

## Mapping the value stream of the assembly process of a Horizontal Wet Christmas Tree in an offshore company

### Mapeamento do fluxo de valor do processo de montagem de uma Árvore de Natal Molhada Horizontal em uma empresa do segmento *offshore*

Article Info:

Article history: Received 2022-01-25 / Accepted 2022-06-09 / Available online 2022-06-09

doi: 10.18540/jcecv18iss3pp14342-01i

**Lucas Benini**

ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-5850-1399>

Universidade Federal Fluminense - UFF, Departamento de Engenharia Mecânica - TEM, Brasil

E-mail: [lucasbenini@id.uff.br](mailto:lucasbenini@id.uff.br)

**Luiza Garcia da Cruz Canellas**

ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-2708-7893>

Universidade Federal Fluminense - UFF, Departamento de Engenharia Mecânica - TEM, Brasil

E-mail: [luizacanelas@id.uff.br](mailto:luizacanelas@id.uff.br)

**Paola de Freitas Borrelli Achtschin**

ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-7509-6578>

Universidade Federal Fluminense - UFF, Departamento de Engenharia Mecânica - TEM, Brasil

E-mail: [paolaborrelli@id.uff.br](mailto:paolaborrelli@id.uff.br)

**José Mauro Moraes Júnior**

ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-0355-2682>

Universidade Federal Fluminense - UFF, Departamento de Engenharia Mecânica - TEM, Brasil

E-mail: [josemoraes@id.uff.br](mailto:josemoraes@id.uff.br)

#### Resumo

Um dos principais produtos utilizados por empresas *offshore* é a árvore de natal molhada (ANM) responsável por controlar o fluxo dos fluidos produzidos ou injetados em poços de petróleo. A montagem dos componentes de uma ANM possui um alto grau de dificuldade, principalmente em algumas etapas, que acabam aumentando significativamente os tempos de montagem (*lead time*) pré-estabelecidos, aumentando os desperdícios na produção. Estes desperdícios repercutem em interrupções na linha de montagem e recursos além do necessário são dedicados à resolução dessas não conformidades. O objetivo do trabalho é aplicar ferramentas do *lean manufacturing* na linha de montagem de uma árvore de natal molhada do tipo horizontal e propor soluções para eliminar os desperdícios identificados. Para isto, o projeto seguiu o seguinte desdobramento: (i) mapeou-se o estado atual do processo de montagem da árvore de natal; (ii) identificou-se os desperdícios; (iii) foram propostas melhorias por meio de aplicação de ferramentas *lean* e (iv) elaborou-se o mapa do estado futuro. Com isto, foi possível concluir que através do mapeamento do fluxo de valor, em conjunto com as implementações de outras ferramentas *lean*, a redução de cerca de 26% do *lead time* da montagem da árvore de natal molhada é possível de ser atingida.

**Palavras-chave:** *Lean manufacturing*. *Offshore*. Árvore de natal molhada, Mapa de fluxo de valor. Linha de montagem.

#### Abstract

One of the main products used by offshore companies is the wet Christmas tree (XT), responsible for controlling the flow of fluids produced or injected into wells. The assembly of the components of a XT has a high degree of difficulty, especially in some stages, which ends up significantly increasing the pre-established lead time, raising the waste in the assembly. This waste led to

*interruptions in the production line and resources beyond necessary are dedicated to the resolution of these non-conformities. The goal of this work is to apply lean manufacturing tools on the assembly line of the horizontal wet Christmas tree and to propose solutions to eliminate all the identified waste. To do so, the project traced the following developments: (i) the current state of the process of assembling the XT was mapped; (ii) waste was identified; (iii) improvements were proposed through the application of lean tools and (iv) the map of the future state was prepared. Therefore, it was possible to conclude that through the mapping of the value flow aligned with the implementations of other lean tools, a reduction of approximately 26% of the lead time of the wet Christmas tree e assembly is possible to be achieved.*

**Keywords:** *Lean manufacturing. Offshore. Christmas tree. Assembly line. Value stream mapping.*

## 1. Introdução

Com a descoberta de novos campos e avanço de tecnologias que viabilizaram a obtenção de óleo e gás por outros meios, como a exploração *offshore*, durante os últimos anos a indústria de petróleo teve um aumento significativo nas atividades de exploração e produção (HASHINAGA, 2019). Em contrapartida, desde o segundo semestre de 2014, os preços do óleo têm declinado acentuadamente, variando de U\$ 114 por barril em julho deste ano a U\$ 46 por barril em janeiro de 2015, e é esperado que continuem com um valor baixo por algum tempo. A indústria de óleo e gás passa por variações cíclicas do preço do petróleo desde seus primórdios e, com isto, sofre com a redução do lucro durante o período que o valor é mais baixo. Por isso, as empresas deste ramo sempre passaram por grandes reestruturações nas estratégias de exploração e produção com foco na redução de custos (PEDROSA e CORREIA, 2016).

Com o mercado cada vez mais competitivo e exigente, não apenas no setor de óleo e gás, como em outras empresas, notaram a importância da redução de custos dos seus produtos (SANT'ANA *et al.*, 2019). Logo, é crescente o investimento em inovação dentro das indústrias para aumentar a capacidade de produção sem perder a qualidade nos seus processos e de forma que seja de baixo custo. Uma das maneiras que as empresas encontraram para reduzir custos e aumentar a qualidade de seus produtos foi por meio da utilização dos conceitos do *lean manufacturing*, ou manufatura enxuta, que é uma filosofia de gestão desenvolvida no século XX pela Toyota (OHNO, 1988; WOMACK e JONES, 1992; GHINATO, 2000). De acordo com Shingo (1996), Ohno (1997) e Rezende *et al.* (2015), a produção enxuta tem como objetivo modificar os processos e procedimentos de modo a atingir o aperfeiçoamento destes por meio da redução ou eliminação de desperdícios. Desperdício é tudo que não cria valor para o cliente, sendo eles: superprodução, espera, transporte, excesso de processamento, inventário, movimento, defeitos, potencial humano. O *lean manufacturing* é atualmente empregado nos mais diversos setores, como na automação, na saúde, na construção civil e na produção de alimentos (OHNO, 1988; KOSKELA 1992; WOMACK e JONES, 2005; KAPPES, 2011; BENINI e BATISTA, 2019; BENINI e BONOTO, 2019).

Um outro setor que pode se beneficiar dos conceitos *lean* é a indústria *offshore*. Uma construção *offshore* corresponde à instalação de estruturas e instalações em um ambiente marinho, geralmente para a produção e transmissão de eletricidade, petróleo, gás e outros recursos. Uma construção petrolífera *offshore* são as estruturas localizadas em alto mar. Elas atuam para a extração de petróleo no oceano e são muito utilizadas em oceanos profundos, com reservas abundantes de petróleo e geralmente afastadas do continente. Devido ao custo de construção de uma plataforma *offshore*, um bem elaborado estudo deve ser realizado sobre a área a ser explorada, pois é preciso compensar o custo da instalação, bem como outros fatores de risco, como os ambientais, por exemplo (O PETRÓLEO, 2017).

Os benefícios da implementação das ferramentas do *lean manufacturing* no setor *offshore* foram destacados por Bonafé e Cardoso (2012) e De Souza *et al.* (2016). No trabalho de Bonafé e Cardoso (2012) foi possível reduzir inventário de materiais e o *lead time*, trazendo uma economia R\$ 300.000,00 num único mês. No projeto apresentado por De Souza *et al.* (2016), os desperdícios reduzidos contribuíram para a diminuição em cerca de 57% do tempo para o processo de

*Manufacturing Record Databook* (MRB), que é responsável pela liberação da documentação de peças necessária para montagem da árvore de natal molhada (ANM). Diversos componentes fazem parte da construção *offshore*, sendo a árvore de natal molhada um dos principais. Segundo apresentado pela Petrobrás (2015), a árvore de natal molhada corresponde a um conjunto de válvulas operadas remotamente que controlam o fluxo dos fluidos produzidos ou injetados no poço. Quando a exploração de hidrocarboneto ocorre *onshore* (a nível do mar), ela é classificada como árvore de natal seca (ANS), e quando a exploração ocorre *offshore* (poço marítimo) ela é classificada como árvore de natal molhada (ANM) (GE REPORTS BRASIL, 2016).

Um das empresas setor *offshore* – denominada neste trabalho como Empresa X – localizada no Rio de Janeiro, que é responsável por fornecer ANM para multinacionais como a Shell, a Petrobrás e a ExxonMobil, observou a necessidade de reduzir o *lead time* durante o processo de montagem da árvore de natal molhada horizontal. A montagem de uma ANM possui inúmeras etapas, sendo algumas de alta complexidade, o que leva ao aumento dos desperdícios durante a produção e dos tempos de montagem (*lead time*) pré-estabelecidos. A Empresa X abordada neste trabalho oferece diferentes modelos de árvore de natal de acordo com as demandas de cada projeto. Observou-se que existe pouca experiência na produção de ANM modelo horizontal, cuja confecção na fábrica brasileira foi iniciada recentemente, tratando-se de um modelo mais novo e de menor familiaridade. Além disso, retrabalhos são realizados frequentemente neste modelo de ANM, os quais são resultado dos desperdícios presentes no processo. Esta situação acarreta em interrupções na linha de montagem e na utilização de recursos em atividades que não agregam valor para o produto final. O objetivo deste trabalho é aplicar ferramentas do *lean manufacturing* na linha de montagem de uma árvore de natal molhada (ANM) modelo horizontal, em uma empresa do segmento *offshore*. Busca-se identificar os desperdícios envolvidos nas etapas de montagem da ANM e propor melhorias de forma a reduzir o *lead time* total da produção estudada.

## 2. Árvore de Natal Molhada (ANM)

A árvore de natal molhada (ANM) é empregada para a produção de hidrocarbonetos localizados em poços de grande profundidade marítima, sendo capaz de operar a altas pressões e a diferentes faixas de temperatura ambiente (PETROBRAS, 2015). Acima dos poços produtores de petróleo estão localizados os equipamentos denominados cabeças de poço. Estes equipamentos são ligados às ANMs, onde se encontram as válvulas que controlam o fluxo de saída e de entrada de fluidos nos poços. As ANM's são montadas completamente fora da água e então mergulhadas, em virtude do seu tamanho. Após instaladas, apenas veículos submarinos operados remotamente podem realizar e supervisionar montagens e reparos devido a profundidade das águas (ZHANG *et al.*, 2013). Uma ANM é constituída por um conjunto de válvulas que atuam totalmente abertas (permitindo passagem do fluido) ou fechadas (impedindo a passagem do fluido), linhas de fluxo e um sistema conectado a um painel de controle encontrado na unidade de produção para sua operação caso haja necessidade de intervenção (GARCIA, 1999). As ANM's possuem duas classificações – que não alteram significativamente seu desempenho, sendo uma determinação do cliente dado suas preferências dentro do projeto – definidas a partir da posição das válvulas dentro do conjunto: Árvore de Natal Vertical (VXT) (válvulas localizadas verticalmente dentro do conjunto da árvore) e a Árvore de Natal Horizontal (HVT) (válvulas localizadas horizontalmente dentro do conjunto da árvore). A Figura 1 apresenta estes tipos de ANM.



**Figura 1 – Tipos de Árvore de Natal Molhada (ONESUBSEA, 2020).**

Os principais componentes da ANM são:

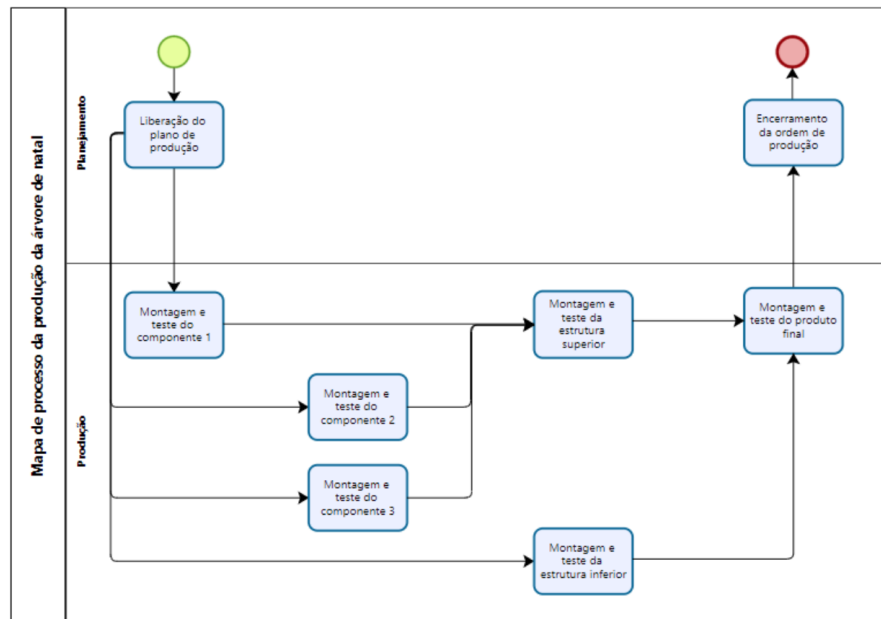
- **Conector:** serve para travar a ANM à cabeça de poço e possui um indicador visual que permite verificar se ele está travado ou destravado (no momento da instalação, ele deve ser encaixado à cabeça de poço destravado, sendo travado à mesma uma vez que estiver posicionado corretamente) (PAULO e SILVA, 1994);
- **Estrutura guia:** conforme explicado por Paulo e Silva (1994), ela é formada por um anel central acoplado ao conector, por braços para suportar os funis guia e por funis guia;
- **Bloco de válvulas:** o bloco de válvula inclui uma passagem para produção, com válvulas tipo gaveta, e acesso lateral às linhas de controle de um sistema secundário e à válvula de segurança, havendo válvulas de isolamento preparadas para serem operadas pelo ROV. Há válvulas dedicadas para a linha de produção (formada por tubos responsáveis por conduzir o hidrocarboneto) e para o teste da linha de produção e válvulas dedicadas às linhas anular (formada pela tubulação anular, que circunda a tubulação de produção, de modo a haver um espaço entre as duas por onde passa o líquido anular) e *crossover* (conecta a linha de produção à linha anular) (PAULO e SILVA, 1994);
- **Flow lines:** consistem em *loops* para a linha de produção, além de haver um *loop* para linha anular que possui uma extremidade em flange, a qual permite a montagem deste *loop* ao Bloco de Válvulas (PAULO e SILVA, 1994).

### 3. Metodologia

A estratégia de pesquisa deste trabalho é definida como estudo de caso exploratório, pois aborda situações em que o fenômeno avaliado não possui um conjunto claro e único de resultados, aplicando-se a estudos com poucas referências de literatura e pesquisa anteriores (YIN, 2001) - como é o caso da utilização de ferramentas *lean* na indústria *offshore*. Como todo o processo da produção de árvores de natal molhadas na Empresa X é confidencial, todos os dados coletados foram multiplicados por coeficientes. Os itens que formam a árvore de natal molhada também tiveram seus nomes modificados para Componente 1, Componente 2, Componente 3, Estrutura Superior e Estrutura Inferior a fim de manter o segredo industrial e não expor de nenhuma forma como se dá a montagem de algum produto.

Primeiramente, foi determinado o modelo de árvore de natal molhada que seria usado como base na análise do fluxo de valor. Escolheu-se o modelo de árvore horizontal, por ser o mais recente produzido pela Empresa X na planta brasileira e, assim, por haver pouca familiaridade na linha de produção. Além disso, observando relatórios de projetos de ANM passados, foi possível observar que os projetos do modelo de árvore estudado eram os que mais apresentavam problemas e retrabalhos. Desta forma, determinou-se os limites de contorno deste estudo de caso. Estipulou-se coincidir o início da produção da árvore com o início do mapa de fluxo de valor, que se dá na produção do Componente 1. O estudo foi finalizado quando foi montado o corpo do Produto Final, ou seja, quando a Estrutura Superior foi montada à Estrutura Inferior. Portanto, quaisquer montagens

ou testes posteriores a esta etapa foram ignorados, uma vez que as etapas de maior interesse e que concentravam mais oportunidades de melhoria já seriam abordadas. Desta forma, delimitou-se os limites de contorno deste estudo de caso. Decidiu-se coincidir o início da produção da árvore com o início do mapa de fluxo de valor (MFV) do estado atual, que se dá na produção do Componente 1. O estudo foi finalizado quando foi montado o corpo do Produto Final, ou seja, quando a Estrutura Superior foi montada à Estrutura Inferior. Portanto, quaisquer montagens ou testes posteriores a esta etapa foram ignorados, uma vez que as etapas de maior interesse e que concentravam mais oportunidades de melhoria já seriam abordadas. O corpo da árvore de natal molhada (o Produto Final) é formado a partir da montagem da Estrutura Superior na Estrutura Inferior. A Estrutura Superior, por sua vez, é formada pela montagem dos Componentes 2 e 3 no Componente 1, envolvendo montagens e testes complementares após a combinação dos Componentes 1, 2 e 3. A Figura 2, apresenta Diagrama de Processos da produção da ANM.



**Figura 2 – Diagrama de Processos da produção da Árvore de Natal Molhada.**

A coleta de dados foi realizada tanto remotamente, quanto presencialmente, tendo em vista o risco de estar presente na linha da produção com frequência por conta da pandemia causada pelo COVID-19. Em relação à coleta de dados remota, foi possível determinar o início e fim de cada etapa de montagem e de teste de todos os itens, bem como acompanhar qualquer interrupção que ocorreu na linha de produção e o motivo desta interrupção. Isto foi possível por meio do diálogo constante com os colaboradores da produção e também por meio do acompanhamento de relatórios digitais diários apresentando detalhes de cada etapa. Presencialmente, pôde-se dialogar com operadores, supervisores e engenheiros para entender os sucessos e oportunidades de melhoria ao longo de todo o projeto. Dessa forma, cronometrou-se a duração de cada montagem e de cada teste, além do intervalo entre todas as etapas, definindo assim o tempo de agregação de valor (AV) e o tempo de não agregação de valor (NAV). A Figura 3 detalha duas etapas do MFV atual, apresentando os símbolos envolvidos e a organização típica do mapa. O tempo total de processamento foi calculado de acordo com a Equação 1.

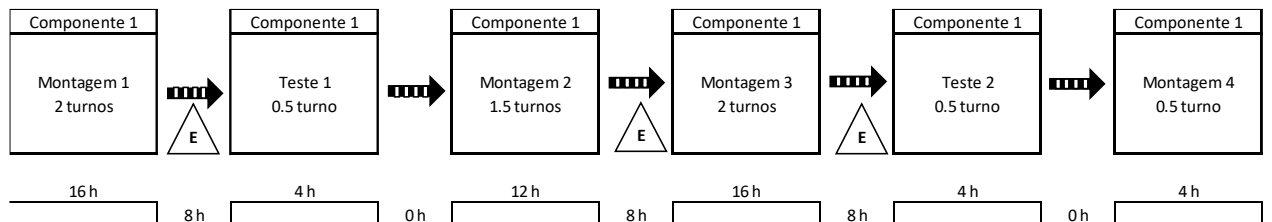
$$AV = \sum_n^i AV_i = AV_1 + AV_2 + \dots + AV_n \quad (1)$$

O tempo de atividades que não agregam valor foi calculado segundo a Equação 2:

$$NAV = \sum_n^i NAV_i = NAV_1 + NAV_2 + \dots + NAV_n \quad (2)$$

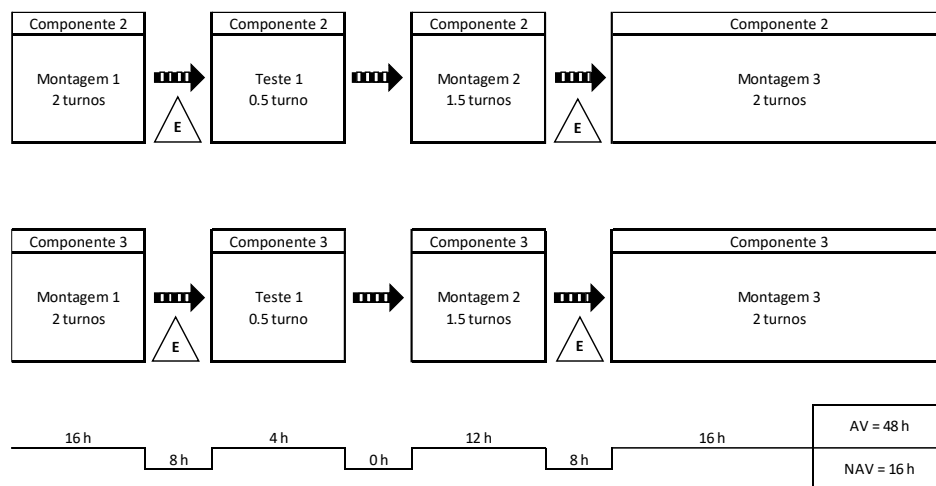


A Figura 5 mostra a sequência de montagem e teste de funcionamento do Componente 1 - ampliação do detalhe (a) da Figura 3. É possível observar na Figura 4 que todos os turnos foram totalmente aproveitados durante a produção deste item. Isto significa que as horas entre turnos sempre somam 8 h, o que indica que nas 16 h disponíveis havia atividades sendo realizadas. O Componente 1 é o maior componente da ANM. Por este motivo este componente possui mais etapas de montagem e de testes que os demais. Considerando toda a estrutura da ANM, a produção do Componente 1 é padronizada, independentemente do tipo do projeto. Portanto, possui menos não conformidades associadas, dado a experiência que a fábrica possui com este componente.



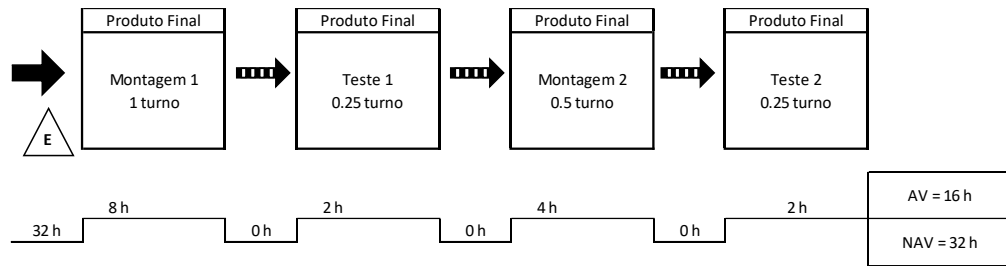
**Figura 5 – Montagens e testes do Componente 1 da ANM.**

A Figura 6 mostra a montagem do Componente 2 e do Componente 3 (detalhe (b) da Figura 3) que somam 48 h de atividades que agregam valor (AV) e 16 h que não agregam valor (NAV). Assim como o Componente 1, estes itens possuem uma produção padronizada e com a qual a fábrica possui familiaridade, sofrendo poucas alterações de projeto para projeto. Consequentemente, todos os turnos também foram totalmente aproveitados, sem que nenhuma não conformidade impactasse de maneira significativa na produção. Ambos os componentes são de menor porte e são posteriormente montados à Estrutura Superior. Em virtude da extensão do processo de montagem, optou-se neste trabalho detalhar apenas as montagens dos Componentes 1, 2 e 3. Apesar disto, os desperdícios apresentados abordam a montagem de todos os componentes da ANM.



**Figura 6 – Montagens e testes dos Componentes 2 e do Componente 3 da ANM.**

A Figura 7 destaca todas as atividades do Produto Final. Por ser a parte final da montagem da árvore de natal molhada, possui um processo mais padronizado. Além disso, o Produto Final é formado pela montagem da Estrutura Superior na Estrutura Inferior, possuindo menos etapas críticas de montagem e teste.



**Figura 7 – Montagem e teste do Produto Final da ANM.**

Portanto, são encontrados menos gargalos tanto entre os turnos quanto durante as atividades. Mesmo que se trate de uma execução mais simples, é onde mais deve haver cautela no que diz respeito à segurança dos operadores por envolver içamento de estruturas bastante pesadas. Além de ter que deslocar a Estrutura Inferior e a Estrutura Superior para a área onde o Produto Final será montado, a Estrutura Superior fica içada por um longo período de tempo durante o seu alinhamento na Estrutura Inferior. No total, o tempo de atividades que agregam valor (AV) segundo o MFV é de 16 h e o tempo de atividades que não agregam valor (NAV) é de 32 h, ou seja, o dobro do tempo de produção.

**4.1 Desperdícios identificados**

A Tabela 1 resume os desperdícios identificados ao longo de todo processo de montagem da ANM. Foram identificados 4 dos 8 desperdícios abordados pelo *lean manufacturing*; sendo que a produção das estruturas inferior e superior é onde se concentram os maiores números de desperdícios.

**Tabela 1 – Desperdícios Identificados.**

Desperdício identificado	Etapa de montagem	Ferramenta <i>lean</i> sugerida para eliminar ou minimizar o desperdício	Autores que recomendam ferramentas <i>lean</i> de acordo com o desperdício identificado	
Espera	Componente 1	Diagrama de <i>Spaguetti</i>	Vieira (2020)	
	Componente 2	Diagrama de <i>Spaguetti</i>	Vieira (2020)	
	Componente 3	Diagrama de <i>Spaguetti</i>	Vieira (2020)	
	Estrutura Inferior		<i>Kaizen</i>	Araújo e Rentes (2006)
			5S	Silva (2017)
			<i>Poka-Yoke</i>	Santos e Pierre (2015)
			Trabalho Padronizado	Lopes (2012)
			Espinha de Peixe	Fornani Júnior (2010)
			5 Por Quês	Almeida <i>et al.</i> (2018)
			Relatório A3	Herculiani e Culchesk (2016)
	Diagrama de <i>Spaguetti</i>	Vieira (2020)		
	<i>Kanban</i>	Leite <i>et al.</i> (2004)		
Movimentação desnecessária	Componente 1	Diagrama de <i>Spaguetti</i>	Vieira (2020)	
	Componente 2	Diagrama de <i>Spaguetti</i>	Vieira (2020)	
	Componente 3	Diagrama de <i>Spaguetti</i>	Vieira (2020)	
	Estrutura Superior		( <i>Gemba</i> ) <i>Kaizen</i>	Araújo e Rentes (2006)
			Diagrama de <i>Spaguetti</i>	Vieira (2020)
	Estrutura Inferior		( <i>Gemba</i> ) <i>Kaizen</i>	Araújo e Rentes (2006)
			Diagrama de <i>Spaguetti</i>	Vieira (2020)
5S			Silva (2017)	



	Produto Final	Diagrama de <i>Spaguetti</i>	Vieira (2020)
Defeito	Estrutura Superior	<i>(Gemba) Kaizen</i>	Araújo e Rentes (2006)
		Espinha de Peixe	Fornani Júnior (2010)
		5 Por Quês	Almeida <i>et al.</i> (2018)
	Estrutura Inferior	<i>(Gemba) Kaizen</i>	Araújo e Rentes (2006)
		Relatório A3	Herculiani e Culchesk (2016)
		5S	Silva (2017)
		Espinha de Peixe	Fornani Júnior (2010)
		5 Por Quês	Almeida <i>et al.</i> (2018)
	<i>Poka-Yoke</i>	Santos e Pierre (2015)	
	Trabalho Padronizado	Lopes (2012)	
<b>Desperdício identificado</b>	<b>Etapa de montagem</b>	<b>Ferramenta <i>lean</i> sugerida para eliminar ou minimizar o desperdício</b>	<b>Autores que recomendam ferramentas <i>lean</i> de acordo com o desperdício identificado</b>
Potencial Humano	Estrutura Superior	Espinha de Peixe	Fornani Júnior (2010)
		<i>Kanban</i>	Leite <i>et al.</i> (2004)
		5 Por Quês	Almeida <i>et al.</i> (2018)
	Estrutura Inferior	Espinha de Peixe	Fornani Júnior (2010)
		<i>Kanban</i>	Leite <i>et al.</i> (2004)
		5 Por Quês	Almeida <i>et al.</i> (2018)
		Relatório A3	Herculiani e Culchesk (2016)

Em virtude da extensão dos desperdícios identificados, optou-se neste trabalho abordar somente o desperdício de espera e movimentação desnecessária ao longo da montagem da ANM, e sugerir as respectivas ferramentas do *lean manufacturing* para diminuir/eliminar este tipo de desperdício. O desperdício de espera foi identificado nas seguintes etapas:

**Montagem 1 (etapa I) da Estrutura Inferior e Teste 16 e Teste 17 da Estrutura Superior:** devido à falta de materiais na sua respectiva etapa de montagem ou teste, o processo teve de ser interrompido para aguardar a chegada dos itens necessários. Uma possível ferramenta para reduzir este desperdício é o *Kaizen*, que tem como propósito a melhoria contínua do processo envolvendo pessoas ou equipes de diferentes áreas. Já o objetivo da implementação do 5S seria organizar a fábrica de tal forma que não seja necessário nem permitido haver troca de itens entre projetos diferentes, pois se um projeto está com falta de algum material e esta falta é suprida com o material de outro projeto, a probabilidade de que este segundo projeto sofra da mesma falta é muito alta;

**Montagem 1 (etapa k) da Estrutura Inferior:** por conta de interface inadequada entre componentes fabricados pela própria empresa, esta montagem teve de ser interrompida para aguardar a correção destes componentes. Portanto, sugere-se o uso de *Poka-Yoke* para prevenir que estes tipos de erros se propaguem até a linha de montagem, sendo identificados o mais cedo possível. Isso seria possível por meio de um alinhamento entre projetistas, engenheiros e montadores enquanto o projeto ainda estiver em fase de desenho, para que todos possam oferecer suas experiências ao analisar todo o desenho em busca de possíveis erros ou falhas. Além disso, vê-se a necessidade do Trabalho Padronizado para que o fluxo do processo garanta que o *Poka-Yoke* seja utilizado na etapa correta no desenvolvimento do produto;

**Teste 18 da Estrutura Superior e Teste 4 e Teste 5 da Estrutura Inferior:** a não execução de etapas necessárias para atender a requisitos de teste impediu que eles fossem executados no momento planejado, gerando atraso. Neste caso, viu-se a necessidade de investigar o motivo de essas etapas não terem sido realizadas, portanto as ferramentas ideais seriam a Espinha de

Peixe, que permite um panorama de causa e efeito, ou os 5 Por Quês, que auxilia na investigação da causa raiz do problema. Uma vez diagnosticada a causa raiz desta não conformidade, é possível traçar um plano de ação para eliminá-la;

**Montagem 13 e Teste 8 da Estrutura Inferior:** devido à especificação incorreta do material de itens a serem montados, os mesmos não atenderam aos requisitos de teste e impossibilitaram sua realização, gerando interrupção da linha de montagem enquanto o retrabalho ocorre. Portanto, enxerga-se a necessidade de um Relatório A3, pois ele possibilita tanto entender a causa raiz deste problema como também traçar um plano de ação para mitigar esta causa raiz. A ferramenta também possibilita o acompanhamento das melhorias implementadas, o que permite verificar se o problema foi sanado conforme o plano de ação traçado;

**Montagem 1(etapa j) da Estrutura Inferior:** tubos de instrumentação hidráulica estocados em condições ruins apresentavam corrosão no momento que chegaram para serem instalados na Estrutura Inferior, acarretando na interrupção da instalação de instrumentação para aguardar os tubos retrabalhados ou a substituição por novos tubos. Sendo assim, enxerga-se necessário realizar um 5S no almoxarifado para organizar o espaço, manter a área limpa, armazenar somente os itens necessários, padronizar inspeções de itens que não estejam conformes e disciplinar os funcionários para preservar o ambiente desta maneira, para assim garantir que todas as condições necessárias para o armazenamento adequado de tubos sejam alcançadas;

**Entre Montagem 1 (etapa i) e Montagem 1 (etapa j) da Estrutura Inferior:** como o produto chegou diferente do solicitado no desenho enviado ao fornecedor, houve a interrupção da linha de produção para aguardar o produto substituto. Mostra-se necessário a realização de 5S a fim de auxiliar na uma assertividade de inspeção de todos os itens que são recebidos de fornecedores, facilitando que quaisquer defeitos sejam diagnosticados no produto antes que ele chegue à linha de produção;

**Montagem 2 do Componente 1, Montagem 3 do Componente 1, Montagem 3 do Componente 3, Teste 6 da Estrutura Inferior, Teste 18 da Estrutura Superior e Montagem 1 do Produto Final:** o desperdício resulta do deslocamento excessivo e de longo tempo de pessoas estratégicas até a linha de montagem. Estas pessoas são responsáveis pela resolução de problemas encontrados durante todo o processo, portanto a linha de produção deve aguardar a sua chegada para direcionarem o que deve ser feito, permitindo o prosseguimento das atividades. A ferramenta que seria adequada para este caso é o Diagrama de *Spaghetti* pois ela viabiliza o mapeamento de toda a movimentação que não é necessária durante um processo e com isto, apresentar de maneira visual que as pessoas estratégicas precisam ficar mais próximas à linha de produção;

**Entre o Teste 7 e a Montagem 13 da Estrutura Inferior:** falta de ferramentas próximas aos montadores, fazendo-os se deslocar à procura de uma para realizar suas atividades. Essa situação gerou o desperdício de espera, uma vez que o operador parou de executar uma atividade que agregava valor enquanto estava à procura da ferramenta necessária para enfim dar continuidade ao processo. Portanto, as ferramentas sugeridas são o Diagrama de *Spaghetti* que, conforme explicado anteriormente, é fundamental para a visualização de deslocamentos dispensáveis para o operador e o 5S, uma vez que organizará o local de montagem de forma que possibilitará trazer as ferramentas mais próximas do montador e utilizá-las no momento exato em que for necessário;

**Entre o Teste 4 e o Teste 5 da Estrutura Inferior e no Teste 3 da Estrutura Superior:** determinadas melhorias detectadas anteriormente, como criação de furos para içamento de estruturas e criação de roscas em furos de fixação, não foram implementadas nos devidos itens antes de sua montagem, fazendo com que algumas dificuldades ou defeitos se repetissem na linha de produção. Dessa forma, o retrabalho que teve de ser executado pelos dos montadores os ocupou de modo a parar a linha de montagem. Portanto, sugere-se o uso das ferramentas Espinha de Peixe para entender a causa raiz que levou a não implementação dessas melhorias e *Kanban* para organizar visualmente todas as atividades a serem realizadas, garantindo que nenhuma seria ignorada.

O desperdício de movimentação desnecessária ocorreu nas seguintes etapas:

- **Montagem 1(m) da Estrutura Inferior:** a falta de acesso para soldagem fez com que o soldador tivesse de testar diferentes posições ao redor de toda a Estrutura Inferior - levando consigo todo o equipamento de solda - a fim de encontrar algum acesso adequado para realizar a soldagem. Acredita-se que a melhor ferramenta seja a mesma sugerida no primeiro caso citado acima: um *Kaizen* por meio da realização de um *checklist* de todas as etapas de montagem e teste para ser preenchido após a escrita do procedimento operacional padrão, a fim de garantir que a sequência está correta e que todas as etapas foram incluídas. No caso, deveriam ser adicionadas a este *checklist* etapas de soldagem (para que se estude se o acesso é possível na sequência em que tudo foi escrito);
- **Montagem 2 do Componente 1, Montagem 3 do Componente 2, Montagem 3 do Componente 3, Teste 6 da Estrutura Inferior, Teste 18 da Estrutura Superior e Montagem 1 do Produto Final:** o deslocamento excessivo e de longo tempo de pessoas estratégicas até a linha de montagem pois estão distantes da mesma durante a produção de todos os itens. Estas pessoas são responsáveis pela resolução de problemas encontrados durante a produção, de modo que é comum serem acionadas com frequência. Portanto, o trajeto percorrido e o tempo para a locomoção dessas pessoas acabam gerando um atraso para a continuidade da montagem. A ferramenta que seria adequada para este caso é o Diagrama de *Spaghetti* pois ela viabiliza o mapeamento de toda a movimentação que não é necessária durante um processo e, com isto, apresenta de maneira visual que as pessoas estratégicas precisam ficar mais próximas à linha de produção;
- **Entre o Teste 7 e a Montagem 13 da Estrutura Inferior:** a falta de ferramentas próximas aos montadores obrigou-os a interromper suas atividades para se deslocar à procura da ferramenta que os permitiria executar suas tarefas. Assim, o operador precisou se deslocar até conseguir achar a ferramenta necessária, a qual geralmente encontra-se distante do local da montagem. Portanto, as ferramentas sugeridas são o Diagrama de *Spaghetti*, que, conforme explicado anteriormente, é fundamental para a visualização de deslocamentos dispensáveis para o operador, e o 5S, uma vez que organizará o local de montagem de forma que possibilitará trazer as ferramentas mais próximas do montador e utilizá-las no momento exato em que for necessário;
- **Entre a Montagem 1(d) e a Montagem 1(e) da Estrutura Inferior e na Montagem 2, no Teste 4 e no Teste 5 da Estrutura Superior:** a falta de acesso ou dificuldade de acesso para utilizar uma ferramenta fez com que o montador precisasse procurar diversas posições diferentes no equipamento para utilizar a ferramenta de forma adequada. Logo, a ferramenta *Kaizen* seria de muita importância pois melhoraria o entendimento dos processos que ocorrem no chão de fábrica para os engenheiros que desenvolvem o produto e incentivaria um melhor alinhamento entre a engenharia e a produção para analisarem acesso de ferramentas antes da montagem dos componentes.

#### 4.2 Tempo de atividades que não agregam valor na montagem da ANM

A Tabela 2 resume os desperdícios identificados durante as etapas de produção do Componente 1, do Componente 2, do Componente 3, da Estrutura Inferior, da Estrutura Superior e do Produto Final com seus respectivos resultados das horas de valor não agregado com base nos problemas citados anteriormente. A Estrutura Inferior foi o item em que se observou maior oportunidade de melhorias, visto que 200 h são de atividades que não agregam valor ao cliente. Entende-se que, por se tratar de um item de grande complexidade no que diz respeito à montagem, e por possuir grandes proporções, é onde se concentra a maior quantidade de desperdícios.

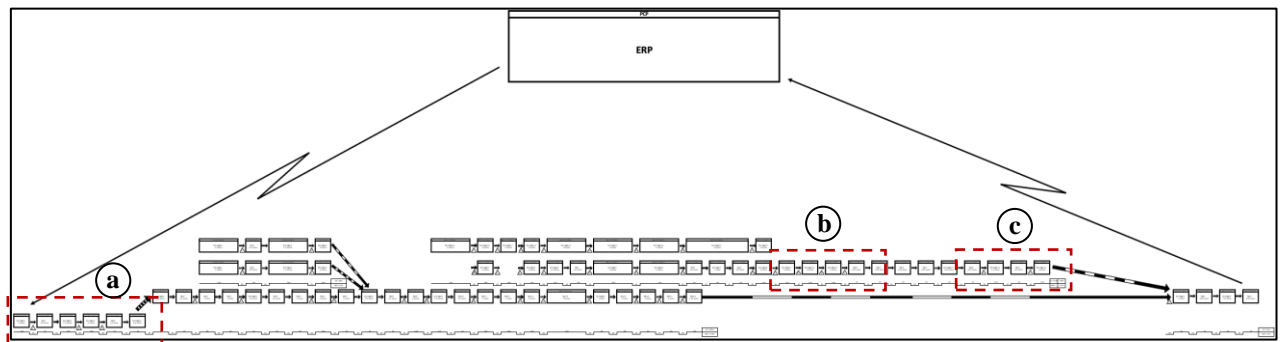
**Tabela 2 – Desperdícios encontrados na produção de cada item e o tempo total de valor não agregado.**

Itens	Desperdícios Encontrados	Tempo Total de Valor Não Agregado
Componentes 1, 2 e 3	Movimentação Desnecessária e Espera	2 h
Estrutura Inferior	Defeito, Espera, Movimentação Desnecessária e Potencial Humano	200 h
Estrutura Superior	Defeito, Espera, Movimentação Desnecessária e Potencial Humano	54 h
Produto Final	Movimentação Desnecessária e Espera	2 h

É importante ressaltar que na Tabela 2 o tempo total de valor não agregado nos Componentes 1, 2 e 3, na Estrutura Superior e no Produto Final está diretamente relacionado às intercorrências listadas nos desperdícios de Espera, de Movimentação Desnecessária, de Defeito e de Potencial Humano. Por outro lado, o tempo total mostrado na Estrutura Inferior é formado tanto pelas intercorrências, que somam 144 h neste item, quanto pela existência de horas entre turnos dos dias de inatividade completa ou parcial segundo o MFV, que somam 56 h. Das 144 h resultantes dos desperdícios, 66 h já foram diagnosticadas no MFV como a soma de horas de inatividade (dentro do horário de funcionamento da fábrica), restando assim 78 h de desperdício dentro das etapas de montagem e teste realizadas na Estrutura Inferior.

#### 4.3 Mapa do estado futuro

O MFV do estado futuro foi elaborado baseando-se nas horas totais de valor não agregado segundo o MFV do estado atual e nas oportunidades de melhoria identificadas através da observação das atividades na linha de produção. Tendo em vista que os Componentes 1, 2 e 3 e o Produto Final teriam apenas uma redução de 2 h no tempo total de horas que agregam valor, foi estipulado não alterar as atividades destes componentes no MFV, de modo que o tempo total permanecerá o mesmo tanto para as horas que agregam valor quanto para as horas que não agregam valor. A Figura 8 apresenta o MFV do estado futuro, que será fragmentado em detalhes nas figuras subsequentes.



**Figura 8 – Mapa de Fluxo de Valor do Estado Futuro da montagem da ANM horizontal: (a) montagem do Componente 1, (b) e (c) montagem e teste da Estrutura Inferior**

A Figura 9 traz a produção do Componente 1 no MFV do estado futuro - detalhe (a) da Figura 8. Uma vez que foram identificadas apenas 2 h de horas que não agregam valor durante a Montagem 2, resultantes dos desperdícios de Espera e de Movimentação Desnecessária, não se avaliou necessário modificar esta sequência de atividades. Neste caso, ao invés da Montagem 2 ter uma duração de 12 h, ela teria uma duração de 10 h.

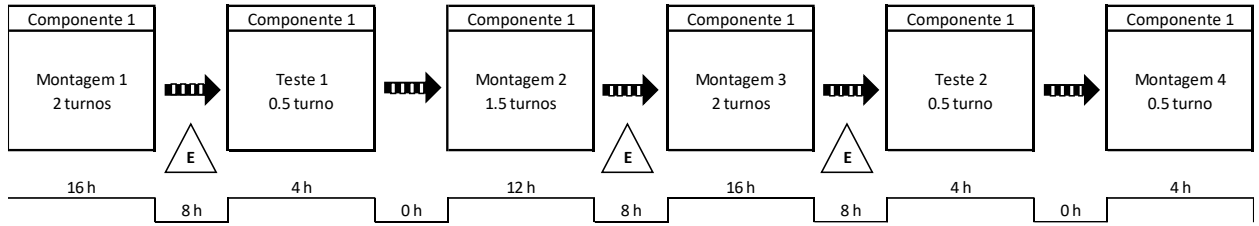


Figura 9 – Montagem e teste do Componente 1 da ANM – MFV estado futuro.

A Figura **Figura10** e a Figura 11 apresentam as etapas finais da Estrutura Inferior, da Montagem 11 à Montagem 15 -detalhes (b) e (c) da Figura 8. O Teste 4 e o Teste 5 foram reduzidos em 50% com a eliminação dos desperdícios de Espera, de Defeito e de Potencial Humano. Já o Teste 6 também foi reduzido em 50% a eliminação dos desperdícios de Espera e de Movimentação Desnecessária. A Montagem 13 foi reduzida em 6 h com a mitigação do desperdício de Espera, de Defeito e de Potencial Humano.

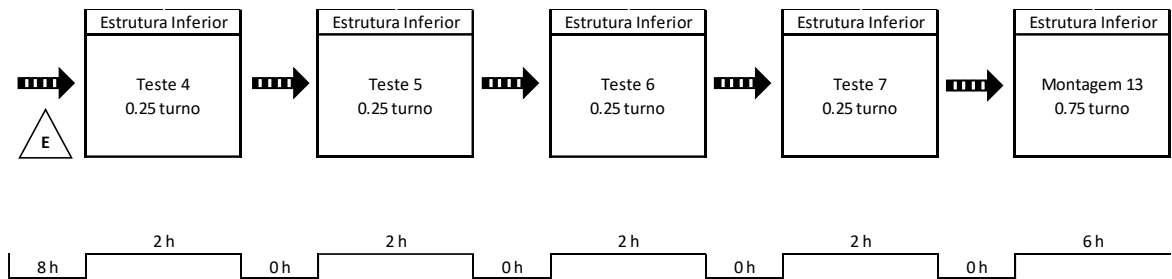


Figura 10 – Montagem e teste da Estrutura Inferior (Teste 4 até a Montagem 13) da ANM – MFV estado futuro.

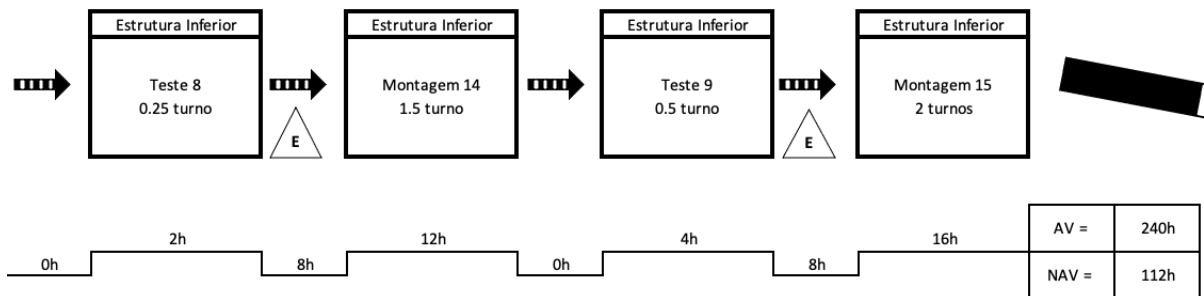


Figura 11 – Montagem e teste da Estrutura Inferior (Teste 8 até a Montagem 15) da ANM – MFV estado futuro.

O Teste 8 foi reduzido em 2 h com a mitigação dos desperdícios de Espera, de Defeito e de Potencial Humano. Além disso, as 20 h e as 14 h de intervalo que estavam presentes, respectivamente (entre o Teste 4 e o Teste 5 e entre o Teste 7 e a Montagem 13) foram reduzidos às 8 h esperadas entre turnos. Entre o Teste 4 e o Teste 5 foi eliminado o desperdício de Espera, de Defeito e de Potencial Humano. Entre o Teste 7 e a Montagem 13 foi eliminado o desperdício de Espera, de Defeito e de Movimentação Desnecessária. Sendo assim, foram reduzidas 78 h das horas que agregam valor (AV) da produção da Estrutura Inferior e 128 h das horas que não agregam valor (NAV). O Teste 8 foi reduzido em 2 h com a mitigação dos desperdícios de Espera, de Defeito e de Potencial Humano. Além disso, as 20 h e as 14 h de intervalo que estavam presentes, respectivamente (entre o Teste 4 e o Teste 5 e entre o Teste 7 e a Montagem 13) foram reduzidos às 8 h esperadas entre turnos. Entre o Teste 4 e o Teste 5 foi eliminado o desperdício de Espera, de

Defeito e de Potencial Humano. Entre o Teste 7 e a Montagem 13 foi eliminado o desperdício de Espera, de Defeito e de Movimentação Desnecessária. Sendo assim, foram reduzidas 78 h das horas que agregam valor (AV) da produção da Estrutura Inferior e 128 h das horas que não agregam valor (NAV).

A Tabela 3 mostra a comparação dos valores obtidos nos mapas do estado atual e do estado futuro. Pode-se observar que, com a aplicação das propostas de eliminação de desperdício, o *lead time* do processo de montagem da ANM pode ser reduzido em aproximadamente 26%. Isto evidencia o quanto os desperdícios presentes na linha de produção impactam no *lead time* do produto final, além de expor os benefícios envolvidos na implementação das ferramentas *lean*.

**Tabela 3 – Comparação entre o *lead time* do MFV estado atual e do estado futuro.**

MFV	AV	ANV	<i>Lead time</i>
Estado atual	702 h	450 h	1152 h
Estado futuro	570 h	288 h	858 h

## 5. Conclusões

Este trabalho efetuou o mapeamento do fluxo de valor (MFV) do estado atual e estado futuro de uma linha de montagem de uma árvore de natal molhada (ANM) em uma empresa *offshore*. Com os resultados alcançados, conclui-se que:

- A elaboração do MFV do estado atual facilitou a identificação dos desperdícios e das etapas que apresentavam gargalo na linha de montagem da ANM. Com isto, viu-se que as Estruturas Inferior e Superior por se tratar de montagens mais complexas, foram as que apresentaram maior quantidade de desperdícios e oportunidade de melhorias.
- Através dos dados obtidos para a realização do MFV e a sua análise, foram identificados os desperdícios de defeito, movimentação desnecessária, espera e potencial humano. Já para a proposição de melhorias foram recomendadas diferentes ferramentas *lean*, com o intuito de padronizar o processo, melhorar a gestão visual das atividades, entender as causas raízes dos problemas, implementar as melhorias de forma mais simples e organizada, de maneira contínua e com a contribuição de todos os funcionários da empresa;
- A implementação das ferramentas *lean* sugeridas podem permitir a redução significativa dessas atividades que não agregam valor para o produto final. No caso do processo de montagem da árvore de natal molhada, essa redução pode ser de 26%;
- Com a elaboração do MFV do estado futuro é possível estimar o *lead time* de 622 h na produção da ANM horizontal por meio de melhorias relativamente simples e de baixo custo.

## Referências

- Almeida, L. C. *et al.* (2018). BPMN e ferramentas da qualidade para melhoria de processos: um estudo de caso. *Gepros: Gestão da Produção, Operações e Sistemas*, v. 14, n. 4, p. 156.
- Bonafé, P., Cardoso, A. A. (2012) Gestão *Lean* na linha de montagem de uma indústria multinacional do ramo petrolífero. *E-xacta*, v. 5, n. 2.
- Benini, L., Batista, F. R. R. (2019). Aplicação da filosofia *lean service* para a otimização do processo de serviço de uma empresa Júnior de consultoria, *The Journal of Engineering and Exact Sciences*: v. 5 n. 4 <https://doi.org/10.18540/jcecvl5iss4pp0325-0337>.
- Benini, L., Bonoto, A. F. (2019). Análise do fluxo de valor da produção de iogurte em uma empresa de laticínios na Zona da Mata/MG, *The Journal of Engineering and Exact Sciences*: v. 5 n. 4 <https://doi.org/10.18540/jcecvl5iss4pp0357-0366>.

- De Souza, A. B. *et al.* (2016) Melhoria e gestão do processo do *Manufacturing Record Databook* (MRB) em uma empresa na área de óleo de gás com uso do *Business Process Management* (BPM). *Memorial TCC Caderno da Graduação*, v. 2, n. 1, p. 242-259.
- Fornani Júnior, C. C. M. F. (2010). Aplicação da Ferramenta da Qualidade (Diagrama de Ishikawa) e do PDCA no Desenvolvimento de Pesquisa para a reutilização dos Resíduos Sólidos de Coco Verde. *INGEPRO – Inovação, gestão e produção*, v. 2, n. 9, p. 104-112.
- Garcia, J. E. L. (1999). Árvore de natal molhada. *Rio de Janeiro: Apostila da PETROBRAS/EePBC/GEPRO/GENPO/GOSUP*.
- GE Reports Brasil (2016). Conheça as árvores de natal, superequipamentos para a extração de petróleo e gás. Disponível em: <<https://gereportsbrasil.com.br/conhe%C3%A7as-%C3%A1rvores-de-natal-superequipamentos-para-a-extra%C3%A7%C3%A3o-de-petr%C3%B3leo-e-g%C3%A1s-c05fb9af13be>> Acesso em: novembro de 2021.
- Ghinato, P. (2000). *Produção e competitividade: aplicações e inovações*. Recife: Editora da UFPE.
- Hashinaga, E. E. (2019). Uso da metodologia *lean* na cadeia de petróleo *upstream*.
- Herculiani, E. L. N., Culchesk, A. S. (2016). Proposta de melhoria de processos com uso da metodologia do relatório A3: um estudo de caso em uma agroindústria. *Trabalhos de Conclusão de Curso do DEP*, v. 12, n. 1.
- Kappes Júnior, J. (2011). *Aplicação dos conceitos de manufatura enxuta na produção de bens de capital sob encomenda: um estudo de caso de um produto do setor metal-mecânico*. Dissertação de Mestrado. Programa de Pós-graduação em Engenharia Mecânica. UFSC, Florianópolis.
- Koskela, L. (1992). *Application of the new production philosophy to construction*. *CIFE Technical Report #72,75p*. Stanford University, Palo Alto, California.
- Leite, M. *et al.* (2004) Aplicação do sistema Kanban no transporte de materiais na construção civil. *Revista Produção Online*, v. 4, n. 4, 2004.
- Lopes, S. T. A. B. M. (2012). Aplicação de *Standard Work* e de outras ferramentas de *Lean Production* numa empresa de elevadores.
- O Petróleo, (1988). Afinal, o que *onshore* e *offshore*? Disponível em: <<https://opetroleo.com.br/afinal-o-que-onshore-e-offshore/>> Acesso em: novembro de 2020.
- Ohno, T. (1997). *O sistema Toyota de produção além da produção*. Bookman.
- Ohno, T. (1988). *Toyota production system: beyond large-scale production*. CRC Press.
- Onesubsea. (2020). *Vertical Dual-Bore Subsea Tree System*. Disponível em: <<https://www.onesubsea.slb.com/subsea-production-systems/subsea-tree-systems/vertical-dual-bore-subsea-tree-system>> Acesso em: novembro de 2020.
- Onesubsea. (2020). *Horizontal Subsea Tree System*. Disponível em: <<https://www.onesubsea.slb.com/subsea-production-systems/subsea-tree-systems/horizontal-subsea-tree-system>> Acesso em: novembro de 2020.
- Paulo, C. A. S., Silva, J. E. M. (1994). *Christmas Tree for Subsea Production*, 5.299.641, Apr.5.
- Pedrosa, O., Corrêa, A. (2016). A crise do petróleo e os desafios do pré-sal. *Boletim de Conjuntura*, v. 2, p. 4-14.
- Petrobras (2015). *Conheça curiosidades sobre equipamentos de nossos sistemas submarinos*. Disponível em: <<https://petrobras.com.br/fatos-e-dados/conheca-curiosidades-sobre-equipamentos-de-nossos-sistemas-submarinos.htm>> Acesso em: novembro de 2020.
- Rother, M., Shook, J. (2003). *Aprendendo a enxergar – mapeando o fluxo de valor para agregar valor e eliminar o desperdício*. São Paulo: Lean Institute Brasil.
- Sant’ana, C. F. *et al.* (2019). Comportamento dos custos em empresas do G-20: análise sob a ótica dos *sticky costs*. *Contabilidad y Negocios: Revista del Departamento Académico de Ciencias Administrativas*, v. 14, n. 28, p. 108-125.
- Santos, W., Pierre, F. (2015). Aplicação de dispositivo *poka-yoke* em manufatura de peças aeronáuticas. In: *IV JORNACITEC*.

- Silva, G. V. da. (2017). *Análise e aplicação da metodologia 5s para redução dos desperdícios em uma empresa de grande porte*. Trabalho de Conclusão de Curso (Especialização em Engenharia de Produção) Universidade Tecnológica Federal do Paraná, Curitiba.
- Vieira, E. L. (2020). Proposta de melhoria no *layout* de um laboratório de análise clínicas utilizando o fluxograma de processo e o diagrama de *spaghetti*. *The Journal of Engineering and Exact Sciences*, v. 6, n. 1, p. 0023-0028.
- Womack, J. P., Jones, D. T., Roos, D. (1992). *A máquina que mudou o mundo*. 14. ed. Rio de Janeiro: Campus.
- Yin, R. K. (2001). *Estudo de Caso – Planejamento e Método*. 2. ed. São Paulo: Bookman.
- Zhang, J. G. *et al.* (2013). *The Application of ROV for the Subsea Christmas Tree Installation in the the LiWan3-1 Deepwater Oilfield*. *Applied Mechanics and Materials*, Trans Tech Publications Inc., v. 331, 7.