



CENTRO UNIVERSITÁRIO SENAI CIMATEC
MBA Executivo em *Lean Manufacturing*

DANILO PINTO DE OLIVEIRA

**APLICAÇÃO DE CONCEITOS *LEAN* NO
DESENVOLVIMENTO DE UMA PLANTA INDUSTRIAL**

Salvador (BA)
2019



DANILO PINTO DE OLIVEIRA

**APLICAÇÃO DE CONCEITOS *LEAN* NO
DESENVOLVIMENTO DE UMA PLANTA INDUSTRIAL**

Artigo apresentado ao MBA
Executivo em *Lean Manufacturing*
do CENTRO UNIVERSITÁRIO
SENAI CIMATEC como requisito
parcial para obtenção do título de
Pós-graduado em *Lean
Manufacturing*.

Salvador (BA)
2019

APLICAÇÃO DE CONCEITOS *LEAN* NO DESENVOLVIMENTO DE UMA PLANTA INDUSTRIAL

APPLICATION OF LEAN CONCEPTS IN THE DEVELOPMENT OF AN INDUSTRIAL PLANT

OLIVEIRA, Danilo Pinto de ¹

RESUMO

A indústria brasileira tem passado por uma crise de mercado profunda ocasionada pela recessão econômica que teve início em 2014. Em especial, a indústria naval é impactada pela falta de novos projetos e investimentos o que tem levado ao fechamento de alguns estaleiros. Desta forma, a luta pela sobrevivência dos estaleiros tem exigido a aplicação cotidiana de novos conceitos, ferramentas e habilidades visando ter processos mais enxutos e flexíveis. Por outro lado, a energia eólica é a fonte alternativa que apresenta o maior crescimento no país nos últimos anos. Sendo assim, o presente artigo apresenta a aplicação de conceitos *lean* (enxuto) no desenvolvimento de uma planta industrial para fabricação de um inovador modelo de torre eólica em um estaleiro. O estudo de caso proposto neste artigo, tem como objetivos: verificar a construtibilidade de fabricar as torres eólicas no estaleiro; aplicar conceitos/ferramentas *Lean Manufacturing* como o *Just in Time* e o mapeamento de fluxo de valor, e por último, desenvolver um arranjo físico em modelo virtual (2D+3D) da planta industrial adicionando fundamentos para a eliminação de desperdícios. Tratando-se de um desenvolvimento inovador, tanto no produto como no processo, e não havendo referências de comparação, os resultados deste trabalho são qualitativos. Por fim, o projeto da planta industrial enxuta está elaborado com foco na alta produtividade ao estilo *Just in Time*, ou seja, utilizando a menor quantidade de recursos para produzir a quantidade certa, em um pequeno espaço de tempo quando requerido pelo cliente.

Palavras-chave: Estaleiro; Torre Eólica; Manufatura Enxuta; Mapeamento do Fluxo de Valor (VSM); Arranjo Físico.

ABSTRACT

The Brazilian industry has been going through a deep market crisis caused by the economic recession started since 2014. Being specific, the shipbuilding industry has been affected by the lack of new projects and investments which has led to the closing down of some shipyards. So, the shipyards are working hard to survive. For that, it's required a continuous application of new concepts, tools and skills aiming at having leaner and more flexible processes. On the other hand, wind energy represents the fastest growing of alternative energy source in the country in recent years. Thus, this study presents the application of lean concepts in the development of an industrial plant to manufacture an innovative wind tower model in a shipyard. The case study proposed in this article aims to: verify the constructability of manufacturing of the wind towers in the shipyard; apply Lean Manufacturing concepts/tools such as Just in Time and value stream mapping (VSM), and finally, develop a virtual layout (2D+3D) of a wind tower plant by applying fundamentals to waste elimination. Considering that it is an innovative development, for the product and for the process, the results of this article are qualitative because of the lack of comparative references. Finally, the layout of the lean industrial plant was designed focused on the high productivity based on Just-in-Time concept. That is, using the minimum amount of resources to produce the right quantity of products, in a short time when required by the client.

Keywords: Shipyard, Wind Tower, Lean Manufacturing, Value Stream Mapping (VSM), Layout.

¹Graduado em Engenharia Mecânica.

1. INTRODUÇÃO

O cenário econômico do Brasil tem vivido as consequências da grande recessão econômica que se estendeu do segundo trimestre de 2014 até o final do ano de 2016 (FRAGA; FERNANDES, 2019). Essa recessão pode ser expressa pela queda do PIB Real de 8,99% neste período (IPEADATA, 2019).

Esta situação tem impactado diretamente diversos segmentos de mercado, principalmente o setor industrial. Dentre os 3 setores, Agroindústria, Indústria e Serviço, o setor industrial apresentou uma queda de 18,16% da Produção Industrial e uma queda de 12,24% do PIB Industrial entre 2014 e 2016. Enquanto que no mesmo período, o PIB do Agronegócio e o PIB de Serviço também tiveram quedas significativas como 14,26% e 6,86%, respectivamente (IPEADATA, 2019).

Antes da crise do setor industrial, houve uma alta valorização do petróleo que custava aproximadamente US\$ 140/barril em 2008, US\$ 100/barril em 2014. Entretanto, em janeiro de 2016 este valor atingiu patamares de US\$ 25/barril (QUEIROZ, 2016). Devido a esta elevação dos preços antes da crise e, com descoberta da Petrobras pelas áreas brasileiras de exploração de petróleo em águas profundas (pré-sal), a Petrobras investiu aproximadamente US\$ 50 bilhões em 2013 enquanto que após a desvalorização, estes investimentos passaram a ser US\$ 14,5 bilhões em meados de 2016 (ALMEIDA, 2017).

Neste cenário, houve uma relação direta com a indústria naval, pois a exploração *offshore* demandou a construção de embarcações especiais como plataformas/navios sondas e *FPSO (Floating Production Storage and Offloading)* (ALMEIDA, 2017). Devido à crise, houve um corte de investimento na ordem de US\$ 11 bilhões na construção naval. Consequentemente, muitos estaleiros foram fechados impactando na demissão de mais de 28 mil funcionários (JORNAL DO COMÉRCIO, 2015).

Enquanto a crise afetava o setor do petróleo, houve um aumento considerável de investimentos na indústria de geração de energias renováveis

no Brasil, em especial em energia eólica. De acordo com Paiva (2019) nos últimos quatro anos o Estado da Bahia investiu cerca de 10 bilhões de reais na implementação de parques de energia eólica, se tornando o maior gerador eólico do Brasil.

Atualmente, a energia eólica é a fonte alternativa que apresenta o maior crescimento no país nos últimos anos. Entre 2014 e 2016, a capacidade instalada do setor cresceu 79,7% (GOUVÊA; SILVA, 2018, p.88). Este crescimento se deve a inúmeros fatores como: baixo impacto ambiental comparado às outras fontes energéticas, grande potencial eólico brasileiro favorecido pelo relevo e condições climáticas, comercialização de energia no “Mercado Livre de Energia”, novos *players* internacionais, baixo custo/kWh, geração de créditos de carbono e apelo socioambiental pela utilização de energias renováveis dentre outros (ABEEÓLICA, 2018).

Algumas oportunidades de negócios foram identificadas buscando conciliar a crise da indústria naval ao crescimento da energia eólica. Neste trabalho, um estudo de caso de um Estaleiro, pergunta-se: é possível projetar uma planta industrial para fabricação de torres eólicas utilizando algumas infraestruturas e facilidades já disponíveis no Estaleiro?

Apesar de diversas possibilidades de atuação de um estaleiro neste segmento, este trabalho limita-se a explorar apenas um produto, a torre eólica. Demonstrando em seu objetivo geral como desenvolver uma planta industrial de torre eólica em um estaleiro aplicando conceitos e ferramentas *lean*.

Como objetivos específicos deste trabalho têm-se:

- Verificar a construtibilidade das torres eólicas no estaleiro em estudo;
- Selecionar e aplicar os conceitos/ferramentas *lean* relevantes para o projeto da planta de fabricação de torres eólicas;
- Desenvolver um arranjo físico virtual (2D+3D) aplicando a eliminação de desperdícios *lean*.

2. REFERENCIAL TEÓRICO

2.1. Estaleiro

A atividade de um estaleiro consiste na construção de embarcações a partir do conjunto de pessoas, informações, recursos - como instalações, infraestruturas e equipamentos, e materiais (ex.: chapas, tubos, motores, etc.) em diferentes fases da construção, coerentemente organizados através de um processo produtivo (BAITELLO, 2012).

De maneira resumida a parte estrutural da construção naval consiste na industrialização/transformação de chapas e perfis de aço em uma estrutura naval a partir das atividades de corte, conformação (ex.: prensagem), soldagem, jateamento e pintura (BAPTISTA, 2013). Essas etapas podem ser compreendidas no fluxo de um estaleiro na Figura 1.

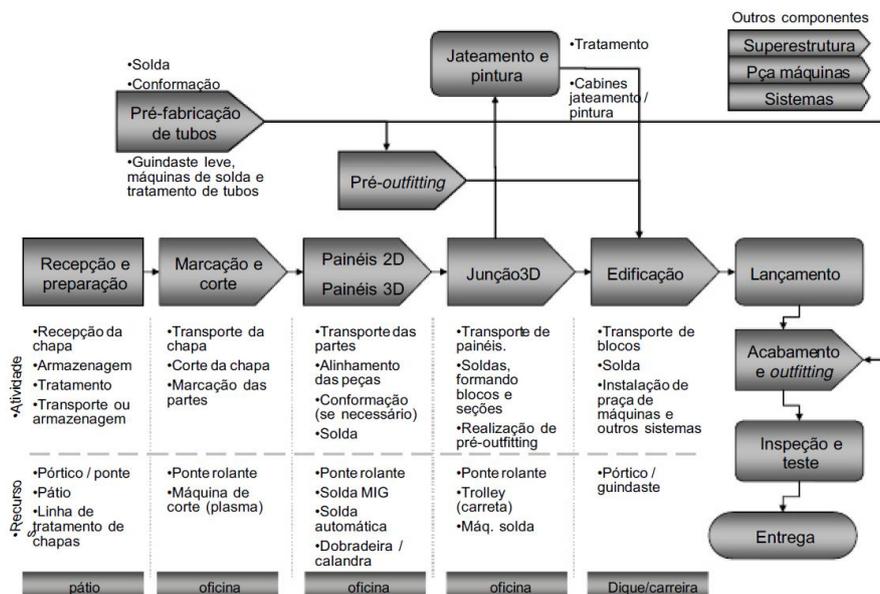


Figura 1 – Fluxograma de materiais de um estaleiro.

Fonte: STUPELLO, B.; CARDOSO, J.; ANDERSON, V., 2007.

Com o objetivo de facilitar a visualização do processo, a Figura 2 demonstra o resumo das etapas e os subprodutos gerados a partir das matérias primas (chapas e perfis) até a finalização do processo construção de um navio.

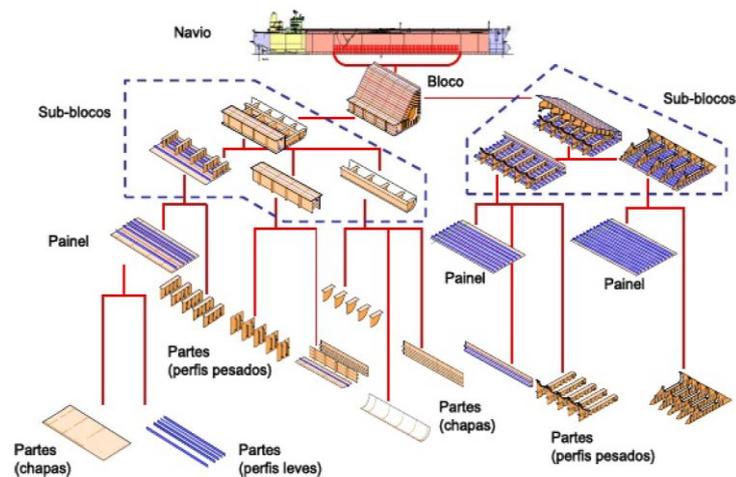


Figura 2 – Exemplo da estrutura de um navio e suas peças.

Fonte: STUPELLO, B.; CARDOSO, J.; ANDERSON, V., 2007.

Na sequência da leitura, será possível entender a compatibilidade da construção de torres eólicas em um estaleiro, devido à similaridade das etapas de industrialização e às dimensões de ambos produtos e subprodutos.

2.2. Torre eólica

A turbina eólica mais comum é a classificada como “Eixo Horizontal” com três pás (CARDOSO; FERREIRA, 2015) como ilustrada na Figura 3. O elemento estrutural de uma turbina eólica deste tipo é a Torre eólica. O tipo de torre mais comum é a tubular conforme componente 3 ilustrado na Figura 3.

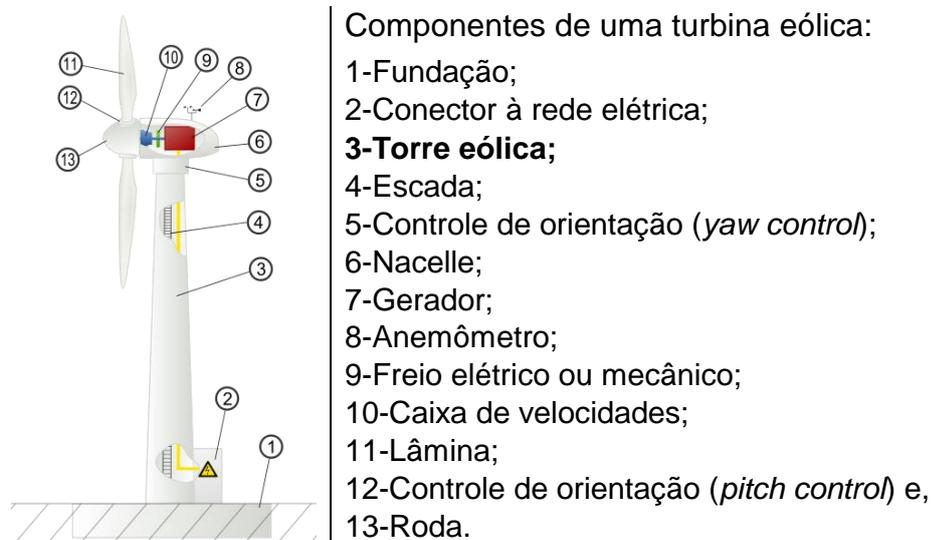


Figura 3 – Componentes de uma turbina eólica de eixo horizontal.

Fonte: Wikipedia. https://pt.wikipedia.org/wiki/Energia_e%C3%B3lica

Devido ao extenso comprimento e elevado peso, a torre é dividida em 3 ou 4 tramos/seções para facilitar o transporte e montagem conforme Figura 4.



Figura 4 – Tramo de torre eólica.

Fonte: www.flickr.com/photos/95419075@N07/24172241610/in/photostream/

Segundo Dumby (2014) e o fabricante de turbinas eólica Vestas®, as características médias e aproximadas das torres eólicas de aço dos geradores entre 3 e 4MW estão apresentadas no Quadro 1 a seguir:

Características das torres eólicas	Valor + Unidade
Altura total	entre 95m ~ 120m
Peso total	entre 160t ~220t
Diâmetro da base	entre 3,6m ~ 5m
Diâmetro do topo	entre 2,2m ~ 3,5m
Peso dos tramos (3 e 4 tramos)	entre 30t e 75t

Quadro 1 - Características médias das torres eólicas entre 3 e 4MW.

Fonte: Dumby (2014) e Vestas ®

O fluxo de construção desse tipo da torre eólica é ilustrado na Figura 5. É possível perceber a similaridade com os processos de construção naval como: corte, conformação (ex.: calandragem), soldagem, jateamento e pintura.



Figura 5 – Processos para fabricação de uma torre eólica.

Fonte: ESAB Global Wind Energy, 2016.

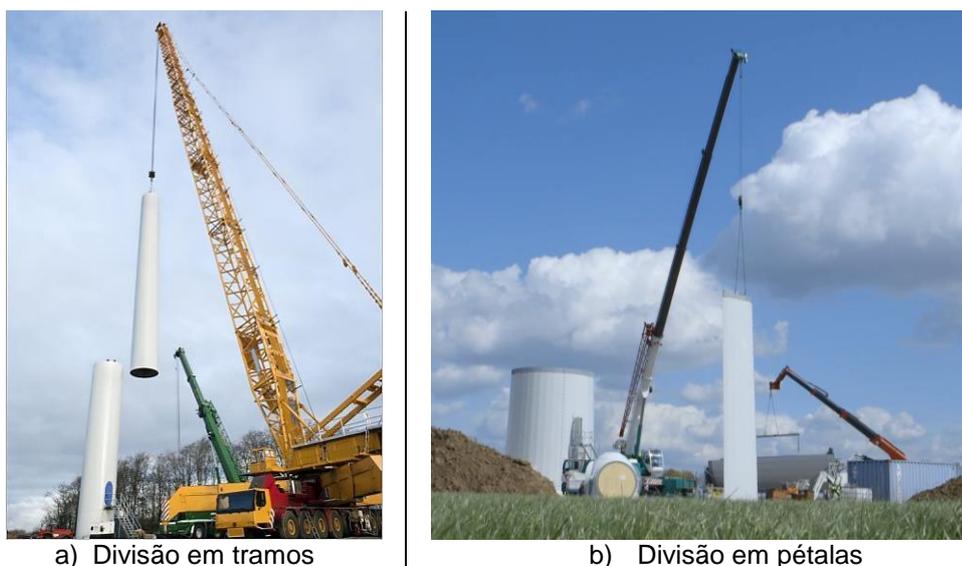
A competitividade no segmento de eólica gerou uma corrida para eficiência, ou seja, aumentar da capacidade de geração dos aerogeradores (5MW a 8MW para turbinas *onshore*) ao menor incremento de custo possível. Este aumento de capacidade é definido por um conjunto de variáveis de

projeto, contudo, em geral, as consequências são refletidas em: i) aumento do peso das *nacelles* devido a um gerador de maior capacidade, ii) aumento do comprimento das pás e conseqüentemente aumento do peso e, iii) aumento da altura das torres para atingir outros patamares de corrente de vento (DUMBY, 2014).

Portanto, a torre eólica precisa ser cada vez mais resistente para suportar todo conjunto suspenso. Invariavelmente, a torre é impactada com o aumento das dimensões (diâmetro e espessura das chapas) e do peso (DUMBY, 2014).

Devido às características apresentadas anteriormente, a logística dos tramos das torres eólicas e outros componentes como pás e *nacelles*, são classificadas como transporte de caráter especial. Ou seja, requer Autorização Especial de Trânsito (AET) emitida pelos órgãos reguladores das vias como o DNIT (Departamento Nacional de Infraestrutura de Transportes) para as vias federais. Essas restrições se dão basicamente por: i) excesso das dimensões (lateral e superior), ii) excesso de peso, iii) interferência das vias (pontes, viadutos e passarelas) e iv) condições físicas da via para o tráfego. A depender das características, o transporte pode ser autorizado com restrições de horário e velocidade máxima limitada (ATLANTIC ENERGIA RENOVÁVEIS S.A., 2019).

Diante das restrições citadas acima e para o cumprimento das exigências legais, o custo da logística cresceu e em alguns casos, tornaram-se inviáveis economicamente por questões técnicas. Por exemplo, o transporte requer equipe de batedores/escolta em todo trajeto, e em alguns casos o transporte só pode ser noturno nas vias de grande circulação (GOTSFRI DT et al., 2018). Sendo assim, ao invés das torres eólicas cilíndricas/cônicas tradicionais (Figura 4) e do método de montagem/edificação (Figura 6 a)), surge um novo conceito de construtibilidade. Neste conceito, ao invés da divisão em tramos, a torre é dividida em pétalas (Figura 7) e o método de montagem ilustrado na Figura 6 b).



a) Divisão em tramos

b) Divisão em pétalas

Figura 6 – Edificação de torre eólica dividida em a)tramos e b)pétalas.

Fonte: www.sciencephotogallery.com/wind-turbine-assembly-9219457.html e Lagerwey Wind ® – YouTube – <https://youtu.be/yrCHI7WQa1M>



Figura 7 – Carreta com pétalas de torre eólica.

Fonte: Lagerwey Wind ® – YouTube – <https://youtu.be/yrCHI7WQa1M>

Nesta condição pode-se construir torres cada vez mais altas, pois não há restrição do diâmetro. Como exemplo recente, foi montada uma torre com 166 metros de altura (LAGERWEY ®, 2017).

Segundo um dos fornecedores deste tipo de solução, a alemã Lagerwey ®, esta solução não requer carretas especiais, pois as pétalas são leves e pequenas pesando aproximadamente até 5t com dimensões médias entre 3m (largura) x 12m (comprimento). Uma torre completa possui aproximadamente 100 pétalas e pesa 450t. Além das pétalas, a torre possui duas portas e um anel inserido no topo para sustentação da *nacelle*.

Além da vantagem logística, o modelo de divisão em pétalas elimina o processo de soldagem das etapas do processo de industrialização. As etapas atuais são: corte, conformação, jateamento e pintura.

2.3. Lean Manufacturing

O *Lean Manufacturing* ou Manufatura Enxuta foi desenvolvido pela Toyota na década de 1950, no Japão, através do Sistema Toyota de Produção (STP) (SITEWARE, 2018). Foram mais de 10 anos seguidos de dominância da Toyota no setor automotivo além da imensa influência em novas tendências do sistema de produção de veículos (LIKER, 2004). O grande diferencial foi ter como “objetivo primordial a redução dos desperdícios ao mesmo tempo que melhora a produtividade e a qualidade pela busca de aumento de competitividade” (SITEWARE, 2018).

O STP tem como base o *Lean Enterprise* (empresa enxuta) e o *Lean Thinking* (pensamento enxuto) no qual aplica uma visão enxuta em todas as áreas do negócio (LIKER, 2004). No livro *Lean Thinking*, de Womack e Jones (2013), o *Lean Manufacturing* é definido como processo de 5 (cinco) princípios:

- 1) Valor: definir o que é valor sob a ótica do cliente;
- 2) Fluxo de Valor: identificar o fluxo de valor e redefinir os processos eliminando os desperdícios, restando apenas o que gera valor ao cliente;
- 3) Fluxo Contínuo: estabelecer um fluxo para os processos;
- 4) Produção Puxada: fazer apenas quando cliente (interno ou externo) solicitar;
- 5) Perfeição (*kaizen*): melhoria contínua de tudo que está envolvido no fluxo de valor.

De maneira geral, segundo Ohno, o fundador do STP, apud LIKER (2004, p.7) a empresa enxuta precisa pensar assim:

Tudo o que estamos fazendo é analisar a linha do tempo, desde o momento em que o cliente nos dá uma ordem até o momento em que coletamos o dinheiro. E estamos reduzindo essa linha de tempo removendo os desperdícios que não agregam valor.

É importante destacar que o *Lean Manufacturing* é amplamente aplicado em outros segmentos além dos processos industriais automotivos. Como exemplo, têm-se aplicações em: hospitais (*Lean Hospital*) (REGIS, 2017), escritórios (*Lean Office*) (OLIVEIRA, 2015), operações logísticas (*Lean Logistics*) (SANTOS, 2016), dentre outras.

Devido à grande quantidade de princípios, conceitos e ferramentas do *Lean Manufacturing* e suas inúmeras aplicabilidades, este referencial teórico limitou-se a abordar os listados abaixo por serem mais relevantes para o tema deste trabalho.

1) *Just in Time (JIT)*: conceito que considera sincronizar a cadeia de valor para produzir pequenas quantidades, em pequeno espaço de tempo, atendendo às necessidades do cliente, entregando os itens certos, na hora certa e na quantidade correta (LIKER, 2004). Segundo Ohno (1988, p.31), o *JIT* visa a “eliminar todos os desperdícios do negócio para alcançar a melhor qualidade possível, o menor custo possível e uso de recursos, e os prazos de produção e entrega mais curtos possíveis”.

Talvez não seja tão evidente, porém este conceito gera um grande impacto em toda cadeia produtiva buscando otimizar a alocação dos recursos (SANKHYA, [201-]).

2) Sete desperdícios: Uma das bases do *lean* é a busca e eliminação dos desperdícios do cotidiano das empresas (PICCHI, 2017). Segundo Ohno (1988), desperdício é tudo que consome recursos, mas não agrega valor ao cliente. Os 7 desperdícios identificados são:

- 1) Produção em Excesso: produzir mais do que precisa para atender o cliente. Isso gera custo com armazenamento e transporte devido ao excesso de estoque;
- 2) Espera: recurso ociosos, simplesmente alguém ou um equipamento deveria estar produzindo, mas não está;
- 3) Transporte desnecessário: transporte inadequado ou desnecessário de materiais;

- 4) Processamento desnecessário ou incorreto: realizar ações desnecessárias para processar algo. Às vezes, fornece mais qualidade do que o necessário.
- 5) Estoque: excesso de matéria prima, produtos acabados ou semiacabados. O estoque oculta outros problemas como: produção desbalanceada, fornecedores atrasados etc.
- 6) Movimentação desnecessária: qualquer movimento desnecessário pelos funcionários. Essa movimentação consome tempo que poderia estar criando valor;
- 7) Defeitos: produção de peças defeituosas ou correção. Além da perda material, há desperdício de tempo e esforço.

3) Mapeamento de fluxo de valor ou VSM (Value Stream Mapping): é um diagrama que contém todas as etapas envolvidas nos fluxos de material e informação, necessárias para atender aos clientes desde o pedido à entrega (LEAN INSTITUTE BRASIL [201-]). O VSM é utilizado para encontrar e eliminar os desperdícios do processo e consiste em 3 (três etapas): i) mapear o estado atual (Figura 8) para se entender como os materiais e as informações fluem pela fábrica; ii) mapear um estado futuro (Figura 9), reduzindo os desperdícios e atividades que não agregam valor do ponto de vista do cliente nos fluxos de materiais e informações, e iii) implementar um plano de ação para transformar a fábrica do estado atual para o futuro (LIKER, 2004).

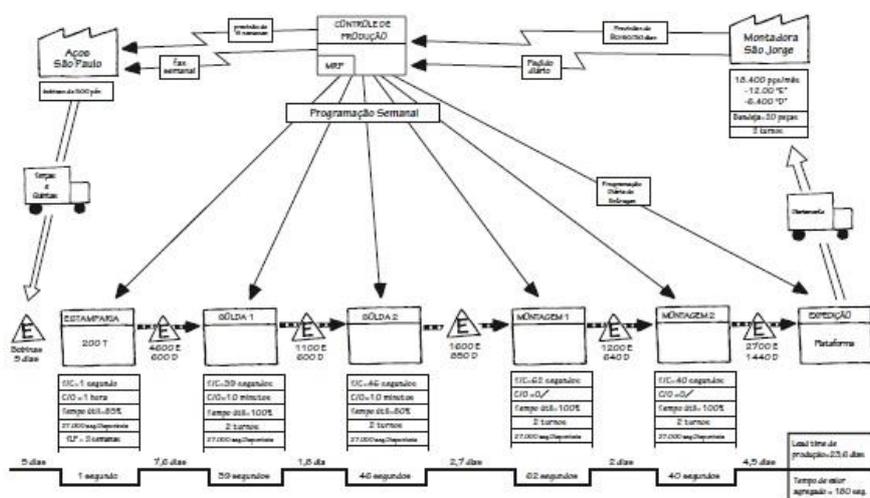


Figura 8 – Mapa do Fluxo de Valor do Estado Atual.

Fonte: Rother e Shook, 1999.

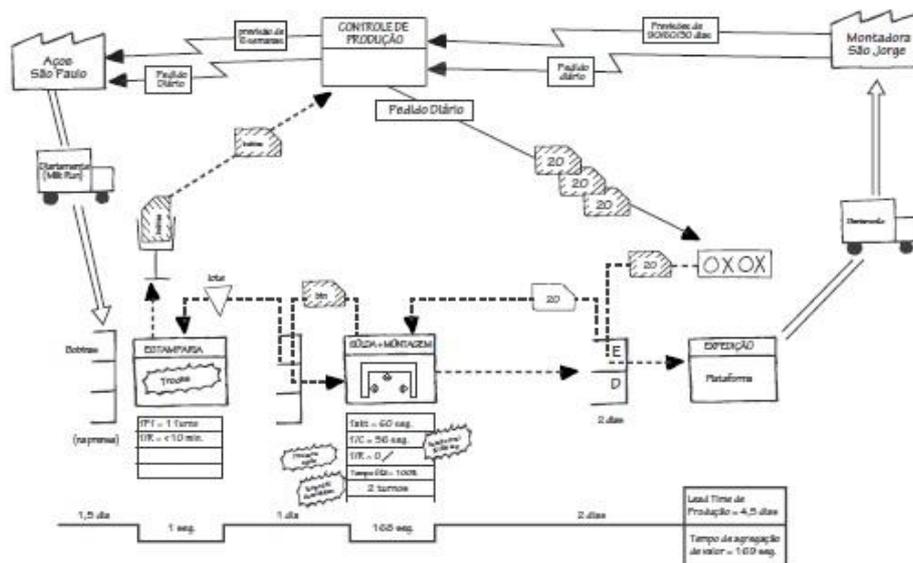


Figura 9 – Mapa do Fluxo de Valor do Estado Futuro.

Fonte: Rother e Shook, 1999.

É importante observar a diferença entre o que o VSM do estado atual e do estado futuro. O atual possuía muitas informações (setas indicativas) e etapas de processo (caixas) enquanto que no estado futuro várias etapas foram removidas.

Em casos específicos, pode ser apropriado desenvolver o VSM do estado futuro, mostrando as oportunidades de melhoria pelo emprego de todos os métodos *lean* conhecidos (LEAN INSTITUTE BRASIL [201-]). Este é o caso considerando também para novas plantas industriais.

4) Arranjo físico (*lay-out*) e desenho celular: O arranjo físico (*lay-out*) consiste no posicionamento das instalações, máquinas, equipamentos e pessoal da operação, em uma operação produtiva. Essa configuração determina o fluxo dos materiais do processo. Portanto, o desenvolvimento deste arranjo físico é muito importante, para evitar fluxos longos e confusos, fluxos imprevisíveis, longos tempos de processos, filas, operações inflexíveis e altos custos (SLACK et al, 2009).

O arranjo físico deve garantir o melhor fluxo de materiais, máquinas, informações e pessoas na fábrica para favorecer o *Just in Time* em especial na utilização de arranjo celular (LIKER, 2004).

Segundo Slack et al. (2009) na prática existem quatro tipos de Arranjo Físico padrão, que são: i) Posicional; ii) Funcional; iii) Celular e iv) por Produto. Ver arranjos na Figura 10 abaixo.

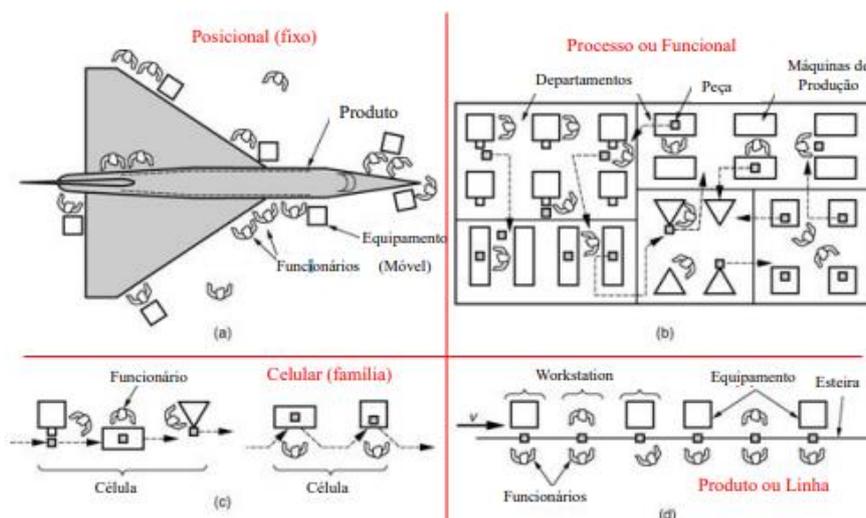


Figura 10 – Exemplos dos tipos de Arranjos físicos.

Fonte: USP - Material didático. https://edisciplinas.usp.br/pluginfile.php/3295530/mod_resource/content/1/Te%C3%B3rica%20-%20Arranjos%20F%C3%ADsicos.pdf

Além dos conceitos e ferramentas do *Lean Manufacturing* apresentados acima, é importante citar outros conhecidos como: 1) Nivelamento de produção (*Heijunka*); 2) Fluxo de uma peça; 3) Trabalho padronizado; 4) Sistema *Kanban* (cartão); 5) Troca rápida de ferramentas; 6) *Poka-yoke* (à prova de erros); 7) *Jidoka* (Automação); 8) *Kaizen* (melhoria contínua); 9) 5S; 10) TPM (manutenção produtiva total) (LIKER, 2004).

3. REFERENCIAL METODOLÓGICO

Considerado as definições de Goode e Hatt (1973), Stake (1994), Yin (2001), Gil (2008), Marconi e Lakatos (2011) a metodologia mais apropriada a ser adotada para a elaboração deste artigo foi o estudo de caso em complemento com uma pesquisa bibliográfica. Segundo os referidos autores, trata-se de uma metodologia que pretende buscar a compreensão de um ou poucos objetos, através da investigação profunda e exaustiva, de maneira a

permitir amplo e detalhado conhecimento sobre o objeto de estudo. Infere-se assim, que o “estudo de caso reúne o maior número de informações detalhadas, valendo-se de diferentes técnicas de pesquisa, que visam apreender uma determinada situação e descrever a complexidade de um fato” (MARCONI; LAKATOS, 2011, apud BRUCHEZ et al., 2015, p.4).

A pesquisa bibliográfica é o levantamento de toda a bibliografia já publicada em relação ao tema, em forma de livros, revistas, publicações avulsas e imprensa escrita. A sua finalidade manter o pesquisador em contato direto com todo o material escrito sobre um determinado assunto, para auxiliar o cientista no desenvolvimento de suas pesquisas (MARCONI; LAKATOS, 2011).

A primeira etapa do desenvolvimento deste trabalho foi verificar a construtibilidade das torres eólicas no estaleiro em estudo. Para isso foi necessário entender todas as fases de construção das torres eólicas (em pétalas) de maneira sequencial para desenvolver um fluxo de produção. Em paralelo, a pesquisa bibliográfica foi necessária para a obtenção dos dados técnicos e dos recursos necessários para o estudo como: i) características do produto torre eólica (matéria prima, dimensões, geometrias e pesos) e ii) características dos equipamentos de processo (dimensões, produtividade e lógica de operação).

A segunda etapa consistiu em aplicar os conceitos e ferramentas *lean* no fluxo de produção desenvolvido na primeira etapa incrementando outros conceitos adquiridos em reuniões técnicas com especialistas, fornecedores de materiais/equipamentos e possíveis clientes. Nesta etapa, o Mapeamento do Fluxo de Valor (*VSM*) foi desenvolvido fundamentado no conceito do *Just in Time* para obter a versão final conceitual da Planta Industrial Enxuta.

A última etapa foi desenvolver um arranjo físico virtual (2D+3D) aplicando a eliminação de desperdícios *lean*. O objetivo foi obter a versão final da Planta Industrial Enxuta do ponto de vista físico conforme as restrições e infraestruturas inerentes aos dois processos: torre eólica e estaleiro. Nesta etapa, diversas opções de arranjos físicos foram elaboradas em *softwares* de

desenho 2D e modelagem 3D. Neste caso, todo fluxo industrial da operação foi modelado levando em consideração os dados obtidos nas etapas anteriores como: i) os equipamentos do processo de construção das torres (ex.: máquinas de corte e prensa); ii) a torre eólica (pétalas) em seus diversos estágios de construção; iii) as instalações físicas do estaleiro (cais, oficinas, ruas e etc.) e, iv) os equipamentos e acessórios de transporte.

4. ANÁLISE DE DADOS

Para o desenvolvimento deste trabalho foi importante a integração de conhecimentos diversos como: i) processo de construção naval; ii) o novo conceito de torres eólicas tipo pétalas e sua metodologia de construção e, iii) conceitos e ferramentas *lean*.

Na primeira etapa foi necessário conhecer as características das pétalas e todas as fases de construção de maneira sequencial. Conforme apresentado no tópico 2.2 Torre eólica, as pétalas pesam até 5t e as dimensões aproximadas são 3m x 12m, largura e comprimento respectivamente. Essas características são compatíveis com a infraestrutura do estaleiro, que de maneira geral, constrói e movimenta peças maiores e mais complexas do que as pétalas. Para movimentação das peças, o estaleiro dispõe de empilhadeiras (2t a 10t), pontes rolantes (20t a 120t) e transportadores hidráulicos de rodas com capacidade de movimentação de até 325t.

As etapas de corte, jateamento e pintura são aptas a serem realizadas de imediato no estaleiro. Para o corte, o estaleiro dispõe de máquinas de corte computadorizado a laser, a gás e à plasma conforme Figura 11.



Figura 11 – Máquina de Corte CNC à Plasma.

Fonte: Própria

Para o jateamento e pintura, além dos equipamentos disponíveis, o estaleiro dispõe de cabines especializadas para garantir as condições climáticas ideais de operação durante a realização das atividades.



Figura 12 – Cabine de Pintura (parte interna).

Fonte: Própria

Entretanto, para a conformação foi necessário contatar fornecedores de prensas de grande porte e de longo comprimento (12m), pois o estaleiro não possui este equipamento. Neste caso, uma prensa computadorizada do fabricante finlandês ALIKO, foi a que apresentou a melhor qualidade técnica do equipamento. Ver foto do equipamento na Figura 13.



Figura 13 – Prensa Aliko. Modelo: Giant SP 14000-2200 CNC.

Fonte: <https://www.aliko.fi/en/press-brakes/aliko-giant>

A partir do entendimento da metodologia de construção das pétalas e dos recursos necessários, verificou-se total compatibilidade com as infraestruturas disponíveis no estaleiro. Sendo assim, foi possível validar a construtibilidade.

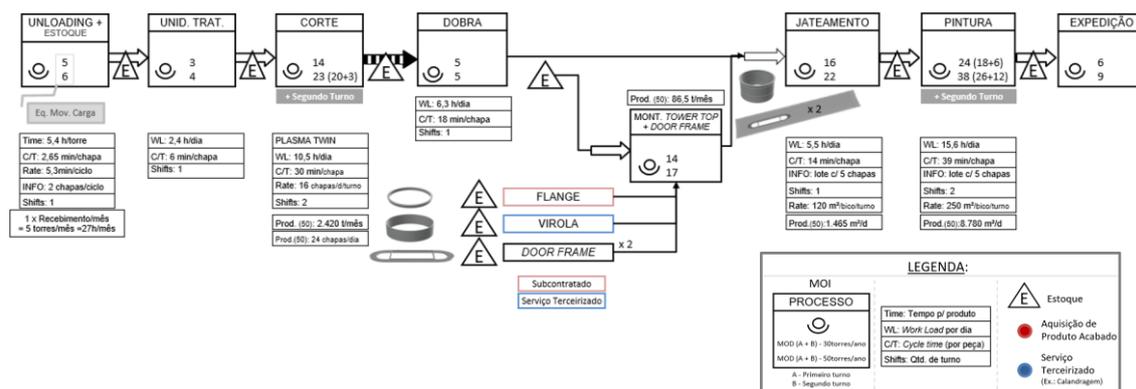
Na segunda etapa, o Mapeamento do Fluxo de Valor Futuro (VSM) foi desenvolvido de maneira simplificada, com foco no fluxo de materiais. Este mapeamento foi iniciado pelo sequenciamento das etapas que agregam valor ao produto considerando os tempos e as variáveis de processo definidas na primeira etapa. Em seguida foram aplicados os 5 princípios do *Lean Manufacturing* e o conceito *Just in Time (JIT)* apresentados no referencial teórico. Como conceito chave, adotou-se a produção puxada, cujo, cada etapa do processo só deve produzir quando a etapa posterior solicitar.

Adicionalmente foram necessários inúmeros ajustes para um adequado balanceamento da produção, ou seja, não haver ociosidade ou superprodução entre as etapas para não gerar estoques intermediários. Neste caso foi necessário ajustar a capacidade produtiva de cada etapa em função das suas variáveis, a exemplo da quantidade de mão de obra ou produtividade de um equipamento.

A versão final do VSM está apresentada na Figura 14. Para melhor compreensão recomenda-se ler a legenda e seguir a leitura das etapas no

sentido do fluxo, neste caso da esquerda para a direita, ou seja, do recebimento de matéria-prima (*unloading*) até a expedição.

Abaixo de cada caixa de processo, têm-se as informações como: i) WL (*work load*) ou carga de trabalho por dia; ii) C/T (*cycle time*) ou tempo de ciclo que é frequência de produção por produto na etapa; iii) “Prod.” que é a produção diária, e iv) *shift* ou turnos de trabalho.



A carga de trabalho (*work load*) é diferente em cada etapa de construção devido às variações de cada processo, mesmo após os ajustes. Por exemplo, a máquina de corte a Plasma corta uma chapa em 30 minutos enquanto que a prensa realizada todas as dobras de uma pétala em 18 minutos. Ou seja, neste caso, foi necessário adicionar um segundo turno dinâmico, visando compensar essa diferença.

Através deste fluxo, observa-se que o tempo de processamento de uma pétala/chapa é equivalente a 110 minutos e que o gargalo é a pintura.

Uma vez que o fluxo de valor foi mapeado e consolidado, buscou-se desenvolver o melhor arranjo físico para otimizar o processo de construção em uma visão enxuta (*lean*) aplicando o conceito de eliminação dos desperdícios.

O modelo adotado é baseado no Arranjo Físico por Produto (em linha), no qual as pás são movimentadas ao longo das etapas de construção. O arranjo desenvolvido considera as infraestruturas pré-existentes no estaleiro e as necessárias para a construção das torres eólicas, a exemplo da prensa.

O ambiente de fabricação está ilustrado na Figura 16. No lado direito uma ponte rolante com eletroímãs abastece uma máquina de corte a plasma com uma chapa (matéria-prima). No lado esquerdo uma outra máquina de corte já em operação a plasma cortando uma das chapas dispostas na mesa de corte.



Figura 16 – Ilustração do ambiente de fabricação.

Fonte: Própria.

A Figura 17 abaixo apresenta, no lado esquerdo, a prensa utilizada para realizar a conformação (curvaturas) das pétalas. No lado direito, está representada a área de sub-montagem compartilhada para fazer dois subprodutos: as pétalas com as portas (2 por torre) e os anéis de união que ficam localizados no topo da torre para conexão com a *nacelle*. É importante observar o tamanho das peças e equipamentos e comparar com o operador.



Figura 17 – Ilustração do ambiente de conformação e sub-montagem.

Fonte: Própria.

Uma visão mais realista é observada na Figura 18 a partir da sobreposição do ambiente virtual sobre o real.



Figura 18 – Visão geral do ambiente fabril, com sobreposição do cenário virtual e o real.

Fonte: Própria.

A cabine de pintura está representada na Figura 19 com as pétalas e os funcionários.



Figura 19 – Pétalas sendo pintadas na cabine de pintura.

Fonte: Própria.

5. CONCLUSÃO

A partir dos estudos desenvolvidos, é possível concluir que a utilização de conceitos *lean* tem uma amplitude muito grande dentro das organizações.

Ao tratar-se de aplicar os conceitos e ferramentas ainda na etapa de projeto, percebe-se a oportunidade de ter um processo enxuto e focado no que agrega valor para o cliente. De maneira geral, aumenta a possibilidade de ter um negócio mais competitivo, flexível e rentável.

Neste trabalho específico, no desenvolvimento de uma planta industrial para fabricação de torres eólicas em pétalas, os ganhos são inúmeros. A planta foi dimensionada exatamente nos limites e condições exigidas pelo projeto da torre eólica em pétalas. O método utilizado para o desenvolvimento do arranjo físico (2D+3D) foi importante para deixar o projeto ainda mais compacto.

Em uma visão geral, conclui-se que o *Lean Manufacturing* pode ser aplicado para a realização de qualquer atividade com o objetivo de reduzir os desperdícios e agregar valor para o cliente, inclusive em um estaleiro reprojetoado com o objetivo de também construir torres eólicas.

Por se tratar de uma planta industrial ainda não executada na prática, comprovou-se a aplicação de algumas ferramentas *lean* para potencialização dos resultados ainda na fase de projeto.

Esta foi a apresentação simplificada de conceitos e ferramentas *lean* no desenvolvimento de plantas industriais com propósito acadêmico. Inúmeras variáveis e considerações devem ser utilizadas para o desenvolvimento do projeto final da planta industrial. Entretanto, utilizando a metodologia aplicada, este trabalho pode ser replicado no desenvolvimento de outras plantas industriais, independentes do produto e não necessariamente associado a uma infraestrutura já existente que foi o caso do estaleiro.

Ressalta-se que os dados gerados neste estudo foram necessários para outras etapas do Projeto de Fabricação das Torres Eólicas no Estaleiro como o desenvolvimento de um orçamento, estudos de viabilidade técnica e econômica a incluir estudos de *CAPEX* (*capital expenditure* – investimentos) e *OPEX* (*operational expenditure* – despesas operacionais).

REFERÊNCIAS

- ABEEólica (Associação Brasileira de Energia Eólica). “Boletim Anual de Geração Eólica 2018” [S.I.] 2018. Disponível em: http://abeeolica.org.br/wp-content/uploads/2019/05/Boletim-Anual_2018.pdf Acesso em: março/2019.
- ALIKO. “Giant Press Brake”
Disponível em: <https://www.aliko.fi/en/press-brakes/aliko-giant> Acesso em: setembro/2018.
- ALMEIDA, Edmar. “Estão dadas as condições para a retomada do setor de petróleo e gás no Brasil?” [S.I.] 2017 Disponível em: <https://infopetro.wordpress.com/2017/03/20/estao-dadas-as-condicoes-para-a-retomada-do-setor-de-petroleo-e-gas-no-brasil/#more-7014> Acesso: junho/2019.
- ATLANTIC ENERGIAS RENOVÁVEIS S.A. “Saiba como é realizado o transporte de pás eólicas.” [S.I.] 2019. Disponível em: <http://atlanticenergias.com.br/saiba-como-e-realizado-o-transporte-de-pas-eolicas/> Acesso em: julho/2019.
- BAITELLO, A. “Avaliação do aprendizado na produtividade de um estaleiro: uma abordagem através da dinâmica de sistemas.” Universidade de São Paulo, 2012.
- BAPTISTA, M. T. P. “Simulação de Processos de Construção Naval para Análise de Estratégias Alternativas de Edificação.” Rio de Janeiro: UFRJ/ Escola Politécnica, 2013.
- BRUCHEZ, A., CICONET, B., REMUSSI, R., POSSAMAI, L., TONDOLO, V. A. G. “Análise da Utilização do Estudo de Caso Qualitativo e Triangulação na Brazilian Business Review.” XV Mostra de Iniciação Científica, Pós-Graduação, Pesquisa e Extensão. Programa de Pós-Graduação em Administração - UCS [S.I.] 2015. Disponível em: <http://www.ucs.br/etc/conferencias/index.php/mostraucspppga/xvmostrappga/paper/viewFile/4125/1279> Acesso em: julho 2019.
- CARDOSO, J. M. M., FERREIRA, D. H. L. “Equações Matemáticas e Conceitos Físicos Aplicados a uma Turbina Eólica Vertical de Pequeno Porte.” Revista Brasileira de Iniciação Científica, Itapetininga, v. 2, n. 3, 2015.
- DUMBY, H. “Aspetos de dimensionamento de torres eólicas tubulares em aço.” Universidade de Coimbra. Coimbra, 2014.
- ESAB Global Wind Energy. “Soluções ESAB para fabricação de torres Eólicas.” Acervo do fornecedor ESAB disponibilizado em março de 2016.
- FLICKR. Acervo MAN Transporte em: www.flickr.com/. [S.I.] 2013. Disponível em: www.flickr.com/photos/95419075@N07/24172241610/in/photostream/ Acesso em: março/2019.
- FRAGA, E., FERNANDES, A. “Com economia estagnada, Brasil flerta com recessão” FOLHA DE SÃO PAULO. [S.I.] 2019. Disponível em:

- <https://www1.folha.uol.com.br/mercado/2019/05/economia-brasileira-vive-clima-recessivo-dizem-analistas.shtml> Acesso em: junho/2019.
- GIL, A.C. “Métodos e Técnicas de Pesquisa Social.” São Paulo, Atlas, 2008.
- GOODE, W., HATT, P. “Métodos em pesquisa social.” São Paulo, SP: Nacional, 1973.
- GOTSFRIEDT, G. P., CUNHA, J. X., FERNANDES, J. A., COMPIANI, L.F. “Transporte de Pás Eólicas, um Desafio Rodoviário.” In: Anais do II Encontro Científico de Gestão Portuária: Redes de Empresas e Cadeias Produtivas, 2018. Disponível em: <https://www.even3.com.br/anais/iiencigesp/78081-transporte-de-pas-eolicas-um-desafio-rodoviario/#> Acesso em: julho 2019.
- GOUVÊA, R. L. P. de; SILVA, P. A. da. “Desenvolvimento do setor eólico no Brasil.” Revista do BNDES, Rio de Janeiro, v.25, n.49, p. 81-118, jun. 2018. Disponível em: http://web.bndes.gov.br/bib/jspui/bitstream/1408/16081/1/PRArt_Desenvolvimento%20do%20setor%20e%C3%B3lico%20no%20Brasil_compl.pdf Acesso em: julho/2019.
- IPEADATA <http://www.ipeadata.gov.br/> Pesquisas em: Produto interno bruto (PIB) – agropecuária, Produto interno bruto (PIB) – serviços, Produto interno bruto (PIB) – indústria e Produção industrial e Produto interno bruto (PIB) real [S.I.]. Disponível em: <http://www.ipeadata.gov.br/Default.aspx> Acesso em: junho/2019.
- Jornal do Comércio – www.jornaldocomercio.com “Crise fecha estaleiros em todo o país.” [S.I.] 2015. Disponível em: https://www.jornaldocomercio.com/_conteudo/2015/12/cadernos/jc_logistica/473175-crise-fecha-estaleiros-em-todo-o-pais.html Acesso em: junho/2019.
- LAGERWEY Wind ® - YouTube [S.I.] 2017. Disponível em: <<https://youtu.be/yrcHI7WQa1M>>. Acesso em: dezembro/2018.
- LAGERWEY Wind ®. www.largerwey.com Disponível em: <http://www.largerwey.com/technology/tower/> Acesso em: julho/2019.
- LEAN INSTITUTE BRASIL. “Mapeamento do fluxo de valor”. [201-] Disponível em: [https://www.lean.org.br/conceitos/72/mapeamento-do-fluxo-de-valor-\(vsm\)---estado-atual-e-futuro.aspx](https://www.lean.org.br/conceitos/72/mapeamento-do-fluxo-de-valor-(vsm)---estado-atual-e-futuro.aspx) Acesso em: junho/2019.
- LIKER, J. “The Toyota Way: 14 management principles from the world’s greatest manufacturer.” McGraw-Hill, USA, 2004
- MARCONI, M. A.; LAKATOS, E. M. “Metodologia do trabalho científico: procedimentos básicos, pesquisa bibliográfica, projeto e relatório, publicações e trabalhos científicos.” 7. ed. – 6. reimpr. São Paulo: Atlas: 2011.
- OHNO, Taiichi. “Toyota Production System: Beyond Large-Scale Production”. Productivity Press. New York. 1988.

- OLIVEIRA, J. “Escritório Enxuto (Lean Office)” in Lean Institute Brasil. 2015. Disponível em: https://www.lean.org.br/comunidade/artigos/pdf/artigo_57.pdf Acesso em: junho/2019.
- PAIVA, V. “Após investimentos de R\$13 bilhões, Bahia lidera geração de energia eólica no Brasil.” Hypesess. [S.I.] 2019. Disponível em: <http://www.hypesess.com.br/2019/01/apos-investimentos-de-r-13-bilhoes-bahia-lidera-geracao-de-energia-eolica-no-brasil/> Acesso em: julho/2019.
- PICCHI, Flávio. “Entenda os “7 desperdícios” que uma empresa pode ter” [S.I.] 2017. Disponível em: <https://www.lean.org.br/colunas/529/entenda-os-%E2%80%9C7-desperdicios%E2%80%9D-que-uma-empresa-pode-ter.aspx> Acesso em: julho/2019.
- QUEIROZ, Helder. “Uma OPEP travada pela Estrutura de Oferta do Petróleo: o que esperar da evolução dos preços?” [S.I.] 2016. Disponível em: <https://infopetro.wordpress.com/2016/11/21/uma-oep-travada-pela-estrutura-de-oferta-do-petroleo-o-que-esperar-da-evolucao-dos-precos/#more-6918> Acesso em: junho/2019.
- REGIS, Tatyana. “Implementação da produção enxuta em operações hospitalares: Caso do Instituto Oncológico Doutor Arnaldo Vieira de Carvalho”. 2017
- ROTHER, M.; SHOOK, J. “Learning to see: value stream mapping to create value and eliminate muda.” 2 ed. Brookline: The Lean Enterprise Institute, 1999.
- SANKHYA – Gestão de Negócios “O que é Just in Time? Como ele ajuda a sua empresa?” [201-]. Disponível em: <https://www.sankhya.com.br/blog/o-que-e-just-in-time/> Acesso em: junho/2019.
- SANTOS, Virgílio. “O que é o Lean Logistics?” 2016 Disponível em: <https://www.fm2s.com.br/lean-logistics-supply-chain/> Acesso em: junho/2019.
- SCIENCE PHOTO GALLERY. [S.I]. Disponível em: www.sciencephotogallery.com/wind-turbine-assembly-9219457.html. Acesso em: fevereiro/2019.
- SITWARE. www.siteware.com.br “O que é lean manufacturing?” Disponível em: <https://www.siteware.com.br/processos/o-que-e-lean-manufacturing/> Acesso em: junho/2019.
- SLACK, N.; CHAMBERS, S.; JOHNSTON, R. “Administração da Produção.” 3ª ed. São Paulo: Atlas, 2009.
- STAKE, R.E. “Handbook of qualitative research.” London: Sage, 1994.
- STUPELLO, B.; CARDOSO, J.; ANDERSON, V. “Desenvolvimento e aplicação de método para definição da estrutura de produto de um navio tanque (SUEZMAX)” Universidade de São Paulo, 2007. VESTAS ®. [S.I]. Disponível em: https://www.vestas.com/products/4-mw-platform/v105-3_45_mw?_ga=

2.81676565.368278229.1564275172-1576543700.1564275172#!technical-specifications. Acesso em: julho/2019.

USP - Material didático. “Arranjos Físicos”

Disponível em: https://edisciplinas.usp.br/pluginfile.php/3295530/mod_resource/content/1/Te%C3%B3rica%20-%20Arranjos%20F%C3%ADsicos.pdf Acesso em: julho/2019.

WIKIPEDIA. [S.l]. Busca: Aerogerador

Disponível em: https://pt.wikipedia.org/wiki/Aerogerador#Rotores_de_eixo_horizontal. Acesso em: janeiro/2019.

WOMACK, J.; JONES, D. “Lean Thinking: banish waste and create wealth in your corporation.” First Free Press Edition, New York, USA, 2003.

YIN, R. K. “Estudo de caso: planejamento e métodos.” 2.ed. Porto Alegre: Bookman, 2001.