

UNIVERSIDADE FEDERAL FLUMINENSE
ESCOLA DE ENGENHARIA
DEPARTAMENTO DE ENGENHARIA CIVIL

PRISCILLA PINHEIRO E SILVA LEMOS

**PROPOSTA DE FLUXO DE PROCESSO E DE LAYOUT DE EMBARCAÇÃO DO
TIPO PIPE LAYING SUPPORT VESSEL (PLSV) PARA OTIMIZAÇÃO DA
ATIVIDADE DE CARREGAMENTO DE DUTOS FLEXÍVEIS COM BASE NOS
PRINCÍPIOS DA CONSTRUÇÃO ENXUTA**

PROJETO DE CONCLUSÃO DE CURSO II

Niterói
2022

PRISCILLA PINHEIRO E SILVA LEMOS

**PROPOSTA DE FLUXO DE PROCESSO E DE LAYOUT DE EMBARCAÇÃO DO
TIPO PIPE LAYING SUPPORT VESSEL (PLSV) PARA OTIMIZAÇÃO DA
ATIVIDADE DE CARREGAMENTO DE DUTOS FLEXÍVEIS COM BASE NOS
PRINCÍPIOS DA CONSTRUÇÃO ENXUTA**

PROJETO DE CONCLUSÃO DE CURSO I

Projeto de Conclusão de Curso apresentado ao curso de Graduação em Engenharia Civil da Universidade Federal Fluminense, como requisito parcial para conclusão do curso.

Orientador:
Prof. Sérgio Luiz Braga França, D.Sc.

Niterói
2022

Ficha catalográfica automática - SDC/BEE
Gerada com informações fornecidas pelo autor

L555p Lemos, Priscilla Pinheiro e Silva
Proposta de Fluxo de Processo e de Layout de Embarcação do
Tipo Pipe Laying Support Vessel (PLSV) para Otimização da
Atividade de Carregamento de Dutos Flexíveis com Base nos
Princípios da Construção Enxuta / Priscilla Pinheiro e
Silva Lemos ; Sérgio Luiz Braga França, orientador.
Niterói, 2022.
78 f. : il.

Trabalho de Conclusão de Curso (Graduação em Engenharia
Civil)-Universidade Federal Fluminense, Escola de Engenharia,
Niterói, 2022.

1. Duto marítimo. 2. Construção enxuta. 3. Embarcação.
4. Produção intelectual. I. França, Sérgio Luiz Braga,
orientador. II. Universidade Federal Fluminense. Escola de
Engenharia. III. Título.

CDD -

PRISCILLA PINHEIRO E SILVA LEMOS

PROPOSTA DE FLUXO DE PROCESSO E DE LAYOUT DE EMBARCAÇÃO DO TIPO PIPE LAYING SUPPORT VESSEL (PLSV) PARA OTIMIZAÇÃO DA ATIVIDADE DE CARREGAMENTO DE DUTOS FLEXÍVEIS COM BASE NOS PRINCÍPIOS DA CONSTRUÇÃO ENXUTA

Trabalho de conclusão de curso apresentado ao curso de Bacharelado em Engenharia Civil, como requisito parcial para conclusão do curso.

Aprovada em 22 de julho de 2022.

BANCA EXAMINADORA

Prof. Sérgio Luiz Braga França, D.Sc. - UFF

Prof. Luis Perez Zotes, D.Sc. - UFF

Prof. Osvaldo Luiz Gonçalves Quelhas, D.Sc. - UFF

Niterói
2022

AGRADECIMENTOS

Gostaria de agradecer a minha mãe Mariângela e ao meu irmão Bruno por sempre me incentivarem a continuar e acreditar que posso tudo que me comprometo a fazer.

Também gostaria de agradecer ao meu namorado Gabriel por todo suporte e apoio nesse pouco tempo juntos. Com certeza me ajudou bastante nesse processo de final de curso.

Além disso, quero agradecer imensamente ao Edimon Martins por toda paciência e didática sobre o conteúdo, foi mais do que essencial para a elaboração e término desse trabalho. E agradeço, também, ao “Time de Desempenho” por todo suporte.

Por fim, gostaria de agradecer aos meus amigos, em especial Matheus Bento e o grupo “Open to fofoca” por todos os desabafos ouvidos, conversas e risadas dadas. Também foram essenciais para o término do trabalho.

RESUMO

O petróleo é uma das fontes de energia mais importantes da atualidade que supre grande parte da demanda de combustível em relação ao transporte. Faz-se necessário explorar águas cada vez mais profundas de forma que aumente a produção de petróleo. No entanto, para tal exploração, tornou-se fundamental o crescimento tecnológico e é a partir disso que os dutos flexíveis se tornam melhor aplicáveis. Por suas propriedades mecânicas e capacidade de reutilização, são melhores para esta tarefa e isso minimiza o custo da instalação. Outro fator que minimiza o custo é o tempo da operação de instalação e existem várias atividades que são correlacionadas para este fim, sendo uma delas a de carregamento. Carregamento de dutos flexíveis se trata de levar um duto de uma base *onshore* para ser armazenada no navio, chamado de PLSV (*Pipe Laying Support Vessel*) e ela também é classificada como Tempo Complementar Produtivo pois não agrega valor ao cliente, o que gera ainda mais importância na hora de reduzir o tempo dessa operação. Logo, com auxílio de artigos, outros trabalhos de conclusão de curso e entrevistas com engenheiros experientes da área, este trabalho aborda um estudo de caso a fim de propor um fluxo de processo e um *layout* de PLSV que otimizem a atividade de carregamento, tendo em vista os princípios da Construção Enxuta. Por fim, conclui-se que o carregamento de linhas em bobinas via cabrea torna o processo mais eficiente.

Palavras-chave: Carregamento, Dutos Flexíveis, PLSV, Construção Enxuta

ABSTRACT

Oil is one of the most important power supplies nowadays that can supply most of the transport demand of fuel. To enhance the production of oil it is necessary to explore deeper waters and they need more technological equipment, so that's how flexible pipes became better applicable. Because of its mechanical properties and the ability to be reused, they are the best option for this task, and this minimize the cost of installation. Other factor that contributes to the minimization of the cost is the installation duration and there are many activities that are correlated for this purpose, being one of them the activity of loading. Loading of flexible pipes is about taking a pipe from the loading base and stocking it in the Pipe Laying Support Vessel storage system. Beyond that, Loading is categorized as Productive Complementary Time, so it does not add value to the customer and this fact just adds up to the necessity of reducing the duration of this activity. So, with the help of articles, other course conclusion papers and interviews with experienced engineers, this study addresses a case study to propose a process flow and a layout of a PLSV's deck to optimize the activity of loading flexible pipes, using the principles of Lean Construction. Finally, it's concluded that the loading of pipes in reels by shear-legs is more efficient.

Keywords: Loading, Flexible Pipes, PLSV, Lean Construction

LISTA DE ILUSTRAÇÕES

Figura 1 –	Gráfico produção vs consumo de óleo	13
Figura 2 –	Linha de montagem da Ford (fabricação do modelo T)	18
Figura 3 –	Os pilares do Lean	20
Figura 4 –	Ciclo PDCA	25
Figura 5 –	Espinha de peixe do Diagrama de Ishikawa e os 6M	26
Figura 6 –	Nível Sigma e sua relação de defeitos por milhão	28
Figura 7 –	Exemplo de carta de controle feito no software Minitab	29
Figura 8 –	Modelo de conversão	31
Figura 9 –	Modelo de fluxo do Lean <i>Construction</i>	31
Figura 10 –	Sistema de produção submarino	34
Figura 11 –	Árvore de Natal Molhada	34
Figura 12 –	BAP e ANM	35
Figura 13 –	Camadas típicas de um duto flexível	36
Figura 14 –	Cabo de um umbilical seccionado	39
Figura 15 –	Sistema de lançamento horizontal	40
Figura 16 –	Sistema de lançamento vertical	40
Figura 17 –	Seven Waves, embarcação de lançamento vertical pelo <i>moonpool</i>	41
Figura 18 –	Bobina de armazenamento	41
Figura 19 –	Cesta de armazenamento de linhas flexíveis	42
Figura 20 –	Carretéis de armazenamento	43
Figura 21 –	Tensionador de 4 <i>tracks</i>	44
Figura 22 –	Guindaste	45
Figura 23 –	Guincho auxiliar	46
Figura 24 –	Embarcação Seven Rio, VLS, com roda de topo destacada	47
Figura 25 –	Mesa de trabalho de um PLSV	47
Figura 26 –	Conector seccionado	48
Figura 27 –	Cabeça de tração perfilada	49
Figura 28 –	Desenho de um enrijecedor	49
Figura 29 –	Vértices instaladas na extremidade do duto flexível	50
Figura 30 –	Colar de anodo instalado no conector	50
Figura 31 –	Carregamento em andamento	52
Figura 32 –	Desenho esquemático de uma CVD de 1ª com o cabo do guindaste já conectado a lingada	53
Figura 33 –	Operação de CVD de 2ª com a formação de corcova	54
Figura 34 –	<i>Pull-in</i> de 1ª extremidade com formação da catenária dupla	55
Figura 35 –	<i>Pull-in</i> de 2ª extremidade	56
Figura 36 –	Exemplo de <i>hatch</i>	62
Figura 37 –	Balsa com cabrea	64
Figura 38 –	Caminho crítico da operação hipotética	68
Figura 39 –	Gráfico de área mostrando a duração dos carregamentos	72

LISTA DE QUADROS

Quadro 1 – Método de Melhoria DMAIC	30
Quadro 2 – Compilação das durações obtidas dos caminhos críticos analisados	71

LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

A&R	Abandono e Recolhimento
ANM	Árvore de Natal Molhada
ANP	Agência Nacional de Petróleo
BAP	Base Adaptadora de Produção
BPMN	<i>Business Process Model and Notation</i>
CAPEX	<i>Capital Expenditure</i>
CTQ	Característica Crítica para a Qualidade
CVD	Conexão Vertical Direta
DCVD	Desconexão Vertical Direta
DMAIC	<i>Define, Measure, Analyse, Improve, Control</i>
DOE	<i>Design of Experiments</i>
EUA	Estados Unidos da América
FMEA	<i>Failure Mode and Effect Analysis</i>
HLS	<i>Horizontal Lay System</i>
JIT	Just in Time
LC	<i>Lean Construction</i>
MBR	<i>Minimum Bending Radius</i>
MCV	Módulo de Conexão Vertical
MSA	<i>Measurement System Analysis</i>
OPEP	Organização dos Países Exportadores de Petróleo
ORT	Organização Racional do Trabalho
PDCA	<i>Plan, Do, Check, Act</i>
PLSV	<i>Pipe Laying Support Vessel</i>
STP	Sistema Toyota de Produção
STP	Sistema Toyota de Produção
TCP	Tempo Complementar Produtivo
TDP	<i>Touch Down Point</i>
TLS	<i>Tiltable Lay System</i>
TP	Tempo Produtivo
UEH	Umbilical Eletro-Hidráulico
UEP	Unidade Estacionária de Produção
VLS	<i>Vertical Lay System</i>
VOC	Voz do Cliente

SUMÁRIO

1. INTRODUÇÃO.....	12
1.1 Contextualização da Pesquisa.....	12
1.2 Formulação da Situação Problema	14
1.3 Objetivos da Pesquisa	14
1.3.1 Objetivo Geral	14
1.3.2 Objetivos Específicos.....	15
1.4 Organização da Pesquisa	15
2. REVISÃO DE LITERATURA	16
2.1 <i>Lean Six Sigma</i>	16
2.2.1 Lean Manufacturing	18
2.2.2 Ferramentas do Lean Manufacturing	21
2.2.3 <i>Six Sigma</i>	25
2.2.4 Ferramentas do Six Sigma	27
2.3 <i>Lean Construction</i>	29
2.4 Instalação de dutos flexíveis <i>offshore</i>	32
2.4.1 Sistemas Submarinos de Produção.....	32
2.4.2 Embarcações PLSV	38
2.4.3 Sistemas de Armazenamento	40
2.4.4 Sistemas de Lançamento	42
2.4.5 Acessórios	47
2.4.6 Principais Operações	50
3. METODOLOGIA.....	56
3.1 Instrumento de Coleta de Dados.....	56

3.2 Análise e Tratamento dos Dados	57
4. ESTUDO DE CASO	58
4.1 A empresa	58
4.2 Diagnóstico das Operações de Carregamento de Dutos Flexíveis	58
4.3 Identificação de Desperdícios na Operação de Carregamento de Dutos Flexíveis	63
4.3.1 Identificação dos Gargalos e Desperdícios	63
4.3.2 Análise dos Gargalos e Desperdícios	66
4.4 Proposta de Fluxo de Processo e Layout de PLSV	68
5. CONCLUSÃO E RECOMENDAÇÕES PARA FUTURAS ANÁLISES	73
REFERÊNCIAS	75

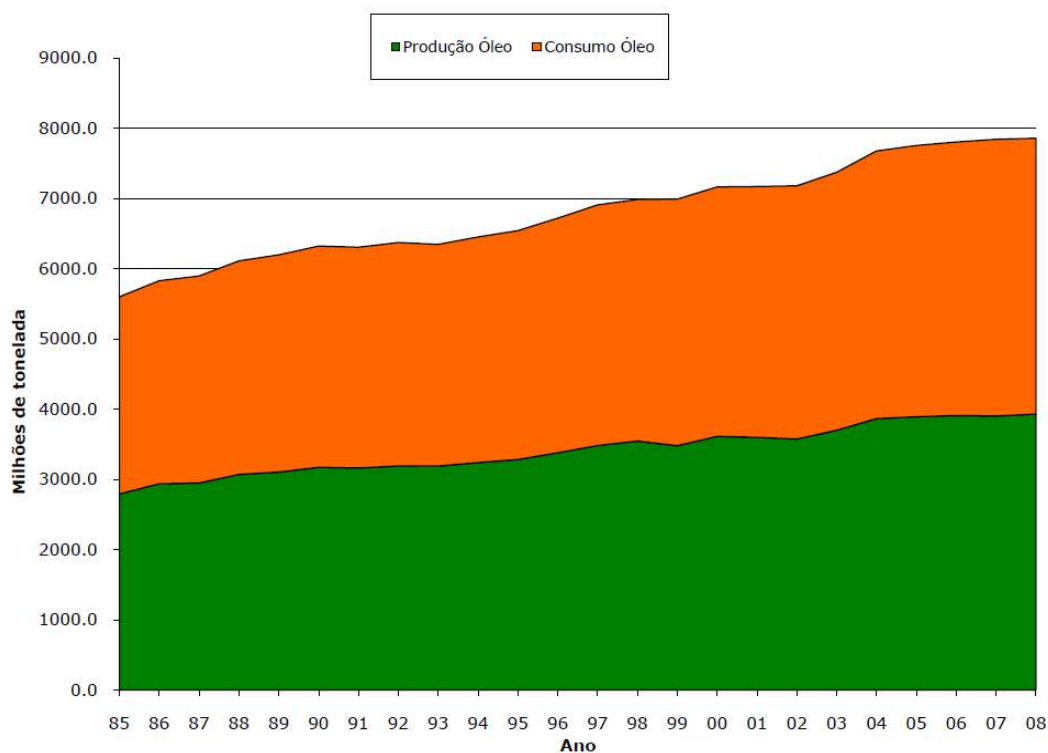
1. INTRODUÇÃO

1.1 Contextualização da Pesquisa

É possível dizer que o setor de petróleo e gás existe há mais de 150 anos, no entanto, sua utilização é datada desde a Antiguidade. Tijolos eram assentados com asfalto, realizava-se calafetação de embarcações com betume e pavimentação de estradas era utilizada para embalsamar mortos e construir pirâmides pelos egípcios (Ferreira, 2013, p. 12).

“Historicamente falando, o aumento na demanda mundial pelo petróleo vem sendo resultado do próprio crescimento econômico das nações, onde a energia representa uma fonte indispensável para produção” (PETRÓLEO..., 2021). A partir da figura 1, é possível observar o crescimento constante da produção e do consumo do óleo desde 1985. É válido ressaltar que é um gráfico do tipo área empilhada, apenas mostrando a crescente produção e consumo do óleo, não demonstrando em momento algum que o consumo de óleo ultrapassa a produção dele.

Figura 1: Gráfico produção vs consumo de óleo.



1 tonelada = aproximadamente 7,5 barris

Fonte: BP, 2009

“O petróleo é considerado a fonte de energia mais importante da atualidade, pois é através dele que são realizadas diversas atividades” (PETRÓLEO..., 2021). Apesar do petróleo ter suas desvantagens como o efeito estufa e o seu derramamento em águas, causando poluição e morte aos animais marinhos, tornando cada vez maior a busca por alternativas mais limpas de energia, como a energia eólica, é de consenso geral que ele está presente no cotidiano das pessoas e isso o torna uma matéria-prima essencial. Segundo Mendes et al. (2017), o petróleo e o gás são responsáveis por 56% da matriz energética mundial, sendo que apenas no setor de transporte, eles conseguem suprir 96% da demanda. Além disso, a maioria dos produtos manufaturados do mundo, atualmente, são ou contém derivados do petróleo.

Com a alta demanda dessa matéria-prima, a indústria *offshore* precisou ser criativa na produção submarina. Xavier (2006) cita o primeiro poço submarino em 1947 em que os equipamentos utilizados em águas rasas são similares aos de terra. A partir disso, ocorreu um grande avanço, tecnologicamente falando, que levaram à busca pela exploração em águas mais profundas. E, com uma das atribuições de um engenheiro sendo aproveitar e utilizar de recursos naturais para o desenvolvimento da indústria, era preciso desenvolver dutos capazes de operar nestas condições. Os dutos flexíveis ganharam espaço rapidamente nesse cenário por sua alta capacidade de absorver grandes curvaturas, mantendo sua integridade e rigidez axial (Costa, 2015).

Outro tema abordado neste trabalho é a filosofia *Lean Construction*. O LC é uma adaptação criada a partir da filosofia do *Lean Production* que é apenas um outro nome dado ao Sistema Toyota de Produção. O STP tem como seus principais objetivos eliminar desperdícios e reduzir o tempo de ciclo do processo ou a quantidade de etapas.

Originalmente, o *Lean* era basicamente aplicado na indústria de manufatura, onde existe uma linha de montagem em que os materiais e equipamentos se movem até os operadores e os produtos são iguais, como na indústria automotiva. O *Lean Thinking* foi o que tornou possível o surgimento do *Lean Construction* pois como diz Arantes (2008), os seus princípios procuram orientar uma nova forma de coordenar as ações e não estabelecer normas fixas. A partir disso, pôde-se aplicar numa indústria como a de construção civil, onde não há um fluxo de processo tão claro e os produtos são únicos, sem repetições.

1.2 Formulação da Situação Problema

Devido a pandemia do COVID-19, a demanda por petróleo e seus derivados caiu bruscamente, ocasionando na queda dos preços do barril, chegando a patamares negativos em Nova York – EUA (OPEP..., 2020). No entanto, o autor do artigo também cita a fala de Carlos Alberto de Casa, analista de da Activtrades, sobre ser muito provável que o petróleo ainda seja central pelos próximos 20 anos.

Apesar disso, a Agência Nacional de Petróleo (ANP) diz que durante a década entre 2010 e 2020, a produção de petróleo contou com um constante aumento na produção no Brasil (PRODUÇÃO..., 2021). Além disso, informa que a participação do pré-sal na produção correspondeu a 68,61% da produção nacional, sendo que em 2010 a participação foi de 1,53%. Com isso, observa-se a importância e necessidade do avanço tecnológico no setor.

A Petrobras, nos últimos anos, devido ao novo cenário que se encontra o mercado brasileiro, optou pela instalação de dutos flexíveis para essa demanda de forma estratégica, onde também vários equipamentos foram desenvolvidos para essa finalidade. E como cita Silva (2021), a exploração em águas tão profundas necessita que esses projetos tenham seu custo minimizado e quando se trata da instalação, o tempo de realização é um fator crucial no aumento do CAPEX (Capital Expenditure). Logo, é de grande interesse das instaladoras reduzir o tempo das operações que são realizadas para este fim.

Então, essa pesquisa foca em identificar os gargalos da operação de carregamento de dutos flexíveis, uma das atividades relacionadas a instalação submarina, e, com base no princípios do *Lean Construction*, reduzir e/ou eliminar tais gargalos para que essa atividade se torne mais eficiente do ponto de vista da duração da operação.

1.3 Objetivos da Pesquisa

1.3.1 Objetivo Geral

Esse estudo tem como objetivo propor um fluxo de processo e um layout de embarcação do tipo *Pipe Laying Support Vessel (PLSV)* para otimizar a atividade de carregamento de dutos flexíveis com base nos princípios da Construção Enxuta, visando reduzir e ou eliminar desperdícios.

1.3.2 Objetivos Específicos

Com base no objetivo geral deste estudo foram elaborados os seguintes objetivos específicos:

- Identificar os princípios da Construção Enxuta relacionados a atividade de carregamento de dutos flexíveis, a partir da revisão de literatura;
- Apresentar as operações de um carregamento de dutos flexíveis;
- Identificar os possíveis gargalos relacionados aos desperdícios apresentados pela Construção Enxuta na atividade em questão.

1.4 Organização da Pesquisa

Este trabalho apresenta 5 capítulos em sua composição.

O primeiro capítulo apresenta a contextualização geral da pesquisa e a situação problema envolvida assim como os objetivos geral e específicos do trabalho que justificam o estudo de caso.

O segundo capítulo apresenta a revisão da literatura do trabalho, ou seja, temas relacionados e importantes a serem abordados para maior entendimento do escopo do estudo de caso, como *Lean Six Sigma*, *Lean Construction*, além de apresentar os sistemas submarinos de produção, embarcações PLSV e suas características.

O terceiro capítulo explicita a metodologia utilizada para elaboração do trabalho, ou seja, a forma como os dados foram coletados, tratados e analisados.

O quarto capítulo apresenta o estudo de caso realizado utilizando uma embarcação com sistema de armazenamento de duas cestas como base e a partir disso, compreender como outros *layouts* se comportam em relação a operação de carregamento para, então, propor o *layout* mais otimizado em conjunto ao seu fluxo de processo.

O quinto capítulo aborda a conclusão do estudo com uma análise crítica da proposta apresentada no capítulo quatro e recomendações para futuras pesquisas.

2. REVISÃO DE LITERATURA

2.1 *Lean Six Sigma*

Antes de entrar na história e construção da metodologia *Lean*, é necessário entender de onde partiram seus princípios, que são de sistemas como o taylorismo e fordismo. Antigamente, toda produção era artesanal, que era “em boa parte, empírico, dependendo da experiência do artesão” (DENNIS, 2008, p. 20). Era um sistema baseado em trabalho manual, que custava alto e o volume de produção baixo.

A partir do século XX, tornou-se necessidade do ser humano de iniciar uma produção em massa, ou seja, volume de produção alto. Então, Fred Winslow Taylor, um engenheiro nascido na Filadélfia, criou duas obras que basearam o seu sistema de produção hoje conhecido como “Taylorismo”. Em sua primeira obra “Administração de Oficinas”, Taylor promoveu o estudo de tempos e movimentos, que tem como objetivo a padronização do método de trabalho e de ferramentas que são utilizadas. Isso visava a eliminação de desperdícios de movimento. Por causa deste estudo, “a padronização de instrumentos permitiu um aumento da velocidade no trabalho de forma imediata no que se refere a todos os mecanismos em que são utilizadas” (PASSOS, 2005).

Taylor também criou a Organização Racional do Trabalho (ORT), que também tem como objetivo eliminar movimentos inúteis dos operários, então a ORT promove o estudo de tempos e movimentos dos trabalhadores a fim de tornar mais simples e rápida a operação das tarefas e assim, estabelecendo um *cycle time* (tempo de ciclo) das etapas do processo. Além disso, ele também acreditava em melhores salários para todos e maiores salários para aqueles com produtividade maior.

No entanto, existem, também, críticas ao Taylorismo visto sua padronização de movimentos, que tem a intenção de não fazerem os profissionais pensarem, apenas reproduzirem seus movimentos de forma automática, como se o homem se tornasse em uma máquina ou engrenagem da produção. Isso torna os profissionais substituíveis ou descartáveis.

Em resumo, Taylor criou uma filosofia que prega a produção em massa com padronização de tempo, movimento e ferramentas a fim de reduzir o tempo de produção assim como o custo. Segundo Pascal Dennis (2008, p. 21) “Os grandes pioneiros da produção lean, desde Taiichi Ohno até Shigeo Shingo, reconheceram o quanto eles devem a Taylor.”

Um outro precursor do *Lean Manufacturing* foi Henry Ford, engenheiro e proprietário da fábrica Ford. Ford criou o sistema de produção conhecido hoje como “Fordismo” que é um sistema complementar ao de Taylor. Como mencionado por Pasqualini (2004), este sistema utilizou o conceito da divisão da produção de tarefas especializadas de Taylor e as organizou em uma sequência linear, formando a linha de montagem.

No entanto, essa não foi o principal conceito de Ford. Ele também implementou a filosofia da intercambialidade, ou seja, as peças precisam ser fáceis de montar e intercambiáveis, isso ajudou bastante na criação da linha de montagem, já que deixou de existir a necessidade de ajuste das peças como era na produção artesanal. Para isso, era necessário haver uma padronização das peças nas operações.

Um outro problema resolvido por Ford era o excesso de movimentação dos funcionários para buscar ferramentas/peças. Esse processo era demorado e acarretava numa menor produtividade. Ele, então, implementou o sistema de esteiras na fábrica que entregam as peças aos operadores, reduzindo sua movimentação e acelerando o trabalho. E, por isso, “tempos de ciclo, que eram medidos em horas em 1908, caíram para minutos em 1913 na fábrica de montagem que Ford estabeleceu em *Highland Park*” (DENNIS, 2008, p. 22). Esse sistema também impõe um ritmo específico em que os trabalhadores precisam seguir, acarretando numa maior disciplina deles e impedindo suas participações/criatividade, como dito por Tenório (2010).

Figura 2: Linha de montagem da Ford (fabricação do modelo T)



Fonte: <https://www.ford.com.br/>, acessado em 15/08/2021 às 16h30

Uma outra frente tomada pelo fordismo, foi a de redução de custo, que foi atingido por duas atitudes. Uma delas foi a de redução de estoque, menos mercadoria produzida, menor custo. A outra foi a padronização da cor dos carros, que sempre era preta. Como dizia o próprio Henry Ford “o cliente pode ter o carro da cor que quiser, desde que seja preto”.

Visto isso, Ford e Taylor criaram sistemas de produção de massa que valorizam uma maior produtividade com menor custo possível, fazendo estudo de tempos e movimentos dos operadores, a fim de reduzir estes desperdícios. A seguir, será visto como isso se encaixa na metodologia do *Lean Manufacturing*.

O *Lean Six Sigma* é uma metodologia da qualidade em grande crescimento dentro de empresas e indústrias de vários países devido à grande melhoria que ela pode trazer para os processos de produção. Como dito por Cristina Werkema (2017) “O *Lean Seis Sigma* é uma estratégia gerencial para a melhoria do desempenho do negócio e, como sabemos, a necessidade de melhoria sempre existirá.” No entanto, essa metodologia surgiu da junção de outras duas, sendo elas o *Lean Manufacturing* e o *Six Sigma*.

Estas duas metodologias são marcos importantes na indústria mundial pois trouxeram melhorias significativas na forma de produção. Para a criação delas, houve precursores que iniciaram essa busca pela evolução industrial, como foi apresentado anteriormente.

2.2.1 Lean Manufacturing

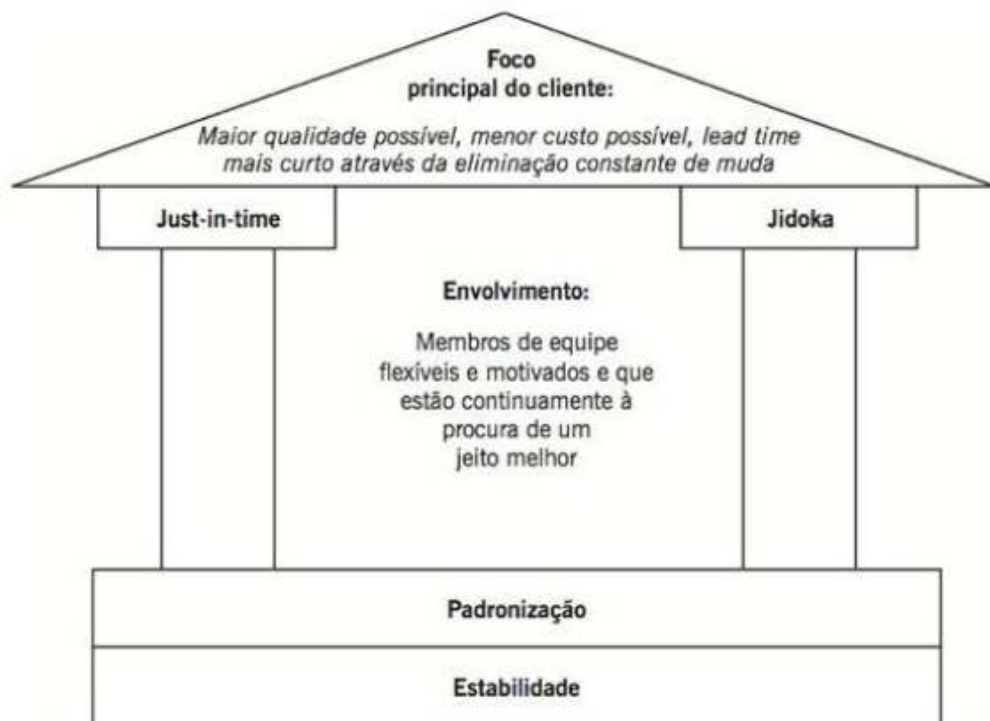
O *Lean Manufacturing* é uma metodologia que surgiu no Japão, criado pela Toyota, que também pode ser conhecido com o Sistema Toyota de Produção (STP). Esse surgimento se deu logo após a Segunda Guerra Mundial, quando o Japão enfrentava problemas econômicos e a Toyota começou a decair enquanto empresas americanas estavam se sobressaindo em termos de produtividade. Ponsonato (2020, p. 9) cita a visita de Eiji Toyoda, engenheiro da Toyota na época, à fábrica da Ford para entender o processo de produção em massa de um produto de alto valor agregado delas. Na época, a Ford chegava a produzir 7000 carros por dia.

No entanto, Eiji Toyoda notou que a produção no Japão não poderia se igualar a dos Estados Unidos porque o mercado interno era pequeno e por isso necessitava de uma grande variedade de veículos além de que por causa da economia devastada pós Segunda Guerra Mundial, não havia possibilidade de investimento nas grandes máquinas utilizadas nos EUA. Por esses motivos, era fundamental a criação de um novo modelo de produção, que coubesse na situação econômica do país.

Então, após seu retorno ao Japão, algumas decisões precisaram ser tomadas. Para conseguir sobreviver a depressão econômica, Kiichiro Toyoda, o então presidente da Toyota, realizou algumas negociações com sindicato trabalhista, como: um quarto da mão de obra da fábrica foi demitida, Kiichiro renunciou o seu cargo e o restante da mão de obra recebeu a garantia de emprego vitalício e salários vinculados a senioridade e lucratividade da empresa (bônus) (DENNIS, Pascal, 2008, p. 26).

A partir desse conjunto de fatores, deu-se início a criação do que hoje é conhecido como o Sistema Toyota de Produção (STP). O STP tem dois pilares que o sustentam: o *Just In Time* (JIT) e o *Jidoka*. O JIT é exatamente o conceito de “produzir as unidades necessárias em quantidades necessárias no tempo necessário” (MONDEN, 1984). Isso se conecta diretamente com o princípio do Fordismo de produção só até atingir o estoque mínimo. Além disso, segundo Marco Aurélio P. Dias (2006), citado por Pereira e Gonçalves (2011), os ciclos do JIT são curtos pois requer flexibilidade para fazer alterações de produtos. Por isso também foi essencial para situação econômica do Japão na época.

Figura 3: Os pilares do Lean



Fonte: DENNIS (2008)

O *jidoka*, por outro lado, apresenta o conceito de automação que significa “automação com inteligência humana”. Ele funciona a partir de ferramentas que apontam erros no

sistema, *Andon* (gestão visual) e tudo que pode tornar o processo mais produtivo, com menos interrupções e menos defeitos.

Além disso, o STP utiliza de uma filosofia escondida que é *kaizen*. Esse conceito significa melhoria contínua. “*Kaizen* transmite a ideia de todas as pessoas melhorando todas as coisas o tempo todo.” (CHAVES, 2010, p. 47). O *kaizen* é baseado em melhoria contínua com poucas despesas e bom senso, um processo de resolução de problemas com a utilização de dados. A resolução de problemas pode acontecer tanto pela inovação, com aplicação de novas tecnologias ou com ferramentas de baixo custo, listas de verificação e esforços, este último sendo o *kaizen*.

Com todas essas informações e conceitos existentes dentro do Sistema Toyota de Produção, fica fácil de entender que um dos seus maiores objetivos é a redução de desperdícios, que no Japão é conhecido como *muda*. *Muda* é o que o cliente não está disposto a pagar, ou seja, não agrega valor ao negócio. Para isso, Taiichi Ohno considera 8 possíveis desperdícios que podem ocorrer dentro de uma operação, sendo eles:

- a) Transporte – desperdício que pode ser causado por atraso na entrega, equipamentos muito grandes, *layout* inadequado do local de trabalho;
- b) Estoque – desperdício que pode ser causado pelo excesso de estoque que significa em dinheiro parado;
- c) Movimento – desperdício que pode ser causado pelo excesso de movimentação de um operador para buscar ferramentas ou quando ele precisa se esticar;
- d) Espera – desperdício causado quando funcionários precisam esperar algo para concluírem suas ações, como o conserto de uma máquina ou uma peça terminar de ser processada para partir para a próxima etapa;
- e) Superprocessamento – desperdícios que pode ser causado por excesso de burocracia, quando a assinatura de um documento precisa passar por várias pessoas até chegar à pessoa final, quando um processo tem muitas etapas desnecessariamente;
- f) Superprodução – esse desperdício está conectado com outros desperdícios porque quando existe um excesso de produção, vai existir excesso de estoque, desperdício de energia, de matéria-prima;

- g) Defeitos – quando existe algum tipo de erro na produção e todo o trabalho feito é jogado fora causando perda de tempo, perda de matéria-prima;
- h) Habilidades – esse desperdício é causado quando não se conhece as habilidades e conhecimentos dos próprios funcionários, podendo colocar pessoas em cargos que não se conectam com suas formações e estudos.

Coutinho (2020) diz que se esses desperdícios forem eliminados continuamente, é possível aumentar o nível de competitividade da empresa e consequentemente se manter mais sustentável no mercado.

Todos esses princípios e conceitos do *Lean Manufacturing* dizem apenas a forma de pensamento e funcionamento desse sistema. No entanto, para fazer esse sistema realmente acontecer na prática, existem ferramentas que auxiliam nessas melhorias de processo/produto e a seguir, algumas delas serão apresentadas.

2.2.2 Ferramentas do Lean Manufacturing

Uma das ferramentas do Lean que ajuda o JIT a se manter é o *kanban*. O *kanban* é uma ferramenta visual, normalmente em forma de cartão, que apresenta as informações mais importantes sobre aquele produto ou lote. Ou pode vir em forma de *kanban board* (quadro de *kanban*) que é um sistema de controle de produção através de sistemas visuais que podem indicar: tarefas que já foram concluídas, tarefas que ainda precisam ser realizadas, se existe um produto específico que precisa ser produzido, entre outros. Com essas informações fornecidas pelo *kanban*, o JIT pode funcionar perfeitamente sabendo o que deve ser produzido e quando deve ser produzido.

Uma outra ferramenta que auxilia o JIT é o *poka-yoke*, criado pelo engenheiro Shigeo Shingo. Essa ferramenta surgiu a partir do conceito de *jidoka*, que fala sobre a prevenção de defeitos. Um processo livre de defeitos causa o aumento da capacidade e da performance. O *poka-yoke*, então, “se refere a dispositivos simples, baratos e a prova de falhas” (DENNIS, Pascal, 2008, p. 110). Um exemplo de *poka-yoke* são as tomadas brasileiras que tem 3 entradas e só vai te permitir colocar da maneira certa. Esse dispositivo é de grande ajuda numa operação porque se muitos defeitos são produzidos, automaticamente aumenta o lead time da produção, o custo e diminui a produtividade.

Em relação ao evento *kaizen*, segundo Hanashiro (2005, p. 60), “segue uma sequência bem definida de atividades e todas as decisões e soluções devem ser apoiadas por dados.” Então, parte-se desse conceito a necessidade de um processo e um trabalho padronizado. Para isso, existe o Mapa de Fluxo do Valor, que é um diagrama que mostra todas as etapas necessárias de um processo desde a chegada do fornecedor com a matéria-prima até a chegada do produto final ao cliente. Com esse mapa, consegue-se obter uma visão global do processo com um todo, o *lead time* dele, quais etapas agregam valor e etapas que não agregam e quanto que é gasto de hora-homem, matéria-prima, recursos etc. Tudo isso permite a uma tomada de decisão rápida em relação a operação, acontecendo, assim, a melhoria contínua.

Além disso, existe uma ferramenta simples, porém bem importante do Lean que ajuda na organização e limpeza de um ambiente de trabalho. Conhecida como 5S, essa ferramenta utiliza de 5 sentidos para atingir boa gestão do ambiente de trabalho. Silva *et al* (2013) define o 5S como um meio de tornar o ambiente de trabalho mais harmonioso e agradável. São esses sentidos:

- *Seiri* - senso de utilização: consiste na verificação do que é útil e do que é inútil num ambiente de trabalho, pode-se inclusive criar um sistema de separação classificando como frequentemente utilizado, ocasionalmente utilizado, raramente utilizado e desnecessário, onde esses últimos serão descartados;
- *Seito* - Senso de organização: utilizar das classificações acima e organizar de forma que os itens mais utilizados fiquem mais perto e os menos, fiquem mais longe, com o intuito de perder o menor tempo possível na hora de procurar o que precisa;
- *Seiso* - senso de limpeza: como o nome já diz, é imprescindível deixar o ambiente de trabalho limpo, pela mesma questão abordada no senso de organização, porém é ter em mente que isso não é o trabalho de uma pessoa, mas sim de todos que trabalham na empresa;
- *Seiketsu* - senso de padronização: significa colocar um sistema de padronização em prática para que a visualização e reconhecimento de onde está o que ficar mais fácil, podendo ser usado sistema de cores e/ou etiquetas, assim como padronizar ferramentas, de forma que todos já estejam acostumados com os mesmos equipamentos;

- *Shitsuke* - senso de disciplina: este senso acaba sendo o mais difícil pois ele consiste na prática do 5S todo dia, de forma rotineira, onde todos os funcionários devem estar engajados a trabalhar em todos os sentidos.

É necessário ter cuidado para que o 5S não seja aplicado em apenas um dia, como se fosse uma faxina. Ele existe de forma que todos os colaboradores o apliquem diariamente, não só no ambiente de trabalho, mas em casa, para criar esse hábito. Faz parte de uma transformação na forma de agir de cada um.

Já para fazer projetos pequenos do início ao fim, a ferramenta A3 é a escolha ideal. Este relatório foi desenvolvido pela Toyota com o intuito de colocar todas as informações relevantes de forma sucinta para a solução de um problema em apenas um local só. O relatório A3 é chamado assim por causa da folha de tamanho A3 e ele tem como sua base principal o ciclo PDCA. Loyd et al (2010) cita que o diferencial do A3 não é formato, mas a estrutura com seções indicando as informações básicas, por isso não existe um modelo único. Algumas informações que costumam estar num A3:

- Tema: é um título que descreve o problema que será atacado;
- Condição atual: descreve, as vezes em forma de diagrama, como está a situação atual do processo/operação que produziu o problema, mensurando esse problema por meio de métricas;
- Meta: pontua o objetivo que deve ser atingido, que será medido através de métricas relacionadas ao problema;
- Análise de causa raiz: seção onde existe uma completa análise de todas as possíveis causas através do diagrama de Ishikawa e os 6M e a descoberta da real causa raiz ou a utilização do método dos 5 porquês para essa análise;
- Condição futura: onde se esperar chegar após a aplicação de contramedidas que farão o processo atingir as metas estabelecidas;
- Plano de ação: conjunto de ações que serão realizadas para atingimento da meta, com seus respectivos responsáveis, prazos e qualquer outra informação que seja pertinente a ação;

- Acompanhamento e Resultados: seção onde são apresentadas as métricas que estão sendo acompanhadas ao longo da implementação e o resultado, obtendo uma visão da melhoria que o projeto do relatório A3 trouxe.

Como dito anteriormente, a base do A3 é o ciclo PDCA que, segundo Oribe (2009), este ciclo surgiu de adaptações e modificações feitas a partir dos três processos de produção em massa: especificação, produção e inspeção. Este ciclo segue as etapas de *Plan* (planejar) – *Do* (executar) – *Check* (verificar) – *Act* (agir). Essas etapas seguem estão expostas nas seções do A3. A etapa de planejamento que é planejar o que será executado no projeto, com informações de título, metas, como está o processo atualmente e como estará futuramente. Já a etapa executar é a parte do plano de ação. A etapa de verificação é acompanhar o plano de ação e se está sendo efetivo e a última etapa, é a etapa de reajuste e padronização de processo.

Figura 4: Ciclo PDCA



Fonte: Coutinho (2017)

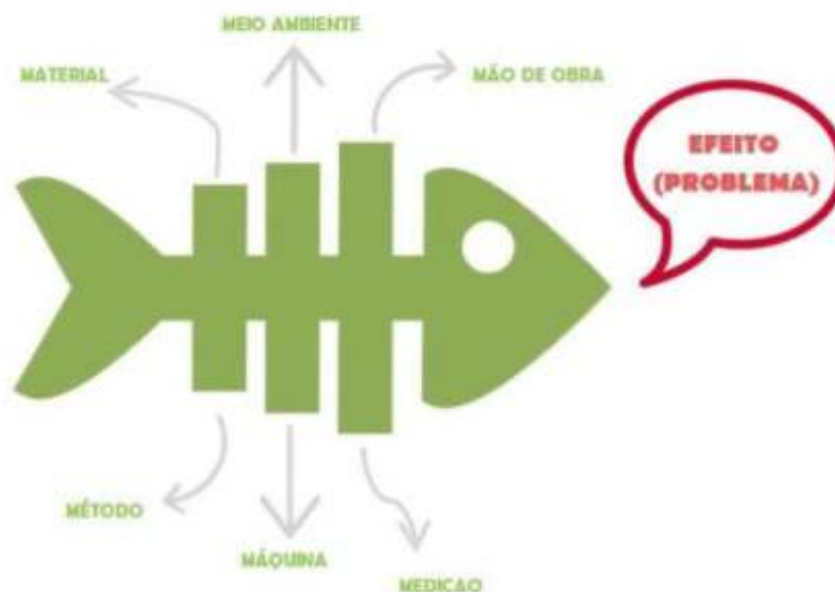
Já para a parte de análise do A3, existem duas ferramentas muito comuns de serem utilizadas, não só nesse relatório, mas para qualquer situação em que se queira estudar as causas de um problema até chegar na causa raiz. Essas ferramentas são o diagrama de Ishikawa e os 5 porquês.

O diagrama de *Ishikawa* é uma das 7 ferramentas da qualidade, que tem por objetivo dividir as causas em 6 categorias e expô-las na forma de uma espinha de peixe, em que o resultado é exatamente o problema a ser estudado. Como mencionado por Moreira e Loos (2017), o diagrama de *Ishikawa* “estrutura de forma hierárquica as causas em potencial, bem como as oportunidades de melhoria.” Souza et al (2014) também cita que essa ferramenta

costuma ser utilizada em equipe e ela permite que o grupo se concentre no conteúdo do problema, não na história ou nos interesses pessoais dos membros.

Para montar o diagrama, basta desenhar uma espinha de peixe com 6 espinhas no total e cada uma delas vai ter uma categoria que são conhecidas como “6M” pois são elas: Material, Mão de Obra, Método, Meio Ambiente, Medição e Máquina. E na ponta final, onde ficaria a cabeça do peixe, colocar o problema a ser solucionado. A partir disso, basta construir, pensando no problema, causas relacionadas a ele de cada uma dessas categorias. É uma ferramenta muito robusta para estudar profundamente o problema.

Figura 5: Espinha de peixe do Diagrama de Ishikawa e os 6M



Fonte: Coutinho (2020)

E, por último, os 5 porquês consistem em olhar para o problema e perguntar 5 vezes “porque”. Dizem que assim se chega ao fundo do problema, podendo resolvê-lo a partir disso. Perguntando 2 ou 3 vezes, acaba sendo uma análise muito rasa e a solução não será boa o suficiente para resolver. É uma ferramenta bem simples, porém efetiva.

2.2.3 Six Sigma

O *Six Sigma* foi criado pelo engenheiro Bill Smith, engenheiro da Motorola por volta da década de 80 e tem como finalidade reduzir a quantidade de defeitos produzidos na fabricação dos produtos. No entanto, essa metodologia só ficou difundida após a General

Eletric divulgar o resultado atingido por ela após a implementação do *Six Sigma* por dois anos, que foi a redução dos gastos na ordem de 1,5 bilhão de dólares em 1999 (WERKEMA).

A estratégia do Six Sigma consiste em aumentar a performance e a lucratividade da empresa por meio de conceitos de melhoria da qualidade, como: controle estatístico de processo, gerenciamento de processos, simulação, benchmarking, entre outros. Tem como base a metodologia conhecida como DMAIC que significa:

- *Define* (Definir): etapa onde é definido o maior problema/gargalo da produção, é um projeto que irá aumentar a satisfação do cliente, sendo ele interno ou externo;
- *Measure* (Medir): etapa em que são mapeadas e medidas diversas variáveis do processo que podem alterar o produto final (impactam na característica crítica da qualidade – CTQ);
- *Analyse* (Analisar): análise estatística das variáveis definidas na etapa anterior e determinação das principais fontes de variação do processo;
- *Improve* (Melhorar): etapa em que são aplicados testes para reduzir ou eliminar as fontes de variação de encontrar no “Analisar”, de forma a criar um processo com pouca variabilidade e maior performance e capacidade;
- *Control* (Controlar): etapa final para controlar e assegurar que as melhorias feitas no processo perdurem, garantindo sua durabilidade.

Ou seja, o *Six Sigma* é uma metodologia que utiliza de dados mensuráveis e análises estatísticas para melhorar o processo. *Six Sigma* significa o número de defeitos produzidos em um processo, ele trabalha de forma que haja uma “redução na variação do resultado entregue aos clientes a uma taxa de 3,4 falhas por milhão ou 99,99966% de perfeição” (SOUZA et al, 2007). Isso quer dizer que a cada um milhão de peças produzidas, apenas existirão 3,4 peças com defeito. Na figura abaixo é mostrada a relação dos *sigmas* com a taxa de defeitos.

Figura 6: Nível Sigma e sua relação de defeitos por milhão

Nível da qualidade	Defeitos por milhão (ppm)	Factor Percentual
2 sigma	308.537	69,15
3 sigma	66.807	93,32
4 sigma	6.210	99,3790
5 sigma	233	99,97670
6 sigma	3,4	99,999660

Fonte: Souza et al (adaptado, 2007)

É válido ressaltar que para a implementação do Six Sigma ocorrer em uma empresa, é necessário que exista um treinamento de aspecto hierárquico de cima para baixo, onde a liderança é a primeira a se envolver com a metodologia. Essa hierarquia se dá pelo nível de treinamento de cada um e esses níveis são simbolizados pela palavra “*belts*”. Os níveis se dão pela presença dos *Green Belts*, *Black Belts*, *Master Black Belts* e os *Champions*, que estão no topo. (Souza et al, 2007 e Couto, 2020).

2.2.4 Ferramentas do Six Sigma

Existem várias ferramentas que auxiliam na aplicação do projeto Six Sigma. Como a metodologia DMAIC é muito bem definida, existem ferramentas que ajudam a construir cada uma das etapas. A seguir serão apresentadas algumas delas.

Para a etapa de definir, podem ser utilizadas ferramentas como o VOC (voz do cliente) ou benchmarking ou pesquisa de satisfação com cliente. Essas duas últimas auxiliam na busca de gargalos que existem na produção através de comparação do processo da empresa com os concorrentes e o que satisfaria o cliente. O Mapa do Processo também é bem-vindo quando se trata de entender melhor o processo a ser estudado e assim, definir melhor o projeto a ser executado.

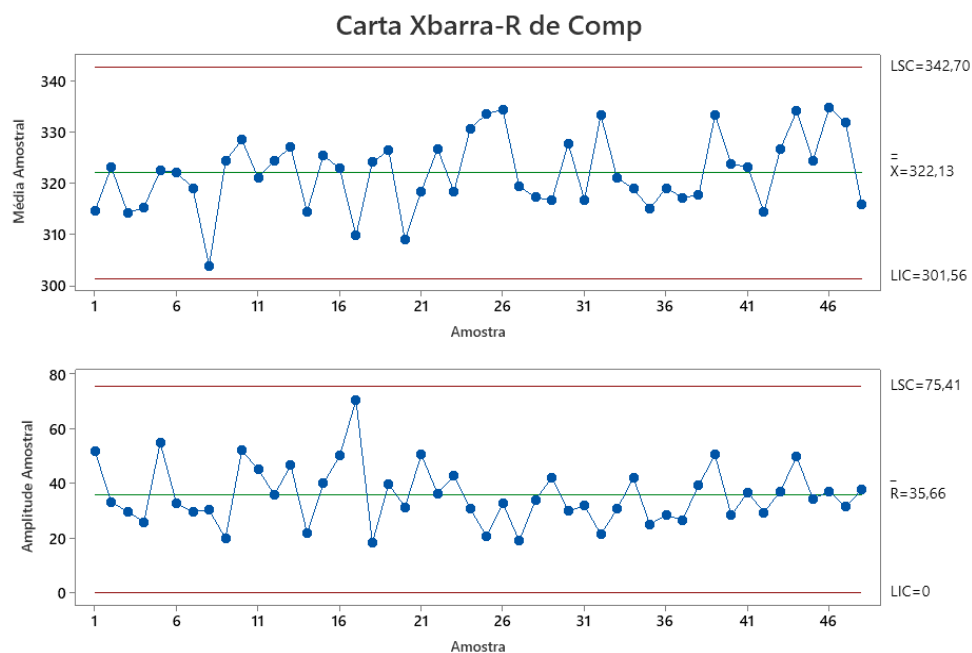
Para o medir que “deve-se fazer um levantamento geral de todas as entradas do processo (X’s) e como se relacionam com os CTQ’s (características críticas para a qualidade) do cliente” (Souza et al, 2007) podem ser utilizadas ferramentas como: Diagrama de Ishikawa, Matriz

de causa e efeito, cálculos relacionados a estatística básica, como cálculo de capacidade e performance (cpk e ppk) e o MSA (Measurement System Analysis), que significa análise do sistema de medição, consistindo na verificação da repetibilidade e reprodutividade das medições.

Para a etapa de analisar, são comuns serem utilizadas muitas análises estatísticas como os testes T, testes de hipótese, análise de regressão e correlação, teste do qui-quadrado e também é utilizado o FMEA. Exceto por este último, todos os outros são testes estatísticos que utilizam de uma amostra para realizar uma inferência sobre a população. Já o FMEA é uma tabela onde são expostos todos os modos de falha de uma operação, seus efeitos e medidas de controle e ação para cada um deles.

Já para a etapa de melhorar existem algumas ferramentas que auxiliam como o DOE (*Design of Experiments*), porém nela são realizadas ações baseadas no que foi medido e analisado anteriormente. Na última etapa, controlar, podem ser elaborados gráficos como cartas de controle, planos de controle, mas também são utilizados de artifícios como o *poka-yoke* e treinamento dos funcionários para que a melhoria implementada perdure. Como mencionado por Couto (2020, p. 56), as etapas de melhorar e controlar são baseadas nas etapas anteriores, então é mais comum “a recalibração das ferramentas ora já apresentadas acima e reinício das tomadas de dados, treinamentos, entre outros.”

Figura 7: Exemplo de Carta de Controle feita no software Minitab



Fonte: Figura do autor (2021)

Quadro 1: Método de Melhoria DMAIC

ETAPA	OBJETIVO	PRINCIPAIS ATIVIDADES	FERRAMENTAS
DEFINE (DEFINIR)	Definir oportunidades	Definir requisitos do cliente; Identificar variáveis para medição do projeto; Criar infraestrutura; Avaliar impacto; Planejar projeto.	Indicadores de desempenho Custos da qualidade Pesquisa de mercado Quality Function Deployment Diagrama de causa-e-efeito Gráfico de Pareto Mapa de raciocínio Minuta do projeto
MEASURE (MEDIR)	Mapear e mensurar os processos	Mapear processo; Avaliar variáveis-chave de entrada; Avaliar capacidade do processo; Identificar variáveis dominantes; e Refinar problemas e objetivos.	Fluxograma do processo; Diagrama de causa-e-efeito; Estatística descritiva; MSA (Measure System Analyse); FMEA (Failure Modes Effects and Analyse); Planos de Controle; Cartas de controle; Capabilidade de processo; Análise de Variância (ANOVA);
ANALYZE (ANALISAR)	Analisar os dados e identificar soluções	Avaliar a relação entre variáveis de entrada e de saída; Analisar a variação predominante; Verificar a relação entre variáveis; e Verificar e Implementar soluções.	Matriz de causa-e efeito; Estatística descritiva; Boxplot; Análise de regressão e correlação; Intervalo de confiança; Teste de hipóteses; Análise de Variância (ANOVA); Cartas multivariadas; DOE (<i>Design Of Experiments</i>); Data Mining.
IMPROVE (MELHORAR)	Aperfeiçoar processos Obter resultados	Selecionar fatores e níveis; Executar experimentos e analisar resultados; Determinar tolerâncias; e Desenhar e implementar modificações no processo.	DOE (<i>Design Of Experiments</i>); Superfície de resposta; OE (Operação evolutiva); e Dimensionamento de tolerâncias
CONTROL (CONTROLAR)	Padronizar Manter ganhos obtidos	Estabelecer padrões de medição Treinar os envolvidos.	Plano de Controle; Cartas de Controle; Poka yoke; Pré-controle; Instruções de trabalho.

Fonte: Corrêa et al (2014) de Pande et al (2000)

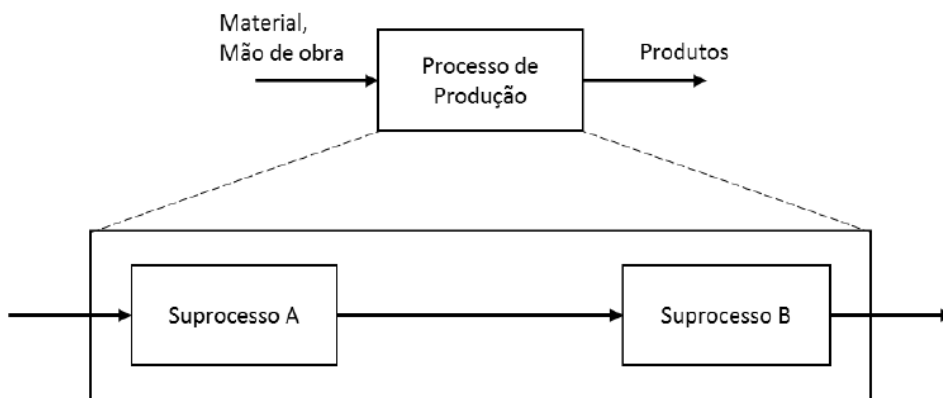
2.3 Lean Construction

A construção é uma indústria que já existe há bastante tempo, mas que é resistente a mudanças. Isso foi percebido por que com o surgimento do STP, que tornou a produção mais competitiva, o setor da construção se viu confrontado visto que é um setor atrasado tecnologicamente, emprega mão de obra desqualificada e apresenta elevado desperdício de material (ARANTES, 2008, p. 34). Além disso é um setor que produz produtos únicos, sem repetições, não tem um fluxo de processo claro pois é o operador que se move até o material e não o inverso como ocorre em outras indústrias.

Esses são alguns fatores que dificultam a aplicação de mudanças para melhoria de processos dentro do setor. Então, surgiu a ideia de aplicar o *Lean Thinking* na construção, no entanto não era uma tarefa fácil visto que este é um setor muito diferente da manufatura. “Mas foi através de um pesquisador finlandês Lauri Koskela que esses conceitos foram transmitidos e adaptados para a construção civil” (LIMA, 2016, p. 72).

O modelo de produção da construção é um modelo de conversão onde é definido pelo fluxo de materiais que são insumos e são transformados em produtos intermediários ou finais. Esse modelo consiste na ideia de que esse processo é subdividido em sub-processos, que também são processos de conversão, que para reduzir o custo da produção inteira deve-se minimizar os custos de cada sub-processo e que o custo total do produto é o custo dos seus insumos. Este modelo apresenta algumas deficiências como, por exemplo, atividades que não agregam valor, mas que a maior parte do custo e tempo são gastos nelas (espera, transporte de materiais e retrabalhos).

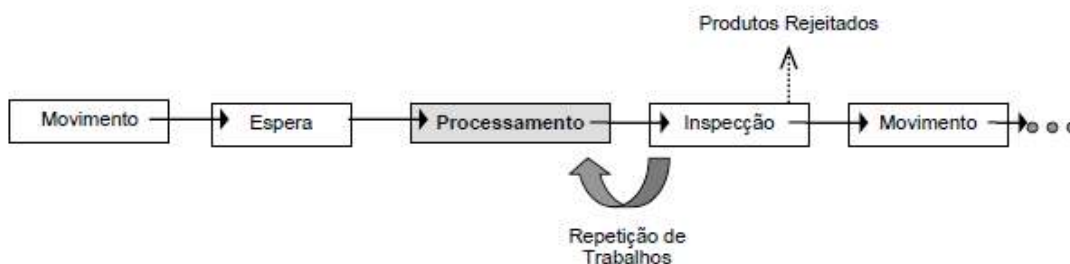
Figura 8: Modelo de conversão



Fonte: Koskela (1992, adaptado)

Então, Lauri Koskela propôs o modelo de *Lean Construction* que consiste “num fluxo de materiais, desde a matéria-prima até ao produto final, que é constituído por actividades de **transporte, espera, processamento** (ou conversão) e **inspeção**” (ARANTES, 2008, p. 37, grifo do autor). As atividades de transporte, espera e inspeção, por não agregarem valor, são chamadas de atividades de fluxo.

Figura 9: Modelo de fluxo do Lean Construction



Fonte: Koskela (1992)

Como visto no subcapítulo 2.2, existem 8 tipos de desperdícios que podem ser causados durante a produção. Segundo Zanotti (2018) que cita Koskela (1992), deve-se adotar 11 princípios para melhoria de fluxo na construção, sendo eles: (ARANTES, 2008)

- a) Reduzir a parcela das atividades que não agregam valor: atividades que não agregam valor são aquelas que não contribuem para a especificação do cliente, então é melhor que sejam reduzidas ao máximo, levando em consideração que existem atividades deste tipo que não podem ser eliminadas pois são indispensáveis ao processo;
- b) Aumentar valor do produto por meio das especificações do cliente: isto é, levar em consideração o que o cliente, interno e externo, quer;
- c) Reduzir a variabilidade: a variabilidade depende muito da padronização do processo, quanto mais padronizado, mais produtos ficam dentro das especificações do cliente, reduzindo a variabilidade do processo;
- d) Reduzir o tempo de ciclo do processo (*lead time*): existem algumas vantagens relacionadas a esse princípio, que é relacionado com o JIT, como a redução no tempo de entrega ao cliente, diminuição das frentes de trabalho, estimativas de custo de obras futuras ficam mais precisas...;
- e) Simplificar produção pela redução do número de passos/partes: este princípio está diretamente relacionado com o de reduzir parcela de atividades que não agregam valor e da redução do tempo de ciclo. Reduzindo as etapas é possível reduzir o tempo total do processo e juntamente eliminar atividades que não agregam para o cliente;
- f) Aumentar a flexibilidade de saída: está relacionado com a possibilidade de alterar o produto final sem que haja um aumento grande no custo, possibilita o aumento da satisfação do cliente;
- g) Aumentar a transparência do processo: deixar informações sobre o processo a vista e local de trabalho aberto, sem divisórias, são exemplos de transparência no ambiente, que tornam erros mais fáceis de serem identificáveis e facilitam o aprendizado no ambiente de trabalho;

- h) Focar o controle no processo global: olhar para apenas partes do processo pode restringir o nível do ganho da melhoria sendo aplicada, por isso é importante ter o controle do processo como um todo;
- i) Introduzir melhoria contínua no processo: o esforço na melhoria de processos, redução de desperdícios precisa ser realizado de maneira contínua, criando uma cultura dentro da empresa em relação a performance;
- j) Manter o equilíbrio entre melhorias de fluxos e conversões: melhorias de fluxo e conversão estão diretamente relacionadas, em que um ajuda o outro, então é necessário um equilíbrio entre elas;
- k) Fazer *benchmarking*: *benchmarking* nada mais é que realizar uma comparação com outras empresas do mesmo setor, entendendo suas boas práticas e aplicando-as na própria empresa.

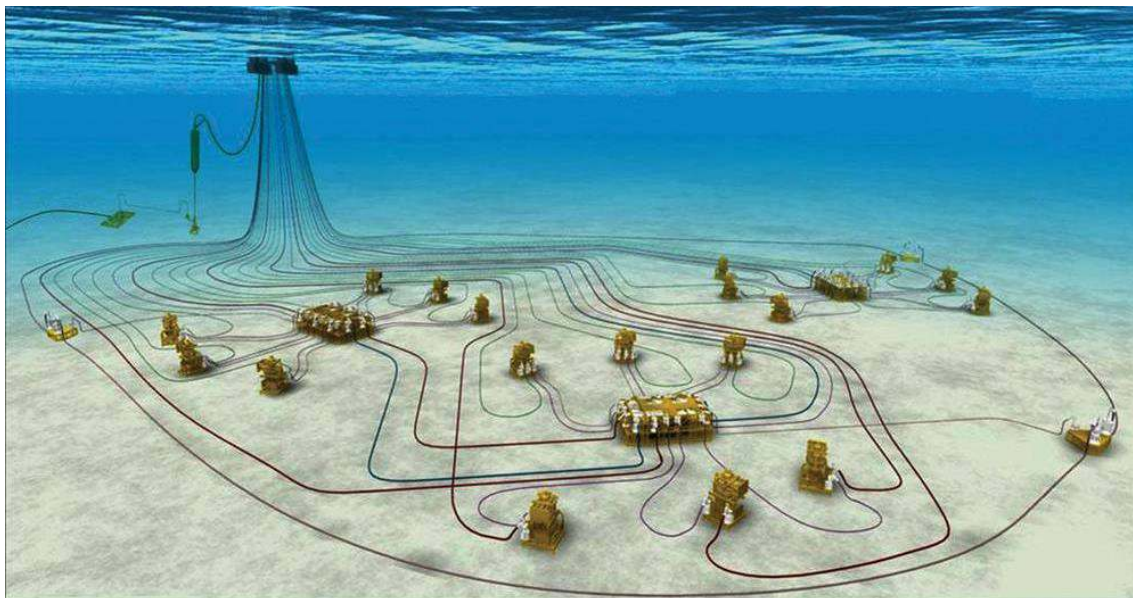
Em resumo, os princípios dizem que para obter uma grande melhoria nos processos da empresa, necessita-se criar uma cultura onde todos estão bem familiarizados com os processos e trabalham juntos para atingir o resultado, aumentando o seu valor agregado.

2.4 Instalação de dutos flexíveis *offshore*

2.4.1 Sistemas Submarinos de Produção

Como define Silva (2015), um sistema submarino de produção é um conjunto de dutos e equipamentos interligados no leito marinho que servem para escoar fluidos produzidos nos poços até as plataformas na superfície. Além disso, alguns dos equipamentos desse sistema também auxiliam no controle da vazão, ajudam no controle e monitoramento de dados como os de pressão e temperatura e fornecem energia elétrica e hidráulica, por meio de umbilicais, por exemplo, para atuar nas válvulas e sensores. Alguns equipamentos submarinos serão descritos a seguir.

Figura 10: Sistema de produção submarino



Fonte: www.marinelink.com, acessado em 14/04/2022 às 18h30

2.4.1.1 Base Adaptadora de Produção e Árvore de Natal Molhada

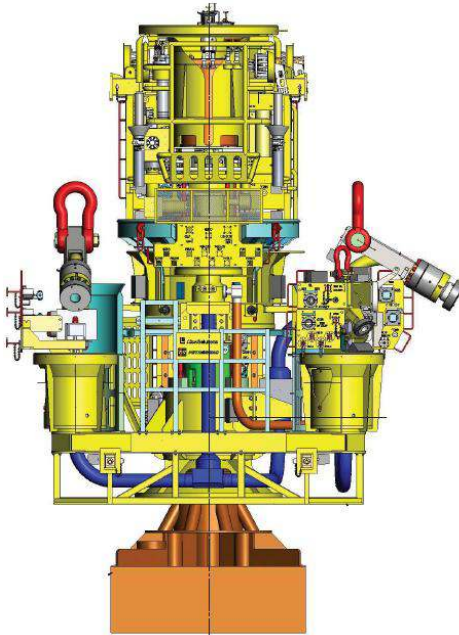
“A BAP e a ANM são equipamentos submarinos que garantem a extração do óleo e gás de um poço” (Costa, 2015). A ANM nada mais é do que um conjunto de válvulas de bloqueio, controladas hidráulicamente ou mecanicamente, que permitem o fluxo seguro desde o poço até a plataforma. Ela é capaz de suportar elevadas pressões e temperaturas e sua principal função é abrir e fechar válvulas. A ANM se encaixa na cabeça de poço e na BAP, que é um conjunto que suporta linhas de controle e de fluxo (CBIE, 2019).

Figura 11: Árvore de Natal Molhada



Fonte: <https://petrobras.com.br/>, acessado em 15/04/2022 às 18h00

Figura 12: BAP e ANM



Fonte: Costa (2015)

2.4.1.2 *Manifold*

“*Manifolds* submarinos (Figura 2.5) são estruturas utilizadas em campos de petróleo para simplificar o sistema submarino, minimizar a quantidade de *flowlines* e *risers* e otimizar o controle de fluxos de produção” (RODRIGUES, João Vitor, 2016). Os *manifolds* são capazes de reunir em uma só linha a produção que vem de vários poços diferentes, e, por isso, permite a simplificação do sistema, além de reduzir o custo porque reduz a quantidade de *risers* que chegam até a plataforma.

Além disso, o *manifold* também garante uma celeridade no desenvolvimento de um campo, visto que sua fabricação é mais rápida que a de uma plataforma. Logo, vários poços já podem ser interligados a ele até a plataforma chegar e ser interligada ao *manifold*, ao invés da interligação ocorrer poço a poço.

Esse equipamento é composto de válvulas de bloqueio, de controle de fluxo e de ligações internas que combinam a distribuição, o controle e monitoramento dos poços. Além de exportar o óleo do poço para a plataforma, o *manifold* também consegue realizar a injeção de gás e água, sendo que um mesmo *manifold* pode agrupar as duas funções: a de exportação e a de injeção.

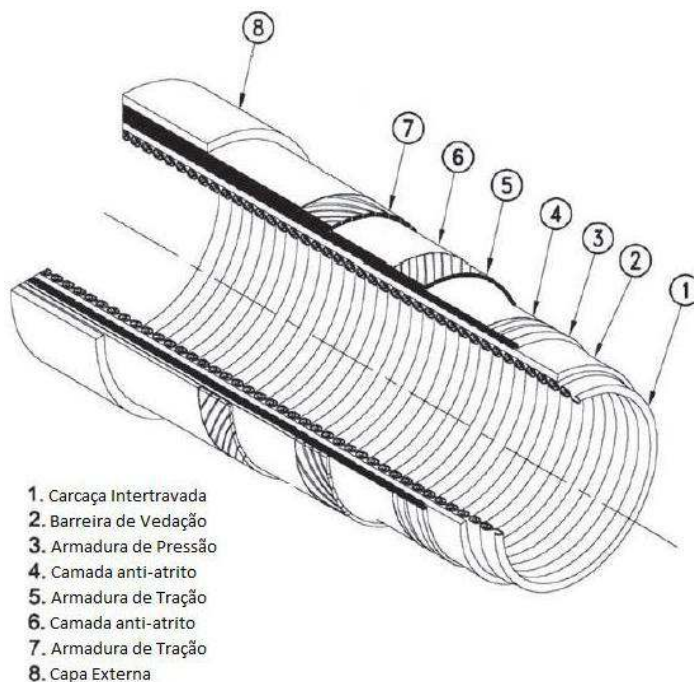
2.4.1.3 Dutos Flexíveis e Rígidos

Dutos flexíveis são constituídos por várias camadas metálicas e poliméricas. As suas principais aplicações, segundo Bendia (2019) são:

- Produção e exportação de óleo: transporta o óleo do poço a plataforma;
- Injeção de água: tem como objetivo controlar a pressão no poço, mantendo fluxo de saída de óleo da forma desejada;
- *Gas-lift*: gás tratado injetado que melhora as características do fluido, o que facilita o seu transporte até a plataforma;
- Injeção de gás: também utilizado para controle de pressão do poço.

A figura 13 mostra as camadas de um duto flexível.

Figura 13: Camadas típicas de um duto flexível



Fonte: Costa (2015)

- a) Carcaça intertravada: essa camada é o componente mais interno da linha e atua na resistência à pressão hidrostática. Por ser composta de fita de aço intertravada, evita o colapso da camada de plástico interna;

- b) Barreira de vedação ou capa plástica interna: é uma camada polimérica que tem como função a vedação interna, ou seja, não permite que os fluidos passem para as camadas superiores;
- c) Armadura de pressão: essa camada é composta por vários arames armados em direções opostas o que proporciona uma rigidez radial e resistência a pressão interna causada pelos fluidos;
- d) Camada anti-atrito: é uma camada intermediária de plástico que visa diminuir o atrito entre as camadas metálicas, reduzindo a abrasão entre elas;
- e) Armadura de tração: tem como função suportar as altas cargas axiais de tração, como o nome já diz, que são provocadas pelas cargas dinâmicas dos risers. São duas camadas de aço enroladas em sentidos opostos, evitando que o duto sofra torção;
- f) Capa externa: protege o flexível contra a abrasão e corrosão além de ajudar no isolamento térmico da linha.

Existem dois tipos de linhas flexíveis, as que tem camadas aderentes (ou *bonded*), ou seja, as camadas não deslizam uma sobre as outras, e as que tem camadas não aderentes (ou *unbonded*), ou seja, as camadas deslizam sobre as outras. Esta última é mais utilizada no setor *offshore* brasileiro. Além disso, essas linhas são projetadas de acordo com sua aplicação (CIPRIANO, Raiza, 2020):

- *Risers*: essas linhas ficam suspensas, por isso estão sujeitas a carga dinâmica da catenária proveniente de correntes, ondas e movimentação da plataforma. Elas interligam as *flowlines* à plataforma;
- *Flowlines*: são linhas que ficam apoiadas no leito marinho e por isso apenas sofrem de cargas estáticas (como a pressão hidrostática). Essas apenas ficam sujeitas a cargas dinâmicas durante sua instalação. Elas conectam os *risers* ao *manifold* ou a ANM.

Já o duto rígido é um tema que, apesar de não entrar tanto no escopo deste trabalho, vale a pena ser mencionado. É um duto composto de um tubo de aço que pode ser revestido com uma camada de concreto ou com isolante térmico.

Em comparação com os dutos flexíveis, Melo e Corbacho (2021) mencionam que os dutos rígidos são mais baratos e simples para fabricar, porém a conexão entre um tramo e

outro é mais complicado pois ela é realizada por solda, enquanto para os dutos flexíveis a conexão é realizada com estojos. Também são mais difíceis de manejar porque são estocados em bobinas, onde acabam batendo o nível de fadiga. Por isso, após o seu uso e recolhimento, já podem ser descartadas, enquanto os dutos flexíveis podem ser remanejados de um poço para outro e serem reutilizados. Além disso, os rígidos podem ter diâmetros maiores e são mais resistentes a danos e corrosão.

Melo e Corbacho (2021) também abordam que em termos de logística, quando ocorre o carregamento dela no PLSV, o duto flexível já vem pronto para ser lançado. Por outro lado, o carregamento de duto rígido é bem demorado pois enquanto ele é carregado no PLSV, os tramos precisam ser soldados uns aos outros. Vale ressaltar que existe a possibilidade dessa solda ser realizada dentro da embarcação, desde que ela tenha layout para isso, além de ter um grande pessoal com conhecimento técnico mobilizado e vários equipamentos. Dessa maneira, os tramos poderiam ser carregados de forma singela.

2.4.1.4 Umbilicais

Umbilicais, também conhecidos como UEH (umbilical eletro-hidráulico), são dutos constituídos de cabos elétricos, fibras óticas e mangueiras hidráulicas. Eles servem para conduzir fluidos, injetarem químicos e transmitir sinais de potência para acionarem válvulas e atuadores, por exemplo. São essenciais para o monitoramento e maior controle do projeto.

Costa (2015) cita as principais aplicações que são: comando hidráulico das árvores de Natal e de válvulas submarinas de oleodutos e gasodutos, coleta de sinais de sensores da árvore de Natal, transmissão de energia elétrica entre plataformas e energia hidráulica para acionamento de válvulas.

Sua estrutura também é formada por camadas metálicas e poliméricas, porém o seu núcleo é diferente dos dutos flexíveis, como pode ser visto na figura 14. Como mencionado por Rodrigues (2016), as estruturas metálicas garantem uma resistência mecânica a esforços radiais e axiais e a polimérica externa confere acabamento que protege contra agentes danosos do ambiente.

Figura 14: Cabo de um umbilical seccionado



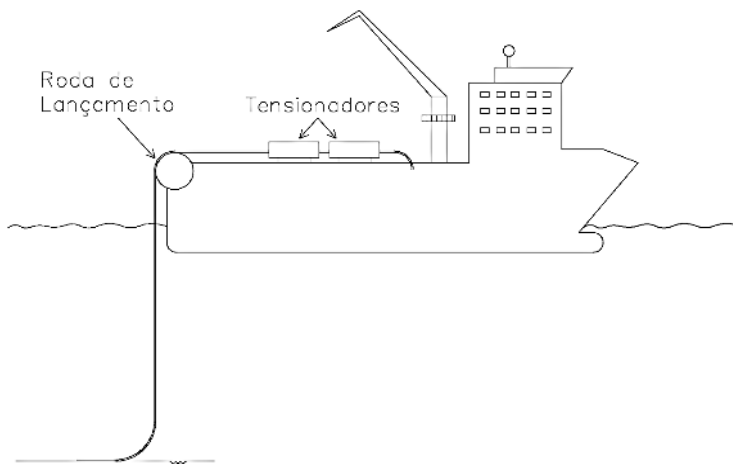
Fonte: <https://petrobras.com.br/>, acessado em 15/04/2022 às 18h50

2.4.2 Embarcações PLSV

Embarcações do tipo PLSV (*Pipe Laying Support Vessel*) prestam o serviço de instalações submarinas, podendo ser com dutos flexíveis ou rígidos, além de suas conexões e outros equipamentos que trabalham na exportação do petróleo do poço a plataforma. Existem diversos modelos de layout de PLSV que variam de acordo com os serviços prestados pela embarcação. Uma das diferenças principais são os sistemas de lançamento, que podem ser de dois tipos:

- HLS (*Horizontal Lay System*): se caracteriza pelo lançamento de dutos flexíveis de forma horizontal, em que os tensionadores são instalados horizontalmente e uma rampa ou roda na popa da embarcação. Como mencionado por Costa (2015), a roda, por ser o último ponto de contato da linha com o PLSV, é ela que será o limitante de carga.

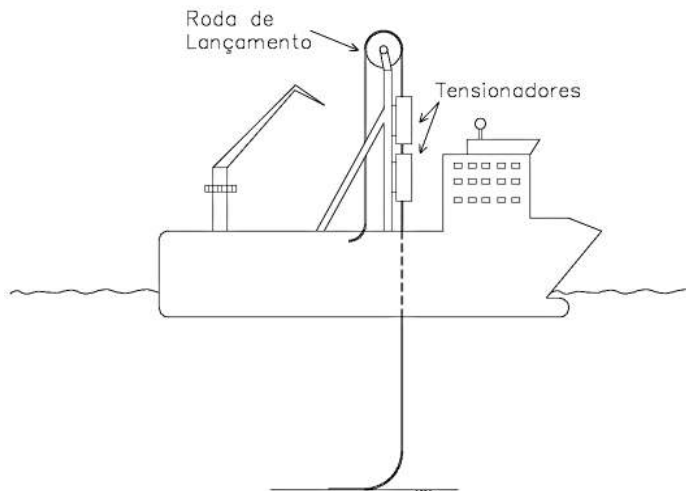
Figura 15: Sistema de lançamento horizontal



Fonte: Rodrigues (2016)

- VLS (*Vertical Lay System*): esse é o sistema de lançamento vertical, que é caracterizado pela presença de uma torre de lançamento e tensionadores verticais. Com o aumento progressivo da profundidade de trabalho, os acessórios e linhas aumentaram seu peso, então o sistema horizontal se tornou limitado devido a carga de trabalho. O sistema vertical trabalha melhor nisso porque a carga pode ser suportada pelos tensionadores. Além disso, esse sistema pode lançar linhas por um dos bordos da embarcação (menos utilizado por causa da instabilidade e arranjo dos equipamentos a bordo) e pelo *moonpool* (mais utilizado porque é uma abertura que se encontra no centro do PLSV).

Figura 16: Sistema de lançamento vertical



Fonte: Rodrigues (2016)

Figura 17: Seven Waves, embarcação de lançamento vertical pelo *moonpool*



Fonte: <http://www.energyglobalnews.com/>, acessado em 18/03/2022 às 19h45

2.4.3 Sistemas de Armazenamento

Existem 3 tipos de armazenamentos possíveis para linhas:

2.4.3.1 Bobinas

As bobinas costumam ficar dispostas no convés principal do PLSV e possuem menor capacidade de armazenamento. Segundo Ferreira (2021), uma das vantagens desse tipo de armazenamento, é sua capacidade de flexibilização. Isso se dá porque o flexível já é carregado bobinado, então a ordem de instalação dos dutos pode ser alterada sem que atrapalhe o planejamento das operações.

Figura 18: Bobina de armazenamento



Fonte: Costa (2015)

2.4.3.2 Cestas

Cestas costumam ficar nos porões das embarcações, mas elas também podem ser alugadas para um projeto específico, então nesses casos elas ficam externas. Uma das vantagens desse tipo de armazenamento, é sua grande capacidade de carga que segundo Bicudo (2009), as cestas conseguem armazenar até 3000 toneladas de produto (linhas flexíveis e acessórios).

Figura 19: Cesta de armazenamento de linhas flexíveis



Fonte: Costa (2015)

2.4.3.3 Carretéis

Estes são semelhantes as bobinas, ficam no convés da embarcação, porém tem maior capacidade de armazenamento. Também possui raio interno maior para o armazenamento de linhas rígidas que tem uma maior limitação do raio mínimo de curvatura.

Figura 20: Carretéis de armazenamento



Fonte: <https://caley.co.uk/>, acessado em 21/03/2022 às 17h45

2.4.4 Sistemas de Lançamento

Neste subcapítulo, serão apresentados os principais equipamentos utilizados nas embarcações PLSV para realizar suas manobras/operações, tomando como base principalmente os do tipo VLS.

2.4.4.1 Tensionadores

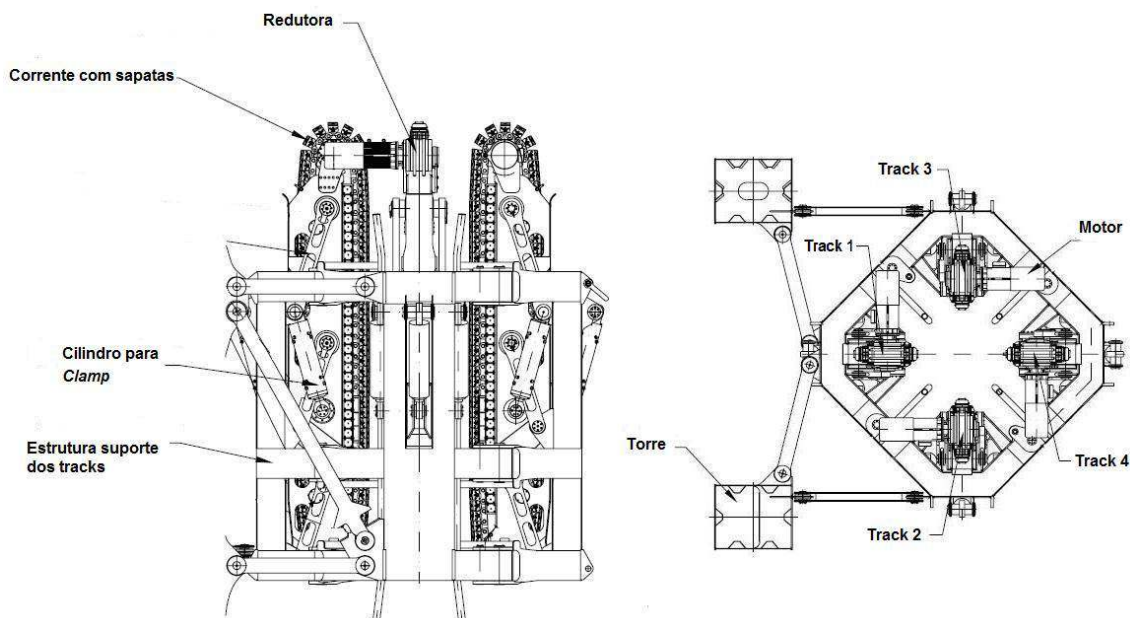
Os tensionadores são os principais equipamentos de lançamento/recolhimento de dutos flexíveis a bordo do navio PLSV pois são eles que suportam o peso do duto, sem que cause danos, e permitem o controle da velocidade das atividades, podendo até servir como freio quando necessário paralisar a operação. Em um sistema VLS, pode ter um ou dois tensionadores, oferecendo mais capacidade nominal.

Este equipamento é composto por esteiras (*tracks*), que podem vir em conjuntos de dois, três ou quatro. O aperto dado por esses *tracks* se dá por meio de cilindros hidráulicos atrás das esteiras, são eles que promovem a força motora (RODRIGUES, João Vitor, 2016). Este aperto (*clamp*) precisa ter um valor mínimo para que o duto não corra, ou seja, suas camadas internas se deslocam em relação a camada externa, causando danos a linha flexível. Além disso, existe um valor de *clamp* máximo, para que o duto não seja esmagado. Orlando (2019) ressalta que o comprimento da esteira também é importante visto que, quanto maior

seu comprimento, maior será a área de contato com a linha, logo o *clamp* necessário será menor.

No entanto, o que entra em contato com a linha flexível não são as esteiras, mas as sapatas que ficam fixadas nas correntes, que podem ser constituídas de polímeros ou metálicas. Essas sapatas precisam ter um ângulo especificado para o diâmetro de duto que será lançado/recolhido, porque isso também pode causar dano a linha.

Figura 21: Tensionador de 4 tracks



Fonte: Bicudo (2009)

2.4.4.2 Guindastes

Os guindastes são utilizados para manusear, elevar e movimentar cargas, acessórios e equipamentos pelo convés do PLSV. Usualmente, existe mais de um guindaste por navio, sendo um deles o principal e os outros são auxiliares, com menor capacidade. Os guindastes também podem ser utilizados em águas ultraprofundas para realizar as operações submersas. Bicudo (2009) cita algumas de suas principais operações, como:

- Lançamento de linhas flexíveis;
- Manobras de CVD (Conexão Vertical Direta);
- *Inboarding* – levar algo para o PLSV;
- *Overboarding* – levar algo para fora do PLSV;

- Posicionamento e remanejamento de extremidades no leito marinho.

Quando o guindaste atua com grandes cargas submersas, é costume ele contar com um *heave compensator*, que é um dispositivo que compensa o elevado balanço do navio, evitando que a carga manuseada não seja danificada, caso, por exemplo, ela esteja próxima do leito marinho com risco de colisão.

Figura 22: Guindaste



Fonte: <https://www.onesubsea.slb.com/>, acessado em 21/03/2022 às 21h00

2.4.4.3 Guinchos

O guincho principal de um PLSV é o guincho A&R (abandono e recolhimento), que é utilizado para lançar e recolher dutos do leito marinho, guiam e mantém a linha flexível tensionada durante sua movimentação. Trabalha em conjunto com os tensionadores e segundo Bicudo (2009) precisa possuir uma carga igual ou maior do que a carga máxima de projeto dos tensionadores, garantindo a transferência de carga.

Além do A&R, existem outros guinchos de menor capacidade no navio, que são os guinchos auxiliares, utilizados para “manuseio de extremidades que estão saindo do local de

armazenamento e, também, como forma de estabilizar os equipamentos, evitando o balanço decorrente das movimentações da embarcação” (RODRIGUES, João Vitor, 2016).

Figura 23: Guincho auxiliar



Fonte: Rodrigues (2016)

2.4.4.4 Roda de Topo e Calhas

As calhas instaladas no navio auxiliam tanto para a atividade de carregamento dos dutos quanto para realizar a instalação deles, quando o sistema é HLS. No caso do sistema VLS a roda de topo substitui a calha na parte de instalação. A roda de topo ajuda a guiar o duto flexível, respeitando o seu raio mínimo de curvatura (MBR – *minimum bending radius*) (FERREIRA, Ana Carolina, 2021). Além disso, Bicudo (2009) ressalta que tanto as calhas quanto a roda de topo precisam ter superfícies livres de cantos vivos, de material não abrasivo e livre de corrosão. Então, uma manutenção periódica desses equipamentos é recomendada.

Figura 24: Embarcação Seven Rio, VLS, com roda de topo destacada

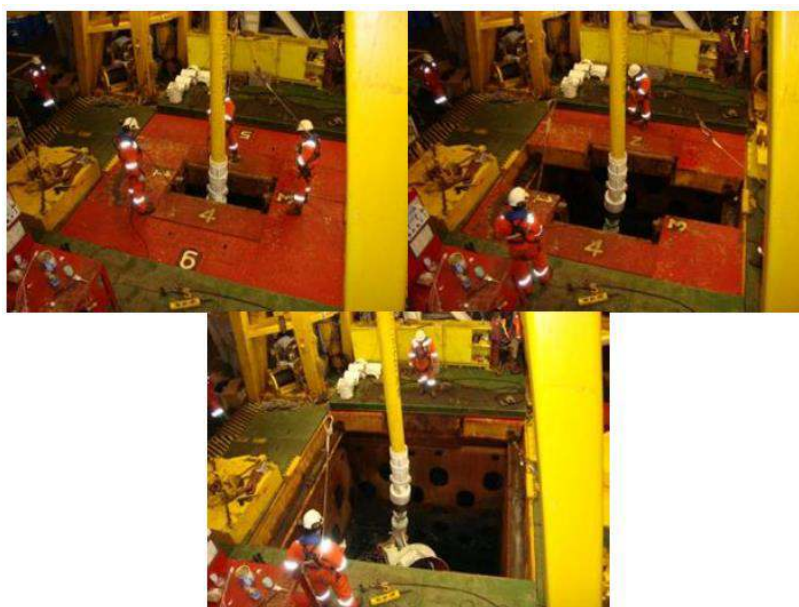


Fonte: <https://clickpetroleogas.com.br/>, acessado 22/03/2022 às 16h30 (adaptado)

2.4.4.5 Mesa de Trabalho

A mesa de trabalho se situa abaixo da torre de lançamento, sendo ela retrátil para que enquanto fechada os colaboradores possam trabalhar em conexões intermediárias, instalação de MCV (módulo de conexão vertical) e de acessórios como colar ancoragem, colar batente, entre outros, e enquanto ela está aberta, a linha junta aos acessórios pode ser lançada à água.

Figura 25: Mesa de trabalho de um PLSV



Fonte: Haine (2014)

2.4.5 Acessórios

Como visto anteriormente, as unidades de produção submarinas são compostas por várias linhas, *flowlines* e *risers*, conectadas entre si. A conexão é realizada por um acessório, assim como existem outros acessórios que auxiliam a respeitar o MBR da linha flexível ou não a deixam sofrer oxidação no meio marítimo (Bendia, 2019). Por isso, os acessórios também são de grande importância e serão abordados resumidamente neste capítulo.

2.4.5.1 Conector/ *Armor Pot*

Para conectar os dutos flexíveis uns aos outros, é necessário o acessório chamado de conector que é caracterizado pelo modelo de flange. Cada extremidade da linha já é carregada com o conector instalado e é por ele que ocorre a interface entre a extremidade de uma linha com a extremidade da outra, onde são utilizados estojos e porcas para estabelecer a conexão. Os conectores costumam vir com válvulas de alívio que operam de modo a aliviar a pressão interna do duto quando ela é maior do que a pressão externa.

Figura 26: Conector seccionado.



Fonte: Simeros (2017)

Já o *armor pot* é a terminação dos umbilicais, tendo a mesma função dos conectores. As conexões são realizadas por uma caixa de emenda, que mantém as mangueiras hidráulicas alojadas e protegidas (Rodrigues, 2016).

2.4.5.2 Cabeça de tração

Este componente é utilizado para fechar o duto flexível, existindo dois tipos: o flange cego e o perfilado (Rodrigues, 2016).

- Flange cego: auxilia no manuseio e movimentação do duto flexível pelo convés e permite a realização de testes.

- Flange perfilado: utilizado para sustentar e guiar o duto por dentro do *I-tube* em operações de *pull-in*, como exemplo.

Figura 27: Cabeça de tração perfilada.

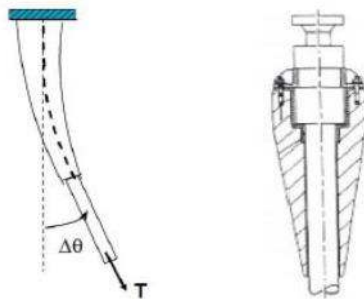


Fonte: Rodrigues (2016)

2.4.5.3 Enrijecedor

A região entre duto flexível e conector é uma região sensível por causa da curvatura que pode ocorrer danificando o tramo. Nos *risers* isso fica um pouco mais evidente por causa das forças dinâmicas presentes. Então, para auxiliar na transição entre o corpo rígido (conector) e o flexível (duto), é utilizado o enrijecedor, que tem forma cônica exatamente para que essa transição seja realizada de uma forma mais suave.

Figura 28: Desenho de um enrijecedor.



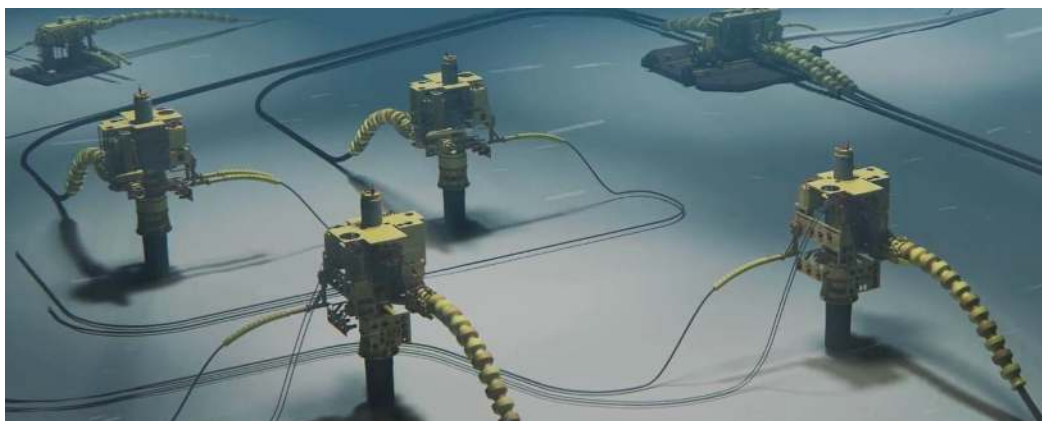
Fonte: Aguiar (2016)

2.4.5.4 Restritor de Curvatura/ Vértebra

Como cita Bendia (2019), a extremidade final do *flowline* é conectado ao MCV, porém essa conexão acontece quase que verticalmente. No entanto, como esse *flowline* por

toda sua extensão encontra-se estático, ocorre uma alta curvatura para essa conexão ser realizada. Para que essa curvatura não danifique a integridade da linha flexível, é utilizado o acessório chamado de vértebra, que como o próprio nome já diz, é composto por várias vértebras montadas até um copo que é instalado no conector.

Figura 29: Vértebras instaladas na extremidade do duto flexível



Fonte: Bendia (2019)

2.4.5.5 Colar de anodo

O conector, por ser feito de materiais metálicos, fica exposto aos efeitos da oxidação quando em ambiente marítimo. Para evitar isso, são utilizados os colares de anodo, que são objetos bipartidos presos a linha flexível e conectado ao conector através de um cabo ou presos ao próprio conector, como menciona Rodrigues (2016).

Figura 30: Colar de anodo instalado no conector



Fonte: Rodrigues (2016)

2.4.6 Principais Operações

Existem inúmeras atividades que podem ser citadas que estão diretamente conectadas com a finalidade da instalação de dutos flexíveis como, por exemplo: carregamento, navegação, ancoragem de dutos, CVD, DCVD, *pull-in*, *pull-out*, movimentação de extremidades (lançamento e recolhimento), instalação de flutuadores, conexão intermediária, desconexão intermediária, entre outros. Essas atividades podem ser classificadas como tempo produtivo (TP) ou tempo complementar produtivo (TCP).

- Tempo Produtivo: são as atividades que estão diretamente conectadas com a atividade fim que é a interligação submarina, ou seja, além de serem atividades necessárias, são atividades que agregam valor (relacionado aos princípios do *Lean*);
- Tempo Complementar Produtivo: são as atividades que são necessárias as operações, porém não agregam valor, por não estarem diretamente conectadas com a atividade fim.

Como são muitas atividades, apenas serão citadas as principais operações que ocorrem nas embarcações.

2.4.6.1 Carregamento/Descarregamento

“As linhas que são instaladas e utilizadas para as interligações submarinas são provenientes de bases *onshore* que armazenam e fazem manutenção dos dutos flexíveis e umbilicais de controle caso seja necessário” (Rodrigues, 2016). A operação de carregamento é quando as linhas saem da base e vão para o PLSV, o inverso é chamado de descarregamento. As bases funcionam como um porto para que o navio possa atracar, existem calhas e guindastes disponíveis para auxiliar nessas duas operações. Na base, os dutos costumam ser armazenados em bobinas.

Para que o carregamento inicie, normalmente um guincho é enviado do PLSV a base para que esse guincho seja conectado a uma extremidade da linha e ele possa ser recolhido, desenrolando a linha da bobina até que a extremidade chegue ao PLSV. A atividade é finalizada quando o duto se encontra completamente armazenado, seja em uma cesta, bobina ou carretel.

Figura 31: Carregamento em andamento.



Fonte: Rodrigues (2016)

2.4.6.2 Movimentação de extremidades/ Lançamento/ Recolhimento

A movimentação de extremidades ocorre dentro do navio, que é quando uma extremidade sai do seu local de armazenamento e é movimentada até a mesa de trabalho ou quando ocorre o movimento inverso. Sendo um PLSV com sistema de lançamento vertical e *moonpool*, a extremidade sai da cesta/bobina, sobe a torre de lançamento passando pela roda de topo e depois desce, passando pelos tensionadores, até chegar à mesa de trabalho. Se for a primeira extremidade do duto, então ela fica pendurada pelos tensionadores para que os operadores possam realizar sua conexão intermediária com uma outra extremidade ou conectá-la com algum outro equipamento como o MCV, por exemplo.

Caso seja a segunda extremidade a ser movimentada, ela fica apoiada na mesa de trabalho por meio de um inserto. As movimentações descritas são para o caso de lançamento. Após o término das conexões e trabalhos necessários, a linha é lançada ao mar.

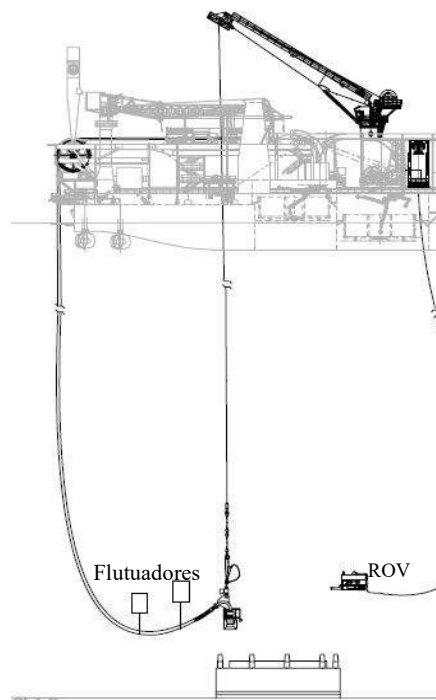
Em caso de recolhimento, a operação é inversa, ou seja, a extremidade é recuperada do leito marinho e recolhida até chegar à mesa de trabalho. A partir disso, são realizados os trabalhos e desconexões necessários e a linha começa a ser movimentada pela torre e roda de topo até chegar ao local de armazenamento. Rodrigues (2016) ainda ressalta que para uma extremidade ser recuperada, é necessária uma lingada (conjunto de acessórios) de pescaria que desce junto com guincho A&R para ser conectada a extremidade no leito com auxílio do ROV para então ela conseguir ser recolhida.

2.4.6.3 CVD de 1ª/CVD de 2ª

A CVD de 1ª é quando o sentido de lançamento da linha ocorre no sentido do poço até a plataforma. O MCV é conectado a primeira extremidade do duto flexível no convés do navio e então, é realizado o *overboarding* do MCV e a linha é lançada com o peso todo suportado pelos tensionadores. A(s) linha(s) vai(vão) sendo lançada(s) até que o MCV chegue próximo ao poço e o ROV consiga conectar o cabo do guindaste a lingada do MCV.

Durante essa operação, podem ser utilizados flutuadores que auxiliarão na verticalização do MCV e impedirão que o raio mínimo de curvatura da estrutura seja atingido. Após a conexão do guindaste, a linha continua sendo lançada até que o MCV consiga ser assentado ao equipamento submarino. A CVD de 1ª, por ter a maior parte da sua carga suportada pelos tensionadores, é uma operação indicada quando há limitações de carga relacionadas ao MCV e quando o MBR não é muito limitado (Costa, 2015).

Figura 32: Desenho esquemático de uma CVD de 1ª com o cabo do guindaste já conectado a lingada



Fonte: Costa (2015, adaptado)

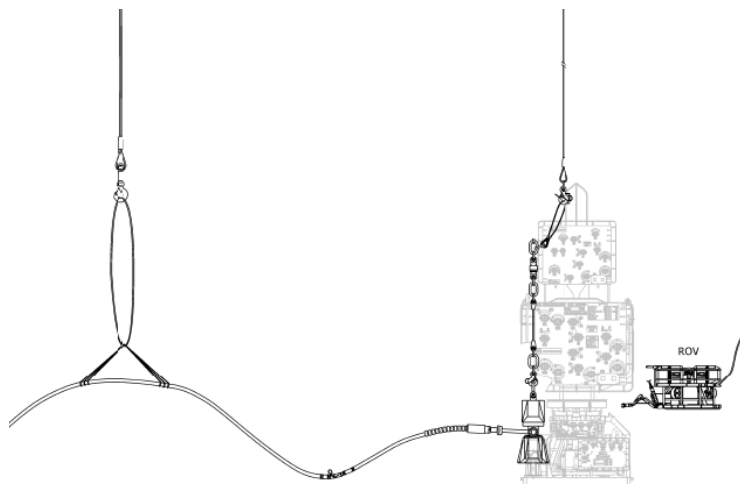
Já a CVD de 2ª ocorre no sentido da plataforma ao poço. Ou seja, a primeira extremidade a ser lançada será conectada a plataforma (*pull-in* de 1ª) e a última extremidade (que é a segunda extremidade do último tramo) será conectada ao MCV na mesa de trabalho e depois será realizado o seu *overboarding*. O que ocorre nessa manobra é que toda linha já foi

lançada, então o peso não será suportado pelos tensionadores, logo, o *overboarding* é realizado com o auxílio de um guincho.

Quando o MCV se aproxima do poço, o ROV conecta o cabo do guindaste a sua lingada até transferir todo o peso para o guindaste. Com isso, o ROV desconecta o cabo do guincho para conectá-lo a alças que estão montadas na linha que vão auxiliar na formação de uma corcova. Essa corcova tem a mesma função dos flutuadores na CVD de 1ª.

Na operação de CVD de 2ª, por causa da ausência da atuação dos tensionadores, o MCV deve suportar cargas maiores visto que no momento do seu *overboarding*, ele terá ainda toda a catenária de linha para suportar. Além disso, é uma operação que não causa uma curvatura muito grande na linha. Por isso, essa manobra deve ser realizada quando o MCV suporta altas cargas e o MBR é mais restrito (Costa, 2015).

Figura 33: Operação de CVD de 2ª com a formação de corcova



Fonte: Costa (2015)

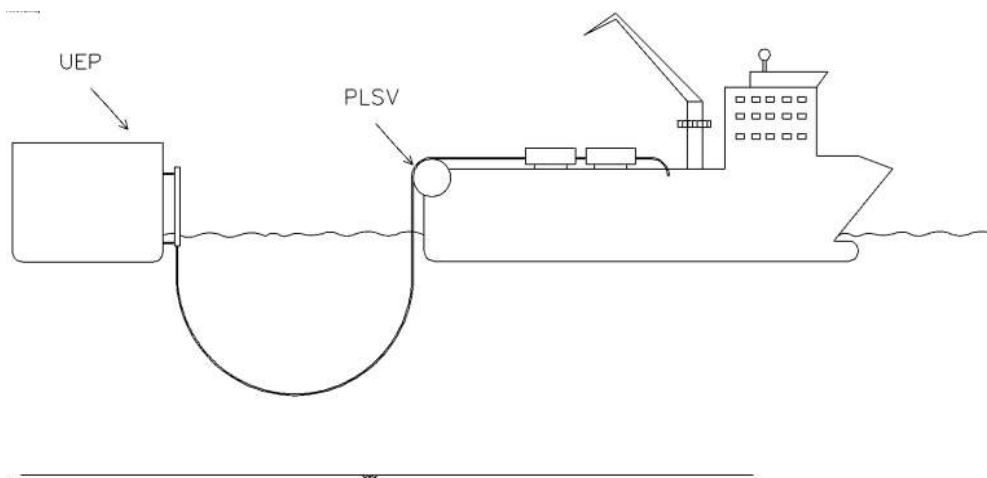
2.4.6.4 *Pull-in* de 1ª/*Pull-in* de 2ª

O *pull-in* de 1ª, como mencionado anteriormente, é quando a primeira extremidade é transferida para a plataforma. O início se dá quando o cabo do guincho de *pull-in* da plataforma é transferido até o PLSV por meio de cabo mensageiro. O cabo mensageiro é atirado até a plataforma, conectado ao guincho e recolhido até a mesa de trabalho do PLSV. A transferência ocorre por meio de uma catenária dupla, visto que a linha ainda está toda armazenada no PLSV.

Ferreira (2013) menciona as vantagens e desvantagens dessa operação:

- Vantagem: trabalho com maiores cargas já que a linha fica em catenária dupla, logo, o peso é dividido entre navio e plataforma e o comprimento da linha em catenária não é grande;
- Desvantagem: enquanto a linha é lançada, o ângulo de topo da linha na plataforma precisa ser mantido, gerando um esforço crescente na embarcação até que a linha chegue ao seu TDP (*touch down point* – momento que a linha toca o leito marinho).

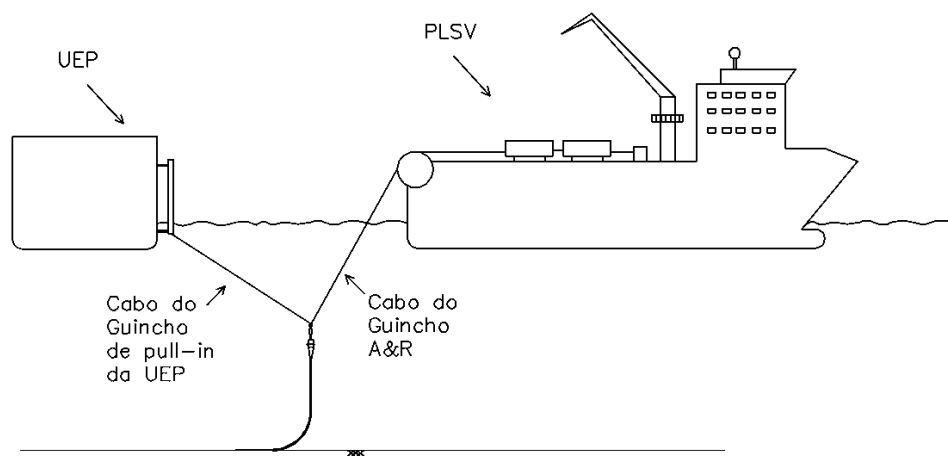
Figura 34: *Pull-in* de 1ª extremidade com formação da catenária dupla



Fonte: Rodrigues (2016)

Já o *pull-in* de 2ª extremidade ocorre usualmente depois de uma CVD de 1ª, logo, a linha já foi toda lançada e a última extremidade será transferida para a plataforma com auxílio do guincho A&R. Da mesma forma, a manobra inicia com a transferência do cabo do guincho de *pull-in* da plataforma ao PLSV para que haja conexão com a lingada de *pull-in* e a transferência possa ser iniciada.

O cabo do guincho de *pull-in* da plataforma começa a ser recolhido e o A&R vai pagando até que chegue o momento em que o peso suportado pelo PLSV seja nulo. A partir disso, ele é desconectado da lingada com o acionamento da manilha hidráulica ou do *reverse hook* e a plataforma segue com o recolhimento do seu guincho. Ferreira (2013) cita que neste tipo de operação, as cargas são maiores visto que deve ser considerada toda a carga da catenária.

Figura 35: *Pull-in* de 2ª extremidade

Fonte: Rodrigues (2016)

3. METODOLOGIA

3.1 Instrumento de Coleta de Dados

Para elaboração do segundo capítulo, de revisão bibliográfica, foram realizados estudos em artigos, livros, vídeos, apresentações, trabalhos de conclusão de graduação, mestrado e doutorado para obtenção de informações confiáveis e que pudessem agregar o trabalho, complementando o estudo de caso. Esses arquivos foram encontrados através do Google Acadêmico ou enviados por contatos conhecidos que trabalham na área.

Para encontrar os arquivos utilizados como base para construção do Capítulo 2, entre os meses de janeiro e março de 2022, foram utilizadas palavras-chave como: dutos flexíveis, PLSV e operações gerais de PLSV (CVD, *Pull-in*, principalmente).

Já para o quarto capítulo foram realizadas entrevistas com profissionais da área. Mais especificamente, foram 5 entrevistados, com formações em Engenharia de Produção, Civil e Mecânica, todos com experiência no setor variando de 6 a 15 anos. Tais entrevistas foram realizadas pessoalmente, quando possível, ou pela plataforma do Teams, e algumas perguntas não foram padronizadas para que as entrevistas pudessem ocorrer de forma mais fluida.

No entanto, perguntas que ocorreram em todas elas foram: curso de formação, tempo de experiência *offshore* e *onshore*, sistemas de armazenamento dos navios em que trabalharam, *layout* desses navios, opiniões pessoais sobre o que funciona melhor, o que pode ser melhorado a partir das embarcações objeto de estudo, como esses sistemas de armazenamento podem impactar no tempo e espaço no convés para o carregamento e como podem impactar no sistema de lançamento. Além disso, para *layouts* diferentes, foi pedido que pudessem explicar brevemente o fluxo de processo de carregamento daquele navio.

As perguntas foram construídas de forma que fossem buscadas outras soluções para melhorar certos gargalos da operação de carregamento e para tentar compreender se existem opiniões convergentes sobre o que funciona melhor. Para fluxos de processos diferentes, foi possível observar diferenças entre as embarcações que impactem tanto no tempo de operação quanto no espaço disponível para o armazenamento dos materiais.

3.2 Análise e Tratamento dos Dados

Para análise dos dados, foram utilizados softwares como Excel, Project Libre e yed. Project Libre para o auxílio na obtenção do caminho crítico das operações de carregamento de dutos flexíveis, Excel para realização de cálculos simples de distâncias e de confirmação dos tempos obtidos pelo Project e o yed juntamente com a ferramenta do BPMN (*business process model and notation*) para elaboração do fluxo do caminho crítico.

Os dados utilizados foram adquiridos a partir de dados confidenciais por parte da empresa e pela experiência de anos dos entrevistados para elaboração do estudo de caso. Por isso, foi aplicado um fator de multiplicação para que os dados permanecessem confidenciais. O fator é um número definido aleatoriamente apenas para que os dados reais não sejam liberados. Como por exemplo: se o tempo de rebatimento das calhas durasse 3 horas, esse número é multiplicado por um fator definido aleatoriamente, como 1,89, então o rebatimento das calhas dura 5,67 horas.

Além disso, para conseguir reduzir/eliminar os gargalos encontrados na análise do estudo de caso, foram levados em consideração os princípios da Construção Enxuta e aplicados os que mais se encaixam com a situação apresentada.

4. ESTUDO DE CASO

4.1 A empresa

Uma empresa multinacional que trabalha em projetos *offshore* e serviços de energia. No Brasil, a empresa já está estabelecida e consolidada por volta de duas décadas, trabalhando principalmente com PLSVs e lançamento de dutos flexíveis e/ou rígidos.

Costuma realizar a atividade de carregamento no mínimo duas vezes ao mês, no entanto, esse número pode até quadruplicar dependendo da demanda. Além disso, esta atividade é classificada como TCP (tempo complementar produtivo), por esse fator, existe uma grande importância em diminuir o tempo do carregamento visto que não é uma atividade que agrega valor ao cliente.

Existem algumas variáveis envolvidas no processo para que esse tempo seja calculado como quantidade de tramos a serem carregados, seus comprimentos, quantidade de flutuadores, carregamento de materiais, se será necessário que o PLSV troque de berço (terminal) de carregamento na base, entre outras. Visto isso, será descrita a sequência executiva de uma operação de carregamento para maior compreensão sobre a tarefa. É válido ressaltar que para o presente estudo de caso, será utilizado como base uma embarcação com duas cestas de carregamento. No entanto, também serão apresentados o fluxo de outros sistemas de armazenamento.

4.2 Diagnóstico das Operações de Carregamento de Dutos Flexíveis

Nesse tópico, será descrita a sequência executiva de um carregamento considerando os 3 tipos de sistema de armazenamento: cestas, bobinas e carretéis.

Considerando um PLSV com sistema de armazenamento do tipo cesta:

Antes de dar início a operação de carregamento, o Engenheiro de Projeto embarcado precisa se certificar de que o raio mínimo de armazenamento dos dutos a serem carregados são menores que o raio da cesta e se o volume e peso a ser carregado é compatível com a cesta também. Também antes do início, o navio precisa atracar e passar os cabos de amarração.

No entanto, antes da entrada no canal e atracação, existe uma questão envolvida no preparatório que é a inclinação da torre. Dependendo do tamanho da torre do navio, para

entrar em alguns canais que levam até as bases de carregamento, é necessário incliná-la e depois verticalizá-la de volta aos 90° para que o carregamento seja realizado devido a existência de pontes e fios elétricos no caminho.

Além disso, existem alguns preparatórios para que o convés esteja apto a começar a receber os dutos. Então, os tensionadores de carregamento precisam ter suas sapatas trocadas de acordo com o diâmetro do duto (isso é calculado na fase de planejamento do projeto) e o aperto também deve estar de acordo com as especificações dos dutos. Como são trabalhos demorados, no carregamento de mais de um duto, tanto as sapatas quanto o aperto precisam ser compatíveis com todos os dutos para que a troca seja realizada apenas uma vez, antes do início do projeto de carregamento. A troca das sapatas é realizada por operadores de convés e o *setup* dos tensionadores é realizado pelos técnicos dos equipamentos em uma sala de controle próximo a popa da embarcação.

Dependendo do tipo de calha que o navio tem, a calha precisa ser rebatida para fora dele para que fique em posição de recebimento do duto. Esse rebatimento pode ser hidráulico ou mecânico. No caso mecânico, é necessário o pino da calha seja destravado e o guindaste desça a calha para sua posição de trabalho. Para utilização do guindaste, é necessário um guindasteiro ou de operadores de convés, que com a capacitação adequada, podem operar guindastes “não cabinados” (ou seja, sem cabine, comando por controle remoto) de menores capacidades. Além disso, para as bases de carregamento existentes, a atracação do navio ocorre pelo lado de bombordo (esquerdo). Dependendo do navio, pode ser que exista uma calha a bombordo e uma calha a boreste (direita). O carregamento com a calha de boreste pode acarretar algumas dificuldades, como ângulo mais acentuado para chegada da linha no PLSV.

Além de todo o preparatório, também é realizada uma reunião entre PLSV e base para que sejam alinhados tudo o que vai ocorrer no carregamento, já planejando e se preparando para eventuais problemas e confirmando todo o material que será carregado. Também é realizado um Diálogo de Segurança para informar e garantir a segurança de todos os envolvidos na operação.

Depois de toda a arrumação do convés é quando pode-se dar início ao carregamento. Ele pode ocorrer em frente única, com duas frentes e pode, durante esses dois tipos, também ocorrer o carregamento de materiais como contêineres e flutuadores. Em frente única, quando

uma embarcação possui mais de uma cesta, quer dizer que apenas uma das cestas está recebendo duto.

Então, o processo inicia-se com o envio do guincho do PLSV desde as calhas de carregamento até a rampa da base e posterior envio até a posição das bobinas e para ele possa ser conectado a primeira extremidade da linha a ser carregada. Depois de conectado, o guincho começa a ser recolhido pelo navio trazendo a extremidade junto até chegar próximo a calha de carregamento e realizar o *inboarding* dela para o convés do navio. É válido ressaltar que durante toda a operação existe um observador para cada calha, exatamente para visualizar questão do ângulo e encontro da linha com cantos vivos.

O *inboarding* costuma ser realizado com o auxílio de um guindaste (além do guincho já instalado), por isso, quando a extremidade chega à calha, é realizada a conexão do guindaste com os massames conectados a extremidade. Esses massames podem ser enviados pelo PLSV previamente a base para que ela instale ou, caso isso, por algum motivo, não seja possível, a base instala os próprios massames e quando a extremidade chega ao PLSV, eles são substituídos. Então, a extremidade é apoiada em um equipamento no PLSV, podendo ser um rolete, para que possam ocorrer algumas atividades como:

- Lavagem da linha – as linhas se sujaram quando passam pela água durante a saída da base e entrada no PLSV, porém, para inspecioná-las, elas devem estar limpas;
- Inspeção da linha – realizada para visualização de danos, conferência dos dados da linha para confirmar se é realmente a linha prevista para ser carregada e verificação de detalhes do conector. Neste momento, também são realizadas as cotas do duto para confirmação de seu comprimento;
- Início da proteção dos acessórios;
- Instalação de um acessório chamado de “dedo chinês” (utilizado para auxiliar na passagem da extremidade pelo topo da torre, onde pode ocorrer uma alta curvatura na extremidade na linha devido ao peso dos acessórios), caso necessário.

Após todo esse procedimento, o carregamento da linha segue com ela sendo levada em direção a cesta, ainda com auxílio do guincho e do guindaste. Para passar pelos tensionadores, primeiro eles devem estar abertos por causa dos acessórios instalados na extremidade para só então serem fechados na própria estrutura da linha. Quando fechados, eles se movimentam em

uma velocidade constante até que a extremidade chegue à cesta de carregamento. O guindaste precisa acompanhar a linha até dentro da cesta, só que isso só é possível se a lança do guindaste for grande o suficiente para alcançar a cesta. Caso não alcance, o guindaste precisa ser substituído por um outro que alcance.

Para a extremidade entrar na cesta, ela precisa passar pelo *hatch*, que é basicamente uma porta que leva a um compartimento no convés inferior (logo abaixo do convés principal). Esse *hatch* pode ser acionado hidráulicamente ou pode ser mecânico, necessitando do auxílio de um guindaste para abri-lo e fechá-lo. Além disso, ele pode estar no nível do chão do convés ou pode ter uma pequena elevação, para que, caso entre água no barco, evite o alagamento da cesta.

Figura 36: Exemplo de hatch.



Fonte: https://stock.adobe.com/sk/search/images?k=ship+hatch&asset_id=261814087, acessado em 11/05/2022 as 8h30

Enquanto a extremidade entra na cesta, duas pessoas precisam se posicionar dentro dela para auxiliar na sua organização. A proteção dos acessórios realizada no *inboarding* é terminada dentro da cesta e isso se dá porque durante o *inboarding* os massames não podem ser protegidos, visto que eles ficam conectados ao guincho e guindaste.

A proteção é necessária porque os massames e os acessórios podem danificar outros tramos que possam estar armazenados abaixo deles. Além disso, para não perder volume de armazenamento, as linhas precisam estar organizadas de forma que elas não se cruzem, então os colaboradores também auxiliam nessa parte.

Depois que a primeira extremidade é assentada, existe um grande comprimento de linha a ser carregado até que se chegue a segunda extremidade. Essa etapa é chamada de recolhimento contínuo, pois o guincho e o guindaste não são mais necessários, apenas atuando os tensionadores. Para isso, é utilizado apenas um supervisor que acompanhe esse recolhimento, o técnico do equipamento que fica na sala de controle controlando a movimentação dos tensionadores durante todo o carregamento, um operador dentro da cesta, na cabine, no controle do *spooling arm*, que é um equipamento que auxilia na organização dos dutos e o observador que fica próximo a calha.

Quando há carregamento de contêineres e flutuadores, é costume ele ser realizado durante o recolhimento contínuo, visto que essa etapa demanda menos gente. Na cesta não há necessidade de mais de um operador então os outros são enviados para o convés. Para o carregamento desses materiais, são utilizados mais 3 colaboradores, o sinaleiro, que faz o sinal para o guindasteiro e os outros dois controlam a carga para ela ser posicionada no convés.

Em uma das bases de carregamento, o carregamento de materiais se dá por meio de balsas que são enviadas para a lateral do PLSV.

Ao término do recolhimento contínuo, inicia-se o *inboarding* da segunda extremidade da linha. Este também precisa do auxílio de um guindaste até sua chegada a cesta. Os procedimentos são os mesmos utilizados para o carregamento da primeira extremidade, exceto pelo guincho que inicialmente é utilizado o da base até chegar à calha do PLSV, a partir de então, um guincho do PLSV defletido em um poste passa a substituí-lo. Os tensionadores precisam abrir para a passagem dos acessórios.

Considerando um PLSV com sistema de armazenamento do tipo carretel:

O carregamento em navios com carretéis, o processo é basicamente o mesmo da cesta, no entanto, como carretel fica no convés do PLSV, não há paredes laterais que ajudam a conter os dutos. Então, como o carregamento é vertical assim como na cesta, o tensionamento dos dutos é necessário visto que eles podem escorregar.

Considerando um PLSV com sistema de armazenamento do tipo bobina:

Quando há bobinas no convés de uma embarcação, existem duas maneiras de carregamento. Uma delas se dá praticamente da mesma maneira que o sistema de

armazenamento em cestas, única diferença é que o armazenamento em bobina se dá horizontalmente. Por isso, há a necessidade do auxílio de guinchos para que os dutos possam correr lateralmente, deixando os tramos bem organizados, sem cruzamentos. Isso demanda um pouco mais de tempo.

A outra forma é a cabrea içar uma bobina já carregada da base e levá-la inteira até o PLSV, acomodando a bobina em uma estrutura de arco apropriada ao seu armazenamento, funcionando como bobinas removíveis, que quando vazias podem ser substituídas por outras cheias. Devido ao elevado peso das bobinas, o içamento e posicionamento delas só pode ser realizado por cabrea. Após o carregamento delas, as bobinas precisam ser estaiadas para que elas não corram risco de se mover durante a navegação.

Figura 37: Balsa com cabrea.



Fonte: <http://www.portosma.com.br/noticias/noticia.php?id=2808>, acessado em 11/05/2022 as 08h00

Uma das vantagens de se utilizar a bobina é que ela permite flexibilidade de projetos, ou seja, caso queira que a ordem dos projetos seja trocada, a bobina permite isso. Carregamento em cesta ou carretel não permite essa flexibilidade, tendo que seguir a exata ordem de dutos que estão carregados.

4.3 Identificação de Desperdícios na Operação de Carregamento de Dutos Flexíveis

4.3.1 Identificação dos Gargalos e Desperdícios

Quando se trata de carregamento em cestas, existem alguns desperdícios que podem ser encontrados ao longo do processo. De acordo com o processo descrito anteriormente, seguem alguns desperdícios:

a) Inclinação da torre

A torre, apesar de ser utilizada para o lançamento das linhas, por causa do seu tamanho, ela pode impactar no tempo de carregamento de dutos flexíveis visto que para entrar e sair do canal de alguns portos, existem pontes e fios elétricos que interferem com ela. Não conseguindo incliná-la fora do caminho crítico, ocasionará no aumento da duração da operação de carregamento.

b) Troca de sapatas dos tensionadores

A troca de sapatas também pode ser um desperdício caso seja realizada durante a operação de carregamento visto que é uma tarefa demorada e que acaba atrasando o início do recebimento dos dutos.

c) Rebatimento das calhas de carregamento

O rebatimento das calhas de forma mecânica, ou seja, dependendo de um guindaste, também atrasa a operação porque o próprio carregamento necessita do guindaste, porém com o guindaste ocupado, se torna inviável o seu início.

d) Ângulo de carregamento

Atualmente existem 3 portos que trabalham no carregamento dos navios que realizam as operações com dutos flexíveis, sendo elas: Base de Niterói (BANIT), Base de Vitória (BAVIT) e Porto do Açú. Todas elas têm terminais (berços) de carregamento inclinados em relação a popa da embarcação. O carregamento com angulação se torna preocupante devido ao risco de o duto entrar em contato com um canto vivo da calha e ocasionar um dano. Por isso, os carregamentos costumam ser realizados em menor velocidade para que haja um maior controle da angulação dos dutos. Logo, acaba havendo um desperdício de tempo também.

e) Troca de massames

Caso a base não realize a instalação dos massames do PLSV fora do caminho crítico do carregamento, eles precisarão ser substituídos e os massames da base deverão ser devolvidos, gerando um retrabalho.

f) Armazenamento de equipamentos/acessórios utilizados no carregamento

O armazenamento de equipamentos e acessórios necessários para o carregamento, como dedo chinês, paquímetro, lixa, entre outros, é realizado próximo a mesa de trabalho, aproximadamente a 70 metros das calhas. Caso não haja um planejamento de mobilização desses materiais pré-carregamento para próximo a calha, essa atividade entrará no caminho crítico da operação.

g) Lança do guindaste

Como dito no subtítulo anterior, o guindaste precisa acompanhar a extremidade da linha até a cesta e isso depende do tamanho de sua lança e o seu alcance. Caso a lança não alcance a cesta, o guindaste precisa ser substituído por outro que consiga. Essa substituição causa uma paralisação do carregamento, ocasionando uma perda de tempo no processo.

h) Quantidade de mão de obra

Para o carregamento de materiais ocorrer durante o carregamento das linhas, dependendo da quantidade de pessoal contratado, há a necessidade de esperar o recolhimento contínuo acontecer para que operadores saiam da cesta e vão para o convés auxiliar o guindasteiro. E se ainda assim não for tempo suficiente, o carregamento de materiais só ocorre ao final do carregamento de tramos.

Além disso, quando há o carregamento em duas frentes ou mesmo uma frente e o carregamento de materiais, dois guindastes precisam ser utilizados para carregar as extremidades até a cestas. Então são necessários no mínimo dois guindasteiros a bordo ou pelo menos um guindasteiro e um operador de convés com o curso que o permita operar um guindaste de menor capacidade.

Ambos os casos deixam uma parte da operação ociosa à espera da mão de obra específica para o trabalho causando um desperdício de espera desnecessário, consequentemente aumentando o tempo da operação.

i) *Hatch* de carregamento

O *hatch* caso seja por acionamento hidráulico, abre mais rapidamente, além de não necessitar do auxílio do guindaste, tornando a operação mais segura. Como o guindaste é de extrema importância para o carregamento, o ideal é evitar usá-lo para outras tarefas e não

atrasar o início da operação. Além disso, o *hatch* no nível do piso do convés pode permitir um maior espaço para armazenamento de materiais, visto que quando fechado, funciona como piso mesmo. Quando acima do nível, pode ser que não dê para armazenar nada por cima.

j) Sala de controle

Em algumas embarcações, a sala de controle dos tensionadores de carregamento é diferente da sala de controle dos tensionadores de lançamento. Isso pode causar um desperdício de espaço.

k) Inspeção prévia dos dutos

Muitas vezes o carregamento é prejudicado porque a base não consegue inspecionar os dutos previamente, isso acarreta a redução da velocidade de carregamento visto que a inspeção ocorre durante a operação.

4.3.2 Análise dos Gargalos e Desperdícios

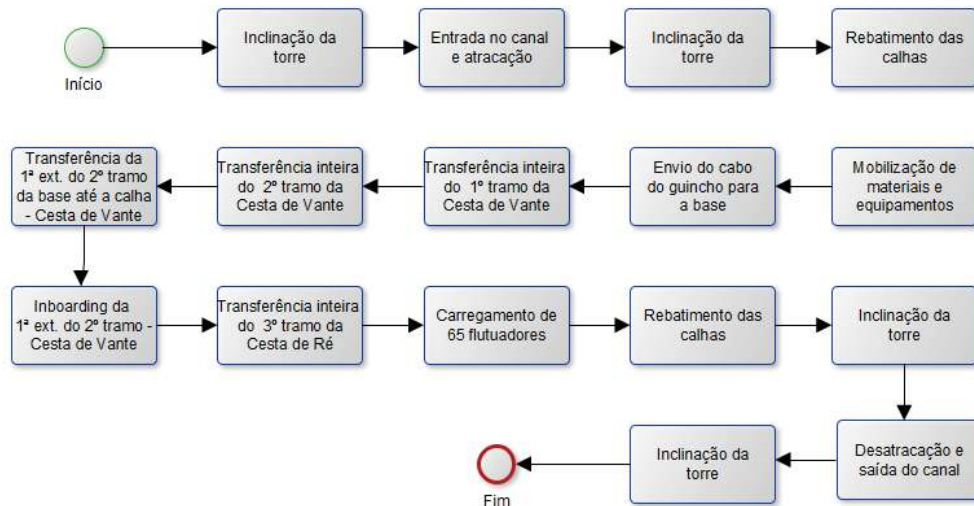
Levando em consideração o fluxo de processo exposto, é possível fazer um cálculo aproximado de quanto tempo levaria para realizar o carregamento dos tramos e dos materiais (flutuadores e contêineres). Com base na experiência dos entrevistados e de dados confidenciais adquiridos, é possível obter os valores de tempo e velocidade estratificados das seguintes etapas:

- Carregamento de uma extremidade;
- Velocidade do recolhimento contínuo considerando e desconsiderando inspeção prévia dos dutos;
- Carregamento de flutuadores e contêineres;
- Carregamento de bobina por cabrea;
- Tempo da troca dos massames;
- Rebatimento das calhas;
- Inclinação da torre;
- Atracação;

- Desatracação;
- Mobilização de equipamentos e materiais para início do carregamento.

Considerando esses valores e essas etapas e criando a seguinte situação hipotética: um carregamento de 7 tramos de 1000 metros cada, em um PLSV com duas cestas, recebendo 4 tramos na cesta de vante e 3 na de ré, além do carregamento de mais 85 flutuadores. Além disso, foram consideradas a falta de inspeção prévia dos dutos pela base e a troca de massames por parte do navio. E após uma análise realizada com o Project Libre, foi possível obter o seguinte caminho crítico dessa operação:

Figura 38: Caminho crítico da operação hipotética.



Fonte: Autor (2022)

É válido ressaltar que para obter o caminho crítico, a operação de carregamento de uma linha flexível foi dividida em algumas etapas. São elas: transferência da 1ª extremidade da base até a calha do PLSV, *inboarding* da 1ª extremidade, transferência da 1ª extremidade da calha até a cesta, recolhimento contínuo, transferência da 2ª extremidade da base até a calha do PLSV, *inboarding* da 2ª extremidade e transferência da 2ª extremidade da calha até a cesta.

Outras considerações feitas para a situação hipotética foram que durante o recolhimento contínuo de ambas as frentes de carregamento, ocorria em paralelo o carregamento de alguns flutuadores, em quantidade que não atrapalhasse o carregamento das linhas flexíveis. Além disso, como dito anteriormente, não foi considerado o *inboarding* e

chegada de extremidade de dois tramos ao mesmo tempo. Somando tudo isso, foi possível obter um tempo de aproximadamente 4 dias e 19 horas de carregamento.

4.4 Proposta de Fluxo de Processo e Layout de PLSV

Todo o material apresentado anteriormente e as análises que vem a seguir, foram construídos com base em alguns dos princípios do *Lean Construction*, como, por exemplo, para obter melhores práticas e descobrir novos *layouts*, as entrevistas foram realizadas com pessoas que trabalharam em diferentes empresas. Essa é a prática do *benchmarking*.

Além disso, como o carregamento não agrega valor ao cliente, porém é necessário para instalação dos dutos (produto final), sempre foi levado em consideração reduzir as etapas ou pelo menos reduzir os tempos das etapas o máximo que fosse possível com base no que foi apresentado. Ambos os casos reduzem o tempo do processo (*lead time*). Também foi levada em consideração a transparência do processo, ou seja, sempre que possível, deixar as informações necessárias para a operação bem claras e vistas por todos os colaboradores.

Então, prosseguindo com as análises, em relação aos gargalos apresentados no subcapítulo 4.3.1, é possível já fechar algumas premissas relacionadas tanto ao fluxo quanto ao *layout*, já obtendo alguns ganhos.

- A base assumirá responsabilidade de sempre instalar os massames do PLSV nas extremidades para realização do carregamento;
- A(s) calha(s) do PLSV não precisarão ser rebatidas, elas já serão constituídas de um material apropriado que possibilite ficar para fora do navio;
- Lança do guindaste será grande o suficiente para realizar o *inboarding* da extremidade e para levá-la até a cesta;
- A base fará a inspeção dos dutos previamente a operação, evitando a redução da velocidade de carregamento.

Esta última premissa parte do princípio de que a base faça um planejamento prévio dos próximos carregamentos que virão a ocorrer e já realize a inspeção dos dutos com pelo menos uns 2 dias de antecedência. Com isso, consegue inspecionar e caso encontre danos, realizar devidamente os registros fotográficos e reparos. Com apenas essas 4 premissas, se o caminho

crítico de um PLSV com 2 cestas de carregamento for recalculado, é possível obter uma duração cerca de 3 dias e 21 horas, havendo uma redução de 20,8% do tempo.

No entanto, é possível explorar outros sistemas de armazenamento. Existem navios com 3 a 8 bobinas e 1 cesta ou até navios com apenas bobinas. Este estudo não considerará o carretel visto que foi de concordância dos entrevistados que o carretel não é um sistema tão favorável para a operação de carregamento porque apresenta uma dificuldade maior de enrolamento das linhas devido ao seu tensionamento. Além disso, também não é tão válido abordar carregamento de bobinas sem a utilização da cabrea, visto que se assemelha bastante ao carregamento das cestas, podendo até ser um pouco mais difícil.

Para carregamento de bobina via cabrea, o navio entrega uma bobina vazia e recebe outra cheia da base. Então para o estudo do tempo de carregamento por esse sistema, será considerado primeiro um navio que dispõe de 1 cesta e 2 bobinas. No próximo carregamento, as duas bobinas vazias serão retiradas para serem substituídas por outras 2 cheias. E com a mesma situação hipotética anterior, ainda tem os outros 5 tramos que precisarão ser carregados na cesta, além dos 85 flutuadores no convés. Essa disposição retorna uma duração de aproximadamente 5 dias de carregamento. Em relação a configuração original, obteve-se um aumento de 3,2% na duração.

Já um PLSV com 1 cesta e 3 bobinas, carregando 4 tramos na cesta, conseguiria obter uma duração de cerca de 4 dias e 8 horas, reduzindo 10,0% do tempo. Já um PLSV com uma cesta e 4 bobinas, carregando 3 tramos na cesta, uma duração aproximada de 3 dias e 21 horas, reduzindo 19,4% do tempo. E nas outras duas situações com carregamento de 2 tramos na cesta e 5 por bobina e 1 tramo na cesta e 6 por bobina, é obtida uma duração de, respectivamente, 3 dias e 10 horas e 2 dias e 22 horas. Reduzindo a duração da configuração original em 29,4% e 39,7%.

Vale ressaltar que carregamentos com bobinas por meio da cabrea também necessitam do tempo de estaiamento das bobinas cheias e carregadas. Todos esses tempos foram considerados no cálculo.

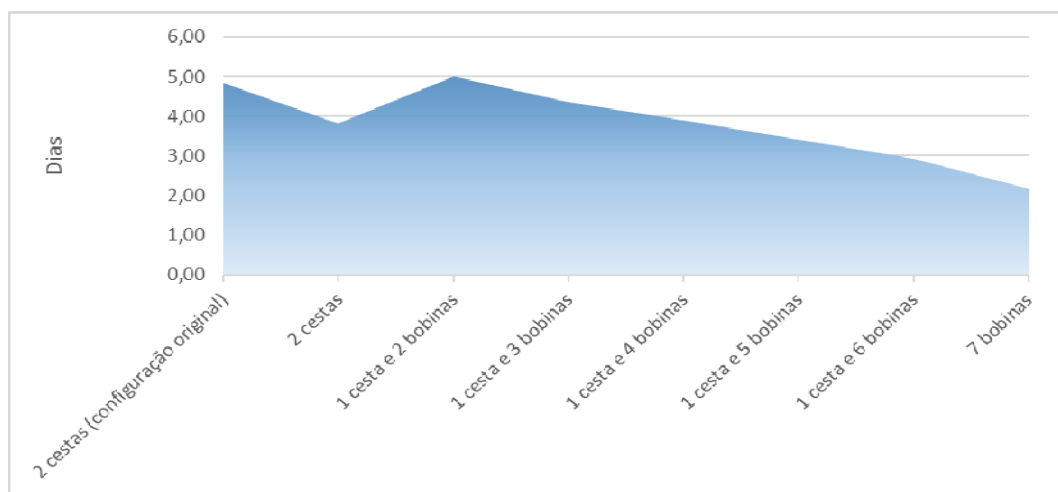
Por fim, pode-se realizar um carregamento em que 7 bobinas vazias sejam descarregadas e outras 7 cheias sejam carregadas. Contabilizando os 85 flutuadores também, é possível obter uma duração aproximada de 2 dias e 4 horas. Isso reduz o tempo da configuração original de duas cestas em 55,0%.

Quadro 2: Compilação das durações obtidas dos caminhos críticos analisados.

Layout do PLSV	Considerações	Duração aproximada	Porcentagem de acréscimo ou redução em relação a configuração original
2 cestas (configuração original)	Com troca de massames, sem inspeção prévia e com rebatimento de calha	4 dias e 19 horas	-
2 cestas	Sem troca de massames, com inspeção prévia e sem rebatimento de calha*	3 dias e 21 horas	-20,8%
1 cesta e 2 bobinas	*	5 dias	+3,2%
1 cesta e 3 bobinas	*	4 dias e 8 horas	-10,0%
1 cesta e 4 bobinas	*	3 dias e 21 horas	-19,4%
1 cesta e 5 bobinas	*	3 dias e 10 horas	-29,4%
1 cesta e 6 bobinas	*	2 dias e 22 horas	-39,7%
7 bobinas (mínimo)	*	2 dias e 4 horas	-55,0%

Fonte: Autor (2022)

Figura 39: Gráfico de área mostrando a duração dos carregamentos.



Fonte: Autor (2022)

Então, resumindo, para o fluxo de processo em casos de transferência de linha da base para o PLSV, seja para bobina ou para cesta, foi admitido que a base fará a instalação dos massames do navio. Além disso, a base também ficará encarregada de realizar inspeção dos dutos no mínimo 2 dias antes do carregamento ocorrer para que a velocidade não seja prejudicada. Em caso de duas frentes de carregamento, os operadores do navio deverão utilizar o recolhimento contínuo das linhas como tempo hábil para o carregamento de materiais ou até para o caso de carregamento de bobinas por cabrea.

Em relação ao *layout* admitiu-se que o(s) guindaste(s) utilizado(s) para o carregamento de extremidades deverão ter a lança que alcance tanto a calha quanto o *hatch* da cesta, evitando que o guindaste seja substituído por outro no meio do caminho. Além disso, as calhas já precisam ser fixadas para fora da embarcação, evitando o tempo de rebatimento delas.

Para casos de carregamento com duas frentes ou de uma frente, porém com carregamento de materiais em paralelo, faz-se necessário no mínimo 2 guindasteiros a bordo para manuseá-los.

A embarcação também assumirá a responsabilidade de no mínimo 2 dias antes do carregamento, realizar um esboço do *layout* do PLSV para planejar onde os materiais serão armazenados no convés. Evitando que após o carregamento das linhas terminarem esses materiais sejam remanejados, o que aumentaria o tempo do projeto. É importante ter esse

esboço impresso ou desenhado exposto no convés para que todos tenham em vista onde cada objeto deve ser armazenado.

Se possível, as embarcações comprarão sapatas de tensionadores que sejam compatíveis com um intervalo grande de diâmetro de duto, eliminando a necessidade de troca delas. Apesar dessa etapa não entrar no caminho crítico do carregamento, é possível que entre caso as condições não sejam favoráveis. As sapatas admitindo intervalo maior de diâmetro eliminaria essa possibilidade.

É interessante também que os *hatches* do navio sejam no nível do piso do convés, assim, caso necessário, podem ser colocados flutuadores ou contêineres por cima, ganhando mais espaço para os materiais.

Por último, apesar do carregamento não utilizar da torre em seus trabalhos, estudos de inclinação da torre fora do caminho crítico da operação ou estudos de inclinação parcial da torre para passagem por baixo da ponte/fio elétrico são interessantes pois diminuem/eliminam um tempo significativo do carregamento, visto que a tarefa de inclinação da torre é realizada em até 4 vezes durante a operação.

Portanto, para fins deste trabalho, foi definido que o melhor *layout* para o carregamento de linhas flexíveis é de um PLSV com bobinas, contendo guindastes que consigam carregar materiais para o convés e levar materiais do convés para a mesa de trabalho. Caso não seja possível carregar todas as linhas por cabrea e necessita-se fazer a transferência da base para o convés, então o navio também precisa de guinchos para auxiliar no tensionamento da linha.

5. CONCLUSÃO E RECOMENDAÇÕES PARA FUTURAS ANÁLISES

O objetivo geral da pesquisa, otimizar a atividade de carregamento de dutos flexíveis com base nos princípios da Construção Enxuta, foi atingido visto que pelos gargalos apresentados, existem diversas formas de otimizar a operação de carregamento. Com a aplicação da especificação do cliente para agregar valor a atividades, reduzindo a quantidade de passos necessários, eliminando etapas e realizando benchmarking, foi possível reduzir o tempo de carregamento em até 55% da configuração inicial apresentada.

Como dito no Capítulo 1, a redução do tempo numa atividade acarreta a redução do custo visto que menos tempo é dispendido na atividade de carregamento, que não agrega valor. Esse tempo será utilizado para uma atividade que agrega valor, ou seja, o custo será mais bem direcionado do ponto de vista do cliente. Atualmente é necessário que os engenheiros usem seus recursos da melhor forma, sempre tentando maximizar a produção com a menor quantidade de recurso possível, seja ele em forma de verba ou de matéria-prima, e é este o foco do trabalho.

Entretanto, é necessário levar em conta que as bobinas ocupam bastante espaço do convés. Logo, quando se considera o fator tempo, as bobinas por cabrea tornam o carregamento bastante eficientes, porém quando se considera o fator espaço, o carregamento pode não ser tão eficiente assim. Uma das formas de resolver esse problema é o planejamento prévio, que foi abordado anteriormente, em que a embarcação realiza um esboço do *layout* a fim de compreender qual a melhor configuração para o armazenamento dos materiais.

Um fator que não foi considerado nesse trabalho é a condição meteoceanográfica que pode impactar na entrada e saída do PLSV dos portos. Existem formas de prever quais serão as condições antes da navegação para o porto, no entanto formas de contornar isso são um pouco inexploradas.

Algo a ser considerado é que essa pesquisa se baseou no tipo de trabalho que a Petrobras realiza hoje em dia para maior captação do óleo e gás, considerando, também, as bases que atuam para esse tipo de carregamento. Logo, com surgimento de novas bases, é recomendado que esse trabalho seja reanalisado, de forma a observar como o carregamento pode ser afetado pelo diferente *layout* da base. Assim como não se aplica a projetos exteriores, visto que esses projetos são unicamente realizados pela Petrobras.

Além disso, essa pesquisa se limitou a análise dos tempos da operação e o que poderia ser feito para redução deles. No entanto, custos dos equipamentos, contratação de pessoal e compra de materiais também devem ser avaliados para a viabilidade da construção da embarcação. Logo, uma das recomendações para futuros trabalhos é de implementar a análise de custos também.

REFERÊNCIAS

AFP. Opep completa 60 anos enfraquecida pela queda no consumo de petróleo. **Isto É**, 25 Setembro 2020. Disponível em: <<https://www.istoedinheiro.com.br/opep-completa-60-anos-enfraquecida-pela-queda-no-consumo-de-petroleo/>>.

ARANTES, P. C. F. G. **Lean Construction - Filosofia e Metodologias**. [S.l.]. 2008.

BARBOSA, N. M. **Mapeamento dos Processos e Modos de Falha no Descomissionamento de Dutos Flexíveis Submarinos**. Rio de Janeiro. 2018.

BENDIA, N. B. **Avaliação de danos em linhas flexíveis: Uma visão prática**. Rio de Janeiro. 2019.

CBIE. Como é controlado o fluxo de petróleo dos poços. **CBIE**, 8 Novembro 2019. Disponível em: <<https://cbie.com.br/artigos/como-e-controlado-o-fluxo-de-petroleo-dos-pocos/>>.

CIPRIANO, R. B. **Análise de instalação de duto flexível por conexão vertical direta**. Niterói. 2020.

COSTA, P. H. P. D. S. **Análise da Conexão Vertical Direta na Instalação de Linhas Flexíveis e Umbilicais**. Rio de Janeiro. 2015.

COUTINHO, T. O que é o ciclo PDCA? Entenda como funciona cada etapa! **Voitto**, 23 Junho 2017. Disponível em: <<https://www.voitto.com.br/blog/artigo/o-que-e-o-ciclo-pdca>>.

COUTINHO, T. Conheça os 8 desperdícios do Lean Manufacturing. **Voitto**, 6 Junho 2020. Disponível em: <<https://www.voitto.com.br/blog/artigo/8-desperdicios-lean>>.

COUTO, D. B. R. B. D. **O método Seis Sigma aplicado à construção de edificações: aspectos técnicos e metodológicos**. Rio de Janeiro. 2020.

DENNIS, P. **Produção Lean Simplificada: Um guia para entender o sistema de produção mais poderoso do mundo**. Porto Alegre: Bookman, 2008.

FERREIRA, A. C. D. L. **Análise do Impacto da Transição de Rigidez Flexional de Dutos Flexíveis na Passagem Geminada pela Roda da Torre de Lançamento de um PLSV**. Rio de Janeiro. 2021.

FERREIRA, D. P. **As principais operações das embarcações PLSV**. Rio de Janeiro. 2013.

FILHO, J. G. B. C. **Melhores Práticas para Garantia de Sustentabilidade de Melhorias Obtidas através de Eventos Kaizen**. São Carlos. 2010.

GUEDES, D. B. A aplicabilidade do Kanban e suas vantagens enquanto ferramenta de produção numa indústria calçadista da Paraíba. **ENEGEP**, 2010.

HANASHIRO, A. **Proposta de modelo de gestão do conhecimento no piso de fábrica: Estudo de caso de Kaizen em empresa do setor automotivo**. Curitiba. 2005.

JÚNIOR, M. B. C.; BORGES, W. D. S. Aplicação das metodologias Lean Six Sigma: Uma análise comparativa de estudos de casos publicados em periódicos. **GeTec**, p. 37-57, 2018.

JUNQUEIRA, L. E. L. **Aplicação da Lean Construction para Redução dos Custos na Construção da Casa 1.0**. São Paulo. 2006.

KOSAKA, D. Relatório A3: ferramenta para melhoria de processos. **Lean Institute Brasil**, 30 Novembro 2006. Disponível em: <<https://www.lean.org.br/artigos/90/relatorio-a3-ferramenta-para-melhorias-de-processos.aspx>>.

LIMA, E. D. A. M. **Estudo da Contribuição das Metodologias do Lean Construction e do Gerenciamento de Projetos do PMI para o Planejamento e Controle da Produção de Obras**. Rio de Janeiro. 2016.

LOYD, N. E. A. **Integration of A3 thinking as an academic communication standard**. Cancun. 2010.

MELO, E.; CORBACHO, J. **Linhas Flexíveis: Estruturas e Modos de Falha**. Rio de Janeiro: [s.n.], 2021.

MENDES, A. P. D. A. et al. **Panoramas Setoriais 2030: Petróleo e Gás**. [S.l.]. 2017.

MENEZES, S. et al. Implementação da metodologia 5S e suas influências positivas quando sua aplicação nas indústrias, um estudo de revisão bibliográfica. **ENEGEP**, 2018.

MONDEN, Y. Produção sem estoques: uma abordagem prática ao sistema de produção da Toyota. **Revista de Administração de Empresas**, 1984.

OLIVEIRA, P. E. S. D.; COSTA, M. S.; OLIVEIRA, J. T. R. D. **Discussão Sobre A Influência Da Excentricidade Executiva De Estacas Sobre A Probabilidade De Ruína De Fundações**. Recife. 2018.

ORIBE, C. Y. PDCA: origem, conceitos e variantes dessa ideia de 70 anos. **Qualypro**, 7 Abril 2009. Disponível em: <<http://www.qualypro.com.br/artigos/pdca-origem-conceitos-e-variantes-dessa-ideia-de-70-anos>>.

ORLANDO, F. **Análise de Instalação de um Riser Lazy Wave para Águas Ultraprofundas**. Rio de Janeiro. 2019.

PANSONATO, R. **Lean Manufacturing**. [S.l.]: Contenus, 2020.

PASQUALINI, M. **Fordismo: Uma análise aplicada aos casos do Brasil e Japão**. Florianópolis. 2004.

PASSOS, D. F. O. O "Taylorismo" e as relações com o processo de certificação. **ENEGEP**, 2005.

PEREIRA, L. E.; GONÇALVES, J. A. T. **A importância do Just-in-Time na área de produção**. [S.l.].

PETRÓLEO e sua importância na economia mundial. **ETESCO**, 19 Julho 2021. Disponível em: <<https://etesco.com.br/petroleo-e-sua-importancia-na-economia-mundial/>>.

PRODUÇÃO de Petróleo e Gás Natural cresceu 52,71% de 2010 a 2020 no Brasil, diz ANP. **InfoMoney**, 30 Janeiro 2021. Disponível em: <<https://www.infomoney.com.br/mercados/producao-de-petroleo-e-gas-natural-cresceu-5271-de-2010-a-2020-no-brasil-diz-anp/>>.

RAMOS, A. W. **Metodologia Seis Sigma**. [S.l.].

ROCHA, C. E. C. Aplicação da metodologia A3 como suporte de melhoria no chão de fábrica: Estudo de Caso. **Núcleo do Conhecimento**. Disponível em: <<https://www.nucleodoconhecimento.com.br/engenharia-de-producao/metodologia-a3>>.

RODRIGUES, J. V. G. **Análise Estrutural de Master Link em Manobras de Lançamento de Dutos Flexíveis**. Rio de Janeiro. 2016.

ROSÁRIO, R. D. C. D.; ARAÚJO, R. D. C. D. Análise da Evolução das Fundações da Construção Civil na cidade de São Luis/MA de 1987-2011. **Revista de Engenharia e Tecnologia**, 2019.

SANT'ANA, F. E. **Gerenciamento da Produção em Canteiros de Obras com utilização do Conceito de Lean Construction**. Maringá. 2010.

SANTOS, J. L. **O uso do relatório A3 como ferramenta de implementação da filosofia Lean na gestão de empresas do setor de Construção Civil**. Ponta Grossa. 2019.

SILVA, E. P.; DELES, K. P. S.; PAULA, V. M. F. Implantação do programa 5S em uma escola municipal. **Em Extensão**, Uberlândia, 2013.

SILVA, I. V. D. **Aplicação de Técnicas de Otimização em Operações de Conexão Vertical Direta de 1ª Extremidade**. Rio de Janeiro. 2021.

SOUZA, L. F. N. D. et al. Seis Sigma - Qualidade com lucratividade. **SEGeT**.

SOUZA, R. M. D. et al. Resolução do Alto Nível de Ruídos na área de abate e manufatura de animais: aplicação do Diagrama de Ishikawa para a melhoria do ambiente de trabalho. **Espacios**, 2014. Disponível em: <<https://www.revistaespacios.com/a14v35n12/14351221.html>>.

STEFENONI, R. V. **Estudo do Comportamento de Estacas Escavadas tipo Hélice Contínua**. Niterói. 2018.

TENÓRIO, F. G. A unidade dos contrários: fordismo e pós-fordismo. **Revista de Administração Pública**, 2011.

WERKEMA, C. **A evolução do Seis Sigma**. [S.l.].

WERKEMA, C. **Método DMAIC: Um dos pilares do sucesso do Lean Seis Sigma**. [S.l.].

WOMACK, J. P.; JONES, D. T. **A mentalidade enxuta nas empresas - Elimine o desperdício e crie riquezas**. Rio de Janeiro. 1998.

XAVIER, M. L. **Instalação de Dutos Flexíveis em Águas Ultraprofundas**. Rio de Janeiro. 2006.

ZANOTTI, N. L. **Padronização de Processos Produtivos e Melhoria Contínua como fatores de aumento da produtividade na construção**. São Paulo. 2018.