, cabe comentar que o material escolhido ficou com dureza menor que o original mesmo após o tratamento térmico, porém teve no ensaio de Charpy uma maior energia absorvida pelo corpo de prova do novo material em relação ao original o que indica um aumento de tenacidade. O que pode indicar melhor resistência a fadiga e a falha abruptas devido a defeitos internos de fabricação, além de melhor resistência a cargas de impacto.

5. CONSIDERAÇÕES FINAIS

Este trabalho objetivou analisar o processo de internalização por meio da Engenharia Reversa de um item de reposição de um equipamento de içamento de carga de um navio sonda, através de um estudo de caso em uma empresa de óleo e gás. Contextualizar a indústria do petróleo no Brasil, sua breve história e o cenário atual; Apresentar a evolução da manutenção de equipamentos e seu papel estratégico na indústria; Descrever o processo de Engenharia Reversa, suas etapas e aplicações; Mostrar as propriedades mecânicas dos aços, suas aplicabilidades e os mecanismos para mensurá-las; Apresentar brevemente a Empresa X e o procedimento padrão para processos de internalização de peças, equipamentos e serviços; Discorrer sobre as etapas do processo de Engenharia Reversa da porca do guindaste; E analisar a viabilidade de fabricação da peça em questão com uma matéria prima alternativa.

Em relação à contextualização da indústria do petróleo, ficou evidente que o cenário econômico incentivou uma mudança estratégica no mercado fazendo com que as corporações direcionassem atenção para desenvolver ferramentas que possibilitassem sua manutenção no mercado e conseqüente que as tornassem mais competitivas.

Observou-se a amplitude de possibilidades do uso da metodologia de engenharia reversa como ferramenta para uma gestão estratégica a partir do estudo de caso apresentado neste trabalho e como o desenvolvimento de tecnologias depende desta metodologia.

Foi possível apresentar as principais propriedades mecânicas dos aços, suas características e funções para aplicação do material em projetos, assim como mostrar alguns dos ensaios mecânicos utilizados para mensurar tais propriedades.

Sobre as ferramentas de análise estrutural que serviram de auxílio para o estudo de caso, foram utilizados mecanismos analíticos e numéricos para determinar a tensão equivalente de Von-Mises. As estratégias escolhidas foram aplicadas no estudo de caso após as etapas de tratamento térmico do material para melhorar suas propriedades e da aquisição de dados pelos ensaios mecânicos a fim de garantir a confiabilidade do resultado do estudo.

Finalmente, o estudo de caso analisado mostrou o processo para avaliar a aplicabilidade de um determinado material em um projeto mecânico. Neste caso,

comprovar a viabilidade de utilizar o aço SAE 4340 para fabricar uma porca de diâmetro nominal de 48mm, originalmente fabricada em aço SAE 4335, com protótipo em CAD dimensionado a partir de uma amostra física da peça.

5.1. Possibilidade de Trabalhos Futuros

Em relação à possibilidade de trabalhos futuros no que tange o desenvolvimento de projetos utilizando a metodologia de engenharia reversa, seriam relevantes pesquisas que buscassem estudar o impacto financeiro que o produto gerou, aplicação de outras ferramentas de dimensionamento e prototipagem, como o scanner, por fim, escolha e análise do processo de fabricação para este tipo de componente, considerando as tolerâncias.

5.2. Limitações do Estudo

Embora a Empresa X tenha disponibilizado material para que o estudo de caso fosse realizado, os dados gerenciais e financeiros não foram divulgados, impossibilitando análise do impacto da substituição da peça original pela fabricada. Além disso, alguns detalhes a respeito dos ensaios mecânicos não foram disponibilizados para o estudo por terem sido realizados com empresas terceirizadas. Por fim, durante as etapas de revisão de literatura, identificou-se a indisponibilidade do manual de operação e manutenção do guindaste dificultando o detalhamento da aplicação da peça analisada.

6. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

AGOSTINHO, Oswaldo Luis; VILELLA, Ronaldo Castro; BUTTON, Sérgio Tonini. Processos de fabricação e planejamento de processos. Unicamp, Faculdade de Engenharia Mecânica, Introdução à Engenharia de Fabricação, 2004.

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

AVIZ, Daniel. Estudo da técnica de engenharia reversa para construção de geometrias complexas focando erros de forma e métodos de digitalização geométrica. 2010. 147f. Dissertação (Mestrado Engenharia Mecânica) - Sociedade Educacional de Santa Catarina. 2010.

BAGCI, Eyup. Reverse engineering applications for recovery of broken or worn parts and re-manufacturing: Three case studies. *Advances in Engineering Software*, v. 40, p. 407-419, jun. 2009.

CALLISTER, William D. Ciência e engenharia de materiais: uma introdução. 8ª. ed. Rio de Janeiro: LTC, 2012.

CHIAVERINI, V. Tecnologia Mecânica: Estrutura e propriedade da Ligas Metálicas. Editora Mc Graw-Hill, 2ed., v.I, São Paulo, 1986

CHIAVERINI, V. Tecnologia Mecânica: Processos de Fabricação. Editora Mc Graw-Hill, 2ed., v.II, São Paulo, 1986

CHIKOFSKY, Elliot J.; CROSS, James H. Reverse engineering and design recovery: A taxonomy. *IEEE software*, v. 7, n. 1, p. 13-17, 1990.

DE SOUZA, María Carolina Azevedo Ferreira; BACIC, Miguel Juan; RABELO, Flávio Marcílio. Flexibilidade, exploração de inter-relações e aprendizado organizacional: referências para a gestão estratégica de custos. In: *Anais do Congresso Brasileiro de Custos-ABC*. 1995.

DONG-FAN, Chen; MING-LUN, Fan. Reconstruction Technique in Reverse Engineering. *Proceedings of The IEEE International Conference on Industrial Technology*. pp. 37-41. 1996.

FERNEDA, A. B., Integração Metrologia, CAD e CAM: Uma Contribuição ao Estudo de Engenharia Reversa. Dissertação apresentada à USP como parte dos requisitos para obtenção do título de mestre. São Carlos, USP, 1999. 95 p.

FERRARESI, Dino. Fundamentos da Usinagem dos Metais. Brasil, Blucher, 2018.

FERREIRA, L. L. Implementação da Central de Ativos para melhor desempenho do setor de manutenção: um estudo de caso Votorantim Metais. 2009. 60f. Trabalho de Conclusão de Curso (Graduação em Engenharia de Produção). Universidade Federal de Juiz de Fora, Juiz de Fora, 2009.

GROOVER, M. P.; ZIMERS, E. W., CAD/CAM: Computer Aided Design and Manufacturing. Englewood Cliffs, New Jersey: Ed Prentice-Hall, 1984.

HIIBBELER, R. C., Resistência dos Materiais. Pearson Prentice Hall, 7ª edição, São Paulo, 2010.

INGLE, K. A., Reverse Engineering. MacGraw Hill: 1994. 239 p.

KARDEC, A.; NASCIF J. Manutenção: função estratégica. 3ª edição. Rio de Janeiro: Qualitymark: Petrobrás, 2009. 384 p.

KIMINAMI, Claudio Shyinti. CASTRO, Walman Benício de. OLIVEIRA, Marcelo Falcão de. Introdução aos processos de fabricação de Produtos Metálicos. São Paulo: Blucher, 2013.

LIMA, C. B. Engenharia Reversa e prototipagem rápida - Estudos de casos. Dissertação de Mestrado, Programa de Pós-graduação em Eng. Mecânica, UNESP, Campinas, 2003.

MACHADO, Álisson Rocha; SILVA, MB da. Usinagem dos metais. (Metal Cutting), Technical Notes, 9th version,[In Portuguese], 2004.

MARCONI, Marina de Andrade; LAKATOS, Eva Maria. Fundamentos de metodologia científica. 6. ed. São Paulo: Atlas, 2005.

MARTINS, G. D. A. Estudo de caso: uma estratégia de pesquisa. 2ª. ed. São Paulo: Atlas, 2006.

MONCHY, F. A função manutenção: formação para a gerência da manutenção industrial. Rio de Janeiro: Durban: 1989.

MORAIS, J. M. D. Petróleo em águas profundas: uma história tecnológica da Petrobras. Brasília: Ipea:Petrobras, 2013.

MURY, Luiz G.M.; FOGLIATTO, Flavio S. Adaptação de produtos para mercados diferenciados a partir da engenharia reversa. Revista Produção, v11, n2, abril 2002.

NOGUEIRA, T. B. R. ; LEPIKSON, H. A. Um método de engenharia reversa para projeto de produto mecatrônico aplicado à pequena e média empresa Anais do XXVI Encontro Nacional de Engenharia de Produção (ENEGEP), 2006.

PASCOLI, José A. Curso de Manutenção Industrial. 1994.

PETROBRAS. Tipos de Plataformas. Petrobras, 2015.

PETROBRAS. Cenários Petrobras - 2040. Petrobras, 28 Novembro 2018.

PINHEIRO, C. Efeitos do teor de umidade da madeira no fresamento de *Pinus elliottii*. 2014. 122f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Mecânica) – Faculdade de Engenharia do Campus de Guaratinguetá, UNESP – Univ. Estadual Paulista, Guaratinguetá, 2014.

PUNTAMBEKAR, Nirant V.; JABLOKOW, Andrei G.; SOMMER III, H. Joseph. Unified review of 3D model generation for Reverse Engineering. Computer Integrated Manufacturing Systems. Vol. 7, No. 4, pp. 259-268. Novembro 1994.

PRODANOV, C. C.; FREITAS, E. C. D. Metodologia do Trabalho Científico: Métodos e Técnicas da Pesquisa e do Trabalho Acadêmico. 2ª. ed. Novo Hamburgo: Feevale, 2013.

SAGGIORO, Eduardo; MARTIN, Antonio; LARA, Marcelo. Gestão de estoques MRO: otimizando a logística de peças de reposição. Revista Mundo Logística, São Paulo, v. 1, n. 04, p. 6-10, 2008.

SHIGLEY, J. E., BUDYNAS, R. G., KEITH, J. N. Elementos de máquinas. 8 ed. McGraw Hill, 2011.

SOUZA, S. A.; Ensaios Mecânicos de Materiais Metálicos, 5 ed. São Paulo, Blücher, 1982

SVOBODA, J.; YUE, V. 2017 Top Markets Report: Upstream Oil and Gas Equipment. The International Trade Administration, 2017.

THOMAS, J. E. Fundamentos de Engenharia de Petróleo. Rio de Janeiro: Interciência, 2001.

VIEIRA, S. Mecatrônica Atual: Automação Industrial de Processos e Manufatura. Novas tecnologias, 2008.

WYREBSK, J. Manutenção Produtiva Total. Um Modelo Adaptado. 1997. Dissertação (Mestrado em Engenharia de Produção). Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis, 1997.

XENOS, H. Gerenciando a Manutenção Produtiva. Belo Horizonte: Editora de Desenvolvimento Gerencial, 1988.

YUAN, Xing; ZHENRONG, Xing; HAIBIN, Wang. Research on integrated reverse engineering technology for forming sheet metal with a freeform surface. Journal of Materials Processing Technology. Vol. 112, pp. 153-156. 2001.

APÊNDICES

Apêndice A – Fluxograma do procedimento de Internalização da Empresa X

