

CENTRO UNIVERSITÁRIO FEI
GIOVANNA PRINCIPE CARVALHO
INGRID BULGARELLI EVANGELISTA
MAYHARA FERNANDES ROCHA
VALENTINA CAMACHO SANTOS

**APLICAÇÃO DE FERRAMENTAS DO LEAN MANUFACTURING NO PROCESSO
DE PRODUÇÃO DE CILINDROS DE GASES**

São Bernardo do Campo

2021

GIOVANNA PRINCIPE CARVALHO
INGRID BULGARELLI EVANGELISTA
MAYHARA FERNANDES ROCHA
VALENTINA CAMACHO SANTOS

**APLICAÇÃO DE FERRAMENTAS DO LEAN MANUFACTURING NO PROCESSO
DE PRODUÇÃO DE CILINDROS DE GASES:** estudo de caso em uma indústria do
segmento químico

Trabalho de Conclusão de Curso, apresentado ao Centro Universitário FEI, como parte dos requisitos necessários para obtenção do título de Bacharel da Engenharia de Produção. Orientado pelo Prof. Dr. Wilson de Castro Hilsdorf.

São Bernardo do Campo

2021

Aplicação de ferramentas do Lean Manufacturing no processo de produção de cilindros de gases : estudo de caso em uma indústria do segmento químico / Giovanna Carvalho...[et al.]. São Bernardo do Campo, 2021.

93 f. : il.

Trabalho de Conclusão de Curso - Centro Universitário FEI.

Orientador: Prof. Dr. Wilson Hilsdorf.

1. Manufatura Enxuta. 2. Cilindro de Oxigênio. 3. Desperdícios. 4. Melhorias. I. Carvalho, Giovanna. II. Evangelista, Ingrid. III. Rocha, Mayhara. IV. Santos, Valentina. V. Hilsdorf, Wilson, orient. VI. Título.

Giovanna Príncipe Carvalho
Ingrid Bulgarelli Evangelista
Mayhara Fernandes Rocha
Valentina Camacho Santos

Aplicação de Ferramentas do *Lean Manufacturing* no Processo de Produção de Cilindros de Gases: estudo de caso em uma indústria do segmento químico

Trabalho de Conclusão de Curso – Centro Universitário FEI

Comissão julgadora

Prof. Dr. Wilson de Castro Hilsdorf

Prof. André Luiz Teixeira

Prof. Fábio Guedes Correia

São Bernardo do Campo

07/06/2021

Dedicamos este trabalho aos nossos familiares que nos apoiaram e tornaram possível a realização deste curso.

AGRADECIMENTOS

Muitas pessoas contribuíram e foram fundamentais para a realização deste trabalho.

Primeiramente, agradecemos aos nossos pais, pelo esforço em nos proporcionar a realização de um curso de graduação de extrema qualidade. Além disso, aos nossos familiares pelo apoio emocional durante toda a trajetória.

Ao Prof. Dr. Wilson de Castro Hilsdorf, por ter acreditado no nosso potencial, ter aceito ser nosso orientador e ter-nos prestado todo o suporte necessário.

Ao Sr. Ricardo Rodrigues Rocha e a todos os funcionários da empresa escolhida no estudo de caso, que tiveram um papel essencial neste trabalho, dando-nos todo suporte e fornecendo-nos as informações para a realização do mesmo, principalmente em um momento de limitações devido à pandemia.

Por fim, nossos sinceros agradecimentos aos amigos e todos aqueles que fizeram parte da nossa formação.

“A sabedoria não se transmite, é preciso que nós a descubramos fazendo uma caminhada que ninguém pode fazer em nosso lugar e que ninguém nos pode evitar, porque a sabedoria é uma maneira de ver as coisas.”

Marcel Proust

RESUMO

O cenário atual de pandemia acarretou em um aumento repentino no consumo de cilindros de gás oxigênio para o tratamento do COVID-19, surgindo assim uma necessidade das empresas do ramo químico de produção de cilindros de gases de melhorarem sua eficiência para atenderem à crescente demanda. O *Lean Manufacturing*, sendo uma filosofia que propõe a redução de desperdícios com um dos intuitos de aumentar a produtividade e eficiência de um processo produtivo, se enquadrou no contexto citado acima. A partir disto, este estudo de caso apresenta uma análise do processo de fabricação de cilindros de gás oxigênio da empresa “Alfa”, utilizando o conceito do *Lean Manufacturing* e suas ferramentas, como por exemplo o Mapa de Fluxo de Valor, que demonstrou os principais desperdícios do processo, possibilitando o estudo de melhorias para estes. Desta maneira, o trabalho se resume na análise da situação atual da empresa, na identificação de desperdícios e na recomendação de melhorias para os problemas, apresentando um cenário futuro considerando os reparos sugeridos.

Palavras Chave: Manufatura Enxuta. Cilindro de Oxigênio. Desperdícios. Melhorias.

ABSTRACT

The current pandemic scenario has resulted in a sudden increase in the consumption of oxygen gas cylinders for the treatment of COVID-19, emerging a need for companies in the chemical industry of gas cylinders production to improve their efficiency to attend the growing demand. The Lean Manufacturing, being a philosophy that proposes the reduction of wastes with one of its purposes of increasing the productivity and efficiency of a productive process, fits in the context mentioned above. Based on this, this case study presents an analysis of the manufacturing process of oxygen gas cylinders of the company “Alfa”, using the concept of Lean Manufacturing and its tools, such as the Value Stream Map, which demonstrated the main process wastes, making it possible to study improvements for them. In this way, this college work is summarized in the analysis of the current situation of the company, in the identification of wastes and in the recommendation of improvements for the problems, presenting a future scenario considering the suggested repairs.

Key Words: Lean Manufacturing. Oxygen Cylinder. Wastes. Improvements.

LISTA DE ILUSTRAÇÕES

Figura 1 - Cronograma das Atividades.....	19
Figura 2 - Princípios do Lean Thinking	21
Figura 3 - Os sete desperdícios.....	24
Figura 4 - Etapas iniciais do Mapeamento de Fluxo de Valor	29
Figura 5 - Matriz de família de produtos.....	30
Figura 6 - Ícones do fluxo de materiais	31
Figura 7 - Ícones do fluxo de informações	31
Figura 8 - Cartão Kanban	35
Figura 9 - Pilares do TPM	40
Figura 10 - Fluxo de produção empurrada	43
Figura 11 - Fluxo de produção puxada.....	45
Figura 12 - Planta da empresa "Alfa"	47
Figura 13 - Unidades de Gases do Ar.....	48
Figura 14 - Cilindros de gases de alta pressão.....	49
Figura 15 - Partes do cilindro, sendo A: Base; B: Corpo; C: Ogiva.	50
Figura 16 - Gargalo do cilindro.	50
Figura 17 - Colarinho do cilindro.	51
Figura 18 - Válvula do cilindro.	51
Figura 19 - Capacete do cilindro.	51
Figura 20 - Identificações do cilindro.....	52
Figura 21 - Demanda por tipo de gás.	53
Figura 22 - Cilindros de gases.	55
Figura 23 - Tempo de ciclo e takt time atual.....	58
Figura 24 - Tempo de ciclo de um cilindro para cada área de operação	59
Figura 25 - Matriz Impacto na Produtividade x Gravidade.....	60
Figura 26 - Matriz Impacto na Produtividade x Gravidade.....	62
Figura 27 - Cilindro com defeito de corrosão.....	63
Figura 28 - Cilindros posicionados no manifold para enchimento.....	64
Figura 29 - Movimentação do estoque de cilindros vazios até o manifold	65
Figura 30 - Movimentação do manifold até o estoque de cilindros cheios	65
Figura 31 - Diagrama de movimentação antes da melhoria	67
Figura 32 - Cilindros de gases no pallet	68

Figura 33 - Empilhadeira industrial.....	68
Figura 34 - Diagrama de movimentação depois da melhoria.....	69
Figura 35 - Porcentagem de ociosidade atual para a área de carregamento dos cilindros	70
Figura 36 - Porcentagem de ociosidade futura para a área de carregamento dos cilindros.....	71
Figura 37 - Redução no tempo de espera na área de enchimento dos cilindros	72
Figura 38 - Base para combinação de pressão e temperatura no enchimento de cilindros de oxigênio	73
Figura 39 - Controle manual da temperatura do cilindro no momento de enchimento.....	74
Figura 40 - Parafusadeira elétrica dobrável Makita.....	74
Figura 41 - Sistema PLC da Weldcoa	75
Figura 42 - Terminal para configurar e ligar o sistema para enchimento dos cilindros da Weldcoa.....	76
Figura 43 - Manifold para o enchimento dos cilindros automatizado da Weldcoa.....	76
Figura 44 - Tempo de ciclo e takt time futuro.....	77
Figura 45 - Comparação dos tempos operacionais do estado atual e do estado futuro	78

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 – Fases do TPM.....	38
Tabela 2 – Vantagens do <i>Heijunka</i>	42
Tabela 3 – Demanda por tipo de gás.....	53
Tabela 4 – Propriedades físico-químicas oxigênio.....	54
Tabela 5 – Problemas Identificados.....	61
Tabela 6 – Tabela de Resultados.....	79

LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

ABEPRO	Associação Brasileira de Engenharia de Produção
DOT	<i>Department of Transportation</i>
EUA	Estados Unidos da América
FEI	Fundação Educacional Inaciana Pe. Sabóia de Medeiros
JIT	<i>Just-in-Time</i>
L/T	<i>Lead time</i>
MFV	Mapeamento do Fluxo de Valor
NASA	<i>National Aeronautics and Space Administration</i>
PLC	<i>Programmable Logic Controller</i>
STP	Sistema Toyota de Produção
TAV	Tempo de Agregação de Valor
TPM	<i>Total Productive Management</i>
TR	Tempo de Troca
T/C	Tempo de Ciclo
VSM	<i>Value Stream Mapping</i>
WIP	<i>Work in Progress</i>

SUMÁRIO

1 INTRODUÇÃO	16
1.1 ÁREA DA ABEPRO EM QUE SE ENQUADRA O TEMA ESCOLHIDO.....	16
1.2 FORMULAÇÃO DO PROBLEMA.....	17
1.3 OBJETIVOS	17
1.3.1 Objetivo geral.....	17
1.3.2 Objetivos específicos.....	17
1.4 JUSTIFICATIVA	17
1.5 METODOLOGIA.....	18
1.6 CRONOGRAMA	18
2 LEAN MANUFACTURING	20
2.1 ORIGEM DO LEAN MANUFACTURING	20
2.2 PRINCÍPIOS DO LEAN MANUFACTURING	21
2.2.1 Determinar valor	22
2.2.2. Identificar a cadeia de valor	22
2.2.3. Fluxo contínuo	22
2.2.4 Produção puxada	22
2.2.5 Busca à perfeição	22
2.3 OS SETE DESPERDÍCIOS	23
2.3.1 Perdas por superprodução.....	24
2.3.2 Perdas por transporte	24
2.3.3 Perdas por excesso de processamento.....	25
2.3.4 Perdas por defeito.....	25
2.3.5 Perdas por espera	25
2.3.6 Perdas no movimento	26
2.3.7 Perdas por estoque.....	26
2.4 FERRAMENTAS DO LEAN MANUFACTURING	27
2.4.1 Principais métricas do <i>Lean Manufacturing</i>	27
2.4.2 <i>Kaizen</i>.....	28

2.4.3 Mapeamento de Fluxo de Valor	29
<i>2.4.3.1 Selecionando uma família de produtos.....</i>	<i>30</i>
<i>2.4.3.2 O mapa do estado atual</i>	<i>30</i>
<i>2.4.3.3 O que torna um fluxo de valor enxuto.....</i>	<i>32</i>
<i>2.4.3.4 O mapa do estado futuro</i>	<i>33</i>
2.4.4 Diagrama de Espaguete	33
2.4.5 5S.....	34
2.4.6 Kanban	34
<i>2.4.6.1 Tipos de Kanban</i>	<i>35</i>
2.4.7 Just-In-Time	36
<i>2.4.7.1 Características do Just-In-Time.....</i>	<i>37</i>
2.4.8 TPM	37
<i>2.4.8.1 Características do TPM.....</i>	<i>39</i>
2.4.9 Heijunka	41
<i>2.4.9.1 O Quadro Heijunka</i>	<i>42</i>
2.4.10 Empurrada vs puxada.....	43
<i>2.4.10.1 Produção empurrada.....</i>	<i>43</i>
<i>2.4.10.2 Produção Puxada</i>	<i>44</i>
3 ESTUDO DE CASO	46
3.1 APRESENTAÇÃO DA EMPRESA “ALFA”	46
3.1.1 Estrutura da empresa.....	48
3.1.2 Valores da empresa e normas de qualidade.....	49
3.2 CILINDROS DE GASES	49
3.3 ESCOLHA DA FAMÍLIA DE PRODUTO	52
3.3.1 Cilindro de gás oxigênio	53
3.4 FLUXO DE PROCESSOS: CILINDRO DE GÁS OXIGÊNIO	55
3.5 MAPEAMENTO DO FLUXO DE VALOR.....	56
3.5.1 Mapeamento de fluxo de valor do estado atual	56

3.5.2 Critério de priorização de problemas.....	59
3.5.3 Identificação e Priorização dos Desperdícios.....	60
3.5.3.1 Problema A	62
3.5.3.2 Problema B	63
3.5.3.3 Problema C	66
3.5.3.4 Problema D	69
3.5.3.5 Problema E	72
3.5.4 Mapeamento de fluxo de valor do estado futuro	77
3.6 EXPECTATIVA DE GANHOS.....	78
4 CONCLUSÃO.....	81
REFERÊNCIAS.....	83
APÊNDICE A – FLUXOGRAMA.....	88
APÊNDICE B – MAPA DE FLUXO DE VALOR DO ESTADO ATUAL.....	90
APÊNDICE C – MAPA DE FLUXO DE VALOR DO ESTADO FUTURO.....	92

1 INTRODUÇÃO

Diante do cenário competitivo entre empresas, a necessidade de constantes melhorias nos processos de produção de indústrias se acentuou, visando vantagem competitiva em tempo, custos e qualidade. Além disso, intensificou-se a busca por redução de falhas e quebras para aumento de produtividade, pois alguns segundos a mais em alguma etapa causam custos mais elevados.

Segundo Antunes (2008), para trazer mais eficiência aos processos de produção de uma empresa, é preciso influenciar o desenvolvimento positivo de fatores de desempenho, entre eles, estão os custos, os processos, a flexibilidade, a inovação, a qualidade, a logística e o desenvolvimento de novos produtos.

Para isso, técnicas de melhoria contínua são aplicadas nos processos. As ferramentas do *Lean Manufacturing* são utilizadas com o intuito de aprimorar a eficiência dos processos produtivos, reduzindo gargalos, perdas e pontos em deficiência, por isso, o investimento nessas ferramentas estão sendo cada vez mais procurados. Segundo Shingo (1996), o *Lean Manufacturing* foca na produção enxuta, tendendo à eliminação de desperdícios de produção.

A implementação desta filosofia nascida no Japão requer uma mudança na ideologia da organização em toda a estrutura organizacional. Isso se dá pelo fato de que novos ideais são difíceis de serem aplicados em empresas que apresentam culturas consolidadas. A inclusão de todos faz com que as etapas sejam executadas sem insatisfação de algum funcionário da empresa.

Neste estudo de caso, uma empresa do segmento químico no setor de gases industriais, terá seu processo de produção e envase de cilindros de gases analisado, buscando gargalos de produção e desperdícios para a redução e/ou eliminação dos mesmos, através das ferramentas do *Lean*.

1.1 ÁREA DA ABEPRO EM QUE SE ENQUADRA O TEMA ESCOLHIDO

O tema escolhido se enquadra na área “Engenharia de Operações e Processos da Produção”. Segundo a Associação Brasileira de Engenharia de Produção - ABEPRO (2015), esta área cuida de projetos, operações e melhorias dos sistemas que realizam produtos da empresa, sejam eles bens ou serviços.

1.2 FORMULAÇÃO DO PROBLEMA

Este trabalho tem como meta responder os seguintes questionamentos:

- a) As ferramentas do *Lean Manufacturing* podem mudar significativamente o processo produtivo proposto na empresa em questão trazendo melhorias?
- b) Quais seriam os benefícios no processo ao aplicar as ferramentas? Reduziria desperdícios? Aumentaria a produtividade?

1.3 OBJETIVOS

Baseando-se na formulação do problema descrita acima, este trabalho possui os seguintes objetivos:

1.3.1 Objetivo geral

O objetivo geral é analisar a possibilidade de aplicação das ferramentas do *Lean Manufacturing* no processo de produção de cilindro de gases em uma indústria do segmento químico com o propósito de identificar perdas e desperdícios.

1.3.2 Objetivos específicos

Os objetivos específicos são:

- a) Realizar o mapeamento do processo de produção de cilindros de gases;
- b) Identificar os desperdícios e gargalos do processo;
- c) Apontar possíveis melhorias e soluções para os problemas identificados.

1.4 JUSTIFICATIVA

O *Lean Manufacturing* apresenta diversas ferramentas que possibilitam análises mais aprofundadas de processos produtivos de uma empresa, através da observação de gargalos e pontos a serem melhorados, gerando benefícios e melhorias para eles, através do aumento da produtividade e da eficiência, e da redução de desperdícios, por exemplo.

Visto isso, o processo de produção e envase dos cilindros de gases que será estudado neste trabalho pode ser analisado por meio desta filosofia, obtendo possíveis melhorias para os

pontos críticos que poderão ser encontrados. Esperando-se assim um aumento na eficácia da empresa, com menos desperdícios e mais produtividade.

As ferramentas do *Lean* foram escolhidas para análise de processo a fim de reduzir desperdícios, uma vez que para Ohno (1988), desperdício é definido como qualquer atividade que consome recursos, gerando custos sem valor ao produto desejado pelo cliente, assim agregando sugestões de melhorias aos processos da empresa.

1.5 METODOLOGIA

Este trabalho pode ser classificado como uma pesquisa com finalidade exploratória, onde será desenvolvida uma investigação quanto ao tema *Lean Manufacturing* nos processos produtivos de cilindros de gases em uma empresa do segmento químico, localizada em Mogi das Cruzes, através da realização de entrevistas com os gestores responsáveis.

Para o desenvolvimento do levantamento de campo, serão aplicadas as técnicas da metodologia do *Lean* na empresa. Visando melhorias de tempo e produtividade, será realizado um mapeamento do fluxo de valor do processo de produção dos cilindros, análises de processo, como determinação das perdas e sugestões de correções, aplicando as técnicas do *Lean*.

O referencial teórico foi coletado através de pesquisas bibliográficas de caráter exploratório em artigos científicos e livros relacionados ao tema *Lean Manufacturing* e assuntos interligados, como seus subtemas TPM e *Kanban*.

1.6 CRONOGRAMA

Na figura abaixo encontra-se o cronograma do presente trabalho, onde é especificada cada atividade do projeto e seu respectivo mês de realização.

Figura 1 - Cronograma das Atividades

ATIVIDADES	2020					...	2021				
	Ago	Set	Out	Nov	Fev		Mar	Abr	Mai	Jun	
ETAPA INICIAL											
Definição do tema e orientador											
REFERENCIAL TEÓRICO											
Coleta do referencial teórico											
Primeira entrega (Referencial teórico)											
Revisão do referencial teórico											
COLETA DE DADOS											
Entrevistas com gestores e colaboradores da empresa											
ESTUDO DE CASO											
Discussão dos dados obtidos											
Análise dos dados											
Desenvolvimento das melhorias e resultados											
Entrevistas com o orientador											
FINALIZAÇÃO											
Conclusão dos resultados											
Revisão final											
Preparação do material de apresentação											
Ensaio da apresentação											
Apresentação do trabalho											

Fonte: Autor, 2021.

2 LEAN MANUFACTURING

Segundo Shingo (1996), o sistema de produção pode ser definido como sendo a combinação entre os processos e as operações, sendo o primeiro a transformação de matéria-prima em produtos através de um fluxo e, o segundo, as condutas dos trabalhadores e máquinas que realizam os processos.

O *Lean Manufacturing*, também conhecido como manufatura enxuta, busca a eliminação de desperdícios dentro de um sistema de produção, com a aplicação de melhorias contínua através de meios e métodos. Para isso, busca a implementação de um sistema que produza o necessário com a menor quantidade de máquinas, mão de obra, estoques, defeitos, fazendo no menor tempo possível ao menor custo (PLENERT, 2007).

O sistema busca a redução dos custos por meio de soluções que contemplam identificação e a eliminação de desperdícios, produzindo apenas o necessário, na quantidade requisitada e no momento necessário. Tem-se que a implementação da filosofia *Lean* resulta de um conjunto de práticas simples que visam otimizar os processos produtivos, baseados em uma nova forma de pensar a gestão (LIKER, 2004, referido por SEBROSA, 2008).

Esse conceito deve ser implementado de forma a envolver todos os colaboradores de todas as áreas, fundindo-se com a cultura organizacional da empresa e gerando um sistema integrado com máxima produtividade nas atividades realizadas (GIANNINI, 2007).

A gestão do *Lean* visa a aplicação da melhoria contínua com a motivação dos trabalhadores para sugerirem mudanças que aumentem a eficiência do processo, identificando problemas e gerando soluções.

2.1 ORIGEM DO LEAN MANUFACTURING

O *Lean Manufacturing* originou-se durante a Segunda Guerra Mundial, no sistema de produção da Toyota fundado por Taiichi Ohno, momento o qual o Japão sofria uma grande estagnação do mercado, além da falta de recursos. Neste período, o sistema de produção fundido mundialmente era o Fordismo, criado por Henry Ford, conhecido por sua linha de montagem, padronização da produção, funcionários pouco qualificados e produção em massa, mas sem grande variedade de produtos.

Devido ao impacto causado pela guerra, tornou-se necessário desenvolver um sistema de produção que se sustentasse com o cenário daquela época, mas sem a implementação da produção em massa, já que a demanda era baixa. Desta maneira, baseado no modelo de Henry Ford e na produção artesanal, mas com as adaptações de Taiichi Ohno, surgiu o Toyotismo

(STP), metodologia voltada para as necessidades do cliente, com baixo custo de produção e maior flexibilização (LIKER 2004).

O conceito de *Lean Manufacturing* foi introduzido inicialmente por Womack em 1990, sendo o desenvolvimento do STP no ocidente com o intuito de adaptação das necessidades do mercado (WOMACK, 1990).

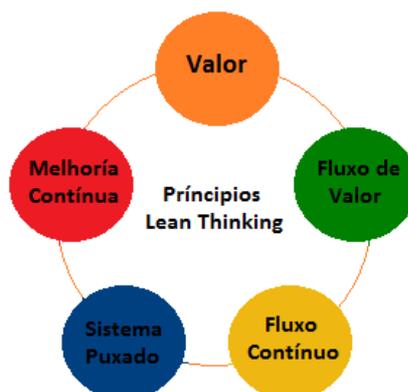
A filosofia Lean assume-se como uma revolução que tem o potencial de melhorar, efetivamente, a capacidade produtiva de qualquer empresa. Este conceito nasceu do resultado de uma aprendizagem prática e dinâmica dos processos produtivos originários dos setores têxteis e automobilísticos, que surgiu cimentado na ambição e nas contingências do mercado Japonês. [...] Lean Manufacturing contribui com um conjunto de medidas e ferramentas adotadas como resposta à enorme crise atual e a necessidade das empresas de todo e qualquer ramo de especificação se tornar competitiva ao mercado. Os conceitos inerentes à filosofia regem-se, basicamente, pela eliminação dos desperdícios existentes tendo como consequência direta o aumento da produtividade e da eficiência nas linhas produtivas (BASTOS, 2012, p.3).

Por conta da sua eficiência, a ideia da manufatura enxuta se expandiu rapidamente por todo lugar. Hoje, a filosofia é aplicada em diversas empresas podendo ser implementada em todas as áreas de uma empresa, com o surgimento de diversas vertentes como *Lean Office* (área administrativa), *Lean Healthcare* (área da saúde), *Lean Construction* (área de construção civil), entre outros.

2.2 PRINCÍPIOS DO LEAN MANUFACTURING

O conceito do *Lean Manufacturing* é baseado no pensamento enxuto e constituído pela prática da melhoria contínua nos processos e, também, pela eliminação de desperdícios. Segundo Womack (2004), para construção de uma mentalidade enxuta em uma empresa é necessário a implementação de cinco princípios básicos.

Figura 2 - Princípios do *Lean Thinking*



Fonte: Autor "Adaptado de" Ferreira, 2018

2.2.1 Determinar valor

Definir o que é valor na perspectiva do cliente, identificando suas necessidades a fim de satisfazê-las. O preço do produto deve estar de acordo com o que o cliente está disposto a pagar. Conforme Shultz et al. (1994, p. 25), “para o consumidor, a percepção é a verdade. A percepção pode não estar correta, mas é o que ele conhece, e o que ele conhece é tudo o que ele precisa conhecer”

2.2.2. Identificar a cadeia de valor

Identificar os processos necessários para a fabricação do produto. Definir/analisar o fluxo de valor, possivelmente dividido em três categorias: as atividades que agregam valor, as atividades que não agregam valor, mas são fundamentais e dão suporte ao processo, e as atividades que não geram valor e devem ser eliminadas imediatamente (WOMACK, 2004).

2.2.3. Fluxo contínuo

Após detalhar o fluxo de valor e eliminar os desperdícios do processo, é preciso que o fluxo se mantenha contínuo, sem pausas. Este princípio reduz o tempo de ciclo do produto, dando uma vantagem competitiva à empresa (PINTO, 2008).

2.2.4 Produção puxada

Trata-se de produzir exatamente aquilo que o cliente precisa quando necessário, ao invés da empresa empurrar o produto para o cliente. Para Womack (2004), o fluxo de informações deve ser contrário ao do produto, ou seja, ir do cliente final para o fornecedor de matéria-prima.

2.2.5 Busca à perfeição

Promove a interação dos princípios citados acima para que o processo flua com mais agilidade, evidenciando os desperdícios para que estes sejam eliminados. Baseado na transparência que o sistema enxuto propõe, busca a melhoria contínua do processo (Kaizen) (WOMACK, 2004).

2.3 OS SETE DESPERDÍCIOS

A equação estabelecida por Ghinato (1996) relata o funcionamento do mercado quando o preço de venda dos produtos era determinado pela somatória de custos e lucros de uma empresa.

$$\text{CUSTOS} + \text{LUCROS} = \text{PREÇO}$$

Entretanto, o aumento da competitividade econômica faz com que o consumidor disponha do poder de escolha, definindo o valor pago pela mercadoria, conforme equação restabelecida por Ohno.

$$\text{PREÇO} - \text{CUSTOS} = \text{LUCROS}$$

Desta maneira, surge a necessidade da eliminação dos desperdícios no sistema de produção para redução de custos com o intuito de aumentar o lucro da empresa (SHINGO, 1996).

Os desperdícios são atividades que não agregam valor ao produto final, são processos desnecessários que fazem com que o cliente pague um preço maior pelo produto e, por isso, devem ser eliminados (OHNO, 1988).

Existem dois tipos de desperdícios, aqueles que são necessários no processo ou que suportam alguma atividade essencial e, portanto, devem ser redefinidos, e aqueles que não possuem nenhuma utilidade no sistema e, por isso, devem ser eliminados imediatamente.

A filosofia do *Lean Manufacturing* é baseada no conceito de eliminação dos sete desperdícios dentro do sistema de produção (WERKEMA, 2010), sendo estes estabelecidos por Taiichi Ohno como: movimentação, transporte, espera, defeitos, processamento desnecessário, superprodução e estoque.

Em 1996, foi identificado por Womack e Jones um oitavo desperdício referente à desvalorização das pessoas envolvidas na organização. Este desperdício relata o não aproveitamento do intelectual dos trabalhadores, causado pela desmotivação e perda de ideias para melhorias de processos.

A busca de uma tecnologia de produção que utilize a menor quantidade de equipamentos e mão-de-obra para produzir bens sem defeitos no menor tempo possível, com o mínimo de unidades intermediárias, entendendo como desperdício todo e qualquer elemento que não contribua para o atendimento da qualidade, preço ou prazo requerido pelo cliente. Eliminar todo desperdício através de esforços concentrados da administração, pesquisa e desenvolvimento, produção, distribuição e todos os departamentos da companhia (SHINOHARA, 1988).

Figura 3 - Os sete desperdícios



Fonte: Autor “Adaptado de” Skhmot, 2017.

2.3.1 Perdas por superprodução

A perda por superprodução ocorre quando a produção é maior que o necessário para atender a demanda do cliente. Segundo Shingo (1996), existem dois tipos de perdas por superprodução:

- a) Quantitativa, refere-se à produção em alta quantidade, superior a demanda do cliente. Este tipo de superprodução possui o intuito de gerar estoques propositalmente em casos de imprevistos;
- b) Antecipada, refere-se à produção que ocorre antes da demanda, podendo gerar estoques caso a previsão não seja atingida.

A superprodução pode ocasionar um aumento de produtos estocados, aumentando o custo de armazenamento, além do custo de transporte de material, mão de obra e descarte.

2.3.2 Perdas por transporte

O transporte de matéria-prima, produto acabado ou inacabado é uma atividade que não agrega valor ao produto, o cliente não paga por este custo e, por isso, deve ser eliminado ao máximo (SHINGO 1996).

Segundo Ghinato (1996), o transporte pode ocupar 45% do tempo total do processo de fabricação. Um processo que possui muitas perdas por transportes aumenta o tempo do mesmo e desperdiça recursos, aumentando o custo de produção.

Para aplicar melhorias deve-se primeiramente fazer alterações no layout para depois implementar o uso de empilhadeiras, correias transportadoras ou qualquer outro equipamento de movimentação.

2.3.3 Perdas por excesso de processamento

As perdas por excesso de processamento são atividades que fazem parte do processo, sejam estas realizadas pelo homem ou pela máquina, mas são desnecessárias pois não acrescentam valor ao produto/serviço final e, portanto, se eliminadas não alteraram suas características e funções básicas (GHINATO, 1996).

De acordo com Antunes (2008), para identificar esses desperdícios dentro de um processo deve-se responder à duas perguntas:

- a) Por que este tipo de produto/serviço pode ser produzido?
- b) Por que esse método deve ser utilizado no processo?

2.3.4 Perdas por defeito

As perdas por produtos defeituosos estão relacionadas à produção de peças, componentes e produtos acabados que não atendem às especificações da qualidade, podendo ocasionar uma superprodução para substituir os defeituosos ou o retrabalho do produto (ANTUNES, 2008).

Ghinato (1996) afirma que a fabricação de produtos defeituosos provoca perdas por espera, transporte, movimentação, estoque, além de impactar no lead time de entrega, no custo do produto e na programação do pedido do cliente.

Segundo Shingo (1996) há dois tipos de inspeção para eliminar defeitos no processo:

- a) Identificação/eliminação do defeito durante o processo, agindo rapidamente, a fim de prevenir produtos defeituosos;
- b) Identificação do defeito no final do processo e separação do produto defeituoso.

2.3.5 Perdas por espera

Ohno (1988) afirma que as perdas por espera estão relacionadas ao uso improdutivo dos recursos trabalhador e máquina, por conta do tempo ocioso durante a produção devido a algum

gargalo. Este desperdício está associado diretamente ao custo de mão de obra na produção, podendo estimular o seu aumento mesmo que a atividade não agregue valor ao produto final.

Shingo (1996) identifica duas perdas por espera:

- a) Espera do lote: ocorre quando parte dos itens de um lote aguardam o restante ser processado para seguirem para a próxima operação, gerando um estoque intermediário;
- b) Espera do processo: ocorre quando o lote está aguardando o recurso produtivo para ser processado, podendo gerar filas na operação.

A espera por máquina é tolerada no STP devido ao custo/hora máquina ser superior ao custo/hora da mão de obra (SHINGO, 1996). Além disso, uma empresa pode optar pela ociosidade da máquina para evitar a superprodução, um dos sete desperdícios.

2.3.6 Perdas no movimento

De acordo com Shingo (1996), as perdas no movimento estão associadas à movimentação desnecessária dos trabalhadores durante o processo, podendo ser causadas pelo layout inadequado ou falta de padronização das atividades.

Este desperdício é difícil de ser detectado decorrente da falta de padronização da operação. Pode ser eliminado através do estudo de tempos e movimentos e, posteriormente, via mecanização (OHNO, 1997).

2.3.7 Perdas por estoque

As perdas por estoque são constituídas pelos inventários de matéria-prima, produto acabado e material em processo. São considerados desperdícios pois não agregam valor ao produto final (BORNIA, 2002).

Ghinato (1996) relata que a necessidade do estoque advém da alta variabilidade dos processos, manter uma reserva de produto para atender demandas inesperadas ou para manter a produção em casos de imprevistos (quebras de máquinas ou problemas com fornecedores). Entretanto, a manufatura enxuta possui o intuito de reduzir essa variabilidade e, conseqüentemente, trabalhar com pequenos e baixos estoques (DRICKHAMER, 2005).

Para Shingo (1996), há três tipos de estoques intermediários:

- a) Estoques devido ao desbalanceamento do processo, causado pelo desbalanceamento das quantidades e pela falta de sincronização da produção;
- b) Estoques que compensam problemas crônicos, como quebras de máquinas, produtos defeituosos, tempo elevado de setup, mudanças nos planos de produção, tempos de produção com alta variação;
- c) Estoques devido à previsão gerencial de algum desequilíbrio na produção, chamados de estoques de segurança.

Uma elevada quantidade de produtos estocados pode significar em aumento de custos de produção, perdas de produto por conta da validade e, também, pode enrustir problemas do processo.

2.4 FERRAMENTAS DO LEAN MANUFACTURING

Para colocar em prática os princípios da produção enxuta é necessário aplicar algumas ferramentas. No entanto, a essência do *Lean Manufacturing* representa um processo de mudança de cultura da organização e, portanto, não é algo simples de ser atingido. O fato de uma empresa utilizar ferramentas *Lean* não significa que foi obtido êxito na implementação do *Lean Manufacturing* (WERKEMA, 2011).

2.4.1 Principais métricas do *Lean Manufacturing*

De acordo com Werkema (2011), para analisar os desperdícios que possam estar presentes no processo, identificar a velocidade e eficiência do processo, além de definir as metas a serem atingidas e verificar o alcance final, é necessário utilizar algumas métricas do *Lean Manufacturing*. Dentre elas estão:

- a) Tempo de ciclo (T/C): É o tempo necessário para a execução de uma peça, ou seja, o tempo transcorrido entre a repetição do início ao fim da operação. Este tempo deve ser cronometrado através da observação (ROTHER; SHOOK, 2012);
- b) Tempo de agregação de valor (TAV): É apenas o tempo das operações que agregam valor para o cliente, ou seja, aqueles que transformam o produto (ROTHER; SHOOK, 2012);
- c) Tempo de Não Agregação de Valor (TNAV): É o tempo das atividades que adicionam custo, mas não agregam valor ao produto (ROTHER; SHOOK, 2012);

- d) *Lead Time* (L/T): É o tempo necessário para percorrer todo o fluxo de valor, desde o pedido do cliente até a entrega do produto;
- e) Tempo de *setup* ou Tempo de troca (TR): “O tempo de troca é medido pelo intervalo decorrido entre a fabricação da última peça do ciclo de produção que acabou de ser finalizado e a fabricação da primeira peça perfeita do novo tipo de produto.” (WERKEMA, 2011, p. 21);
- f) Trabalho em processo (WIP): São os estoques em processo. Descreve as matérias primas, os produtos parcialmente acabados aguardando conclusão e os produtos acabados, mas que ainda não foram liberados (WERKEMA, 2011);
- g) Tempo *Takt* (*Takt time*): *Takt time* é um termo que vem do alemão, em que *Takt* significa compasso/ritmo. É o tempo em que se deve produzir uma peça ou produto, baseado no ritmo de vendas, para atender a demanda dos clientes (WERKEMA, 2011). Segundo Rother e Shook (2012) é calculado pela seguinte equação:

$$Takt\ time = \frac{Tempo\ de\ trabalho\ disponível\ por\ turno}{Demanda\ do\ cliente\ por\ turno} \quad (1)$$

2.4.2 Kaizen

De acordo com Martins e Laugeni (2005) a palavra japonesa *kaizen* é formada a partir de KAI, que significa *modificar*, e ZEN, que significa *para melhor*. Associa-se à ideia de melhoria contínua, não apenas no trabalho, como também no lar e na vida social.

O *kaizen* propõe uma mudança organizacional e comportamental, e exige a aplicação de dois elementos: da melhoria, entendida como uma mudança para melhor e da continuidade, entendida como ações permanentes de mudança. É preciso cultivar a mentalidade *kaizen* com pequenas melhorias diárias, buscando sempre mudar para melhor (MARTINS; LAUGENI, 2005).

Martins e Laugeni (2005) definem três tipos de *kaizens* que podem ser aplicados em uma organização, são eles:

- a) *kaizen* de projeto: desenvolver novos conceitos para novos produtos;
- b) *kaizen* de planejamento: desenvolver um sistema de planejamento;
- c) *kaizen* de produção: desenvolver ações que visem eliminar os desperdícios no chão de fábrica e melhorem a segurança no trabalho.

2.4.3 Mapeamento de Fluxo de Valor

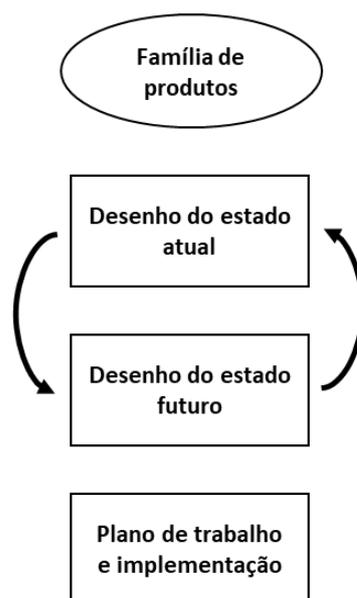
Segundo Werkema (2011), um fluxo de valor é composto por todas as atividades realizadas por uma empresa, tanto as atividades que agregam valor ao produto, como as atividades que não agregam valor. Sendo composto pelos seguintes dados:

- a) Fluxo de materiais, iniciando na cadeia de fornecedores, passando pela empresa e a entrega ao cliente;
- b) Transformação de matérias-primas em produtos acabados;
- c) Fluxo de informações, como as informações fluem através dos itens anteriores.

O mapeamento de fluxo de valor é uma ferramenta que utiliza ícones para desenhar e auxiliar na compreensão do fluxo de materiais e de informações na medida em que o produto percorre o fluxo de valor (ROTHER; SHOOK, 2012). O MFV é essencial pois, pode ser utilizado para identificar quais são as operações que geram valor e onde estão os desperdícios, visualizar os relacionamentos entre os processos, materiais e informações e é uma base para o plano de implementação das oportunidades de melhorias, visto que mapear o fluxo de valor ajuda a enxergar e focar no fluxo com uma visão de estado ideal (WERKEMA, 2011).

Mapear o fluxo de valor segue quatro etapas (Figura 4). O mapa do estado futuro está em destaque por ser o mais importante, é responsável por introduzir um fluxo *lean* na organização e um estado atual sem um estado futuro não é útil.

Figura 4 - Etapas iniciais do Mapeamento de Fluxo de Valor



Fonte: Autor “adaptado de” Rother e Shook, 2012

2.4.3.1 Selecionando uma família de produtos

Para Rother e Shook (2012) antes de começar a mapear o fluxo de valor é necessário escolher uma família de produtos, desenhar tudo que existe no chão de fábrica é algo muito complicado. Uma família é composta por um grupo de produtos que percorrem os mesmos processos e utilizam os mesmos equipamentos. A figura 5 demonstra essa classificação.

Figura 5 - Matriz de família de produtos

		Etapas							
		1	2	3	4	5	6	7	8
Produtos	A	X	X	X		X	X		
	B	X	X	X	X	X	X		
	C	X	X	X		X	X	X	
	D		X	X	X			X	X
	E		X	X	X			X	X
	F	X		X		X	X	X	
	G	X		X		X	X	X	

Família de produtos

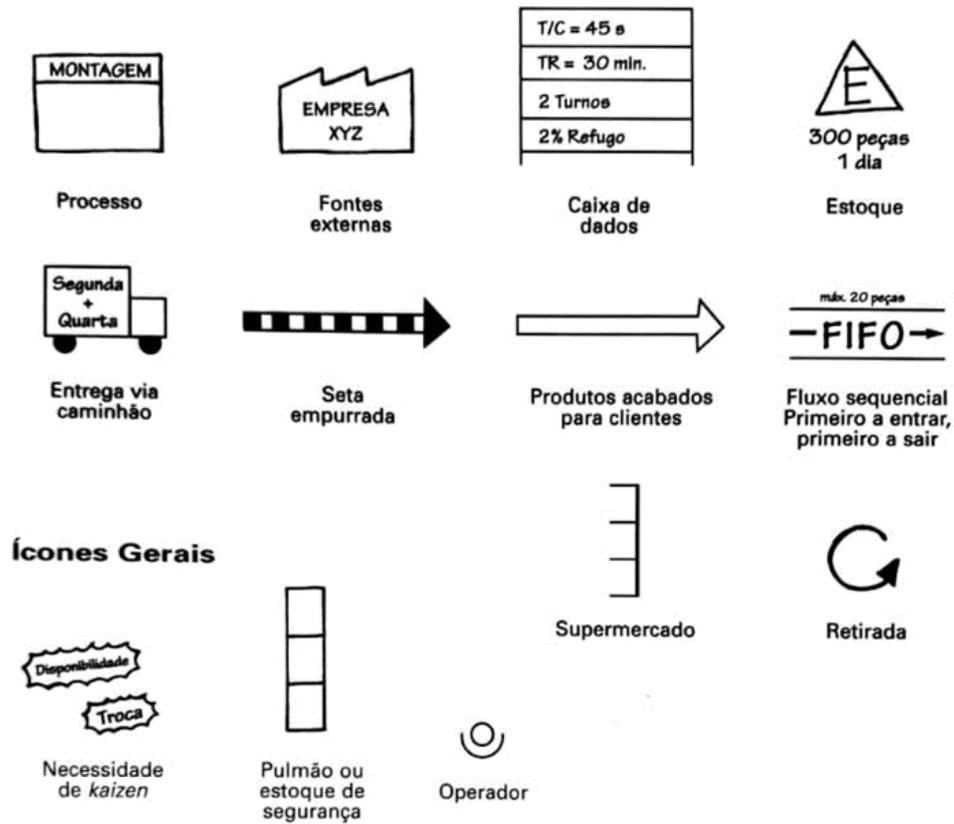
Fonte: Autor “adaptado de” Rother e Shook, 2012

2.4.3.2 O mapa do estado atual

Para alcançar um estado futuro, inicia-se com uma análise da situação atual, que é utilizada para discutir, planejar e implementar ações de melhoria. Escolhe-se um produto, a partir do levantamento das demandas dos clientes, com o maior volume de produção (ROTHER; SHOOK, 2012).

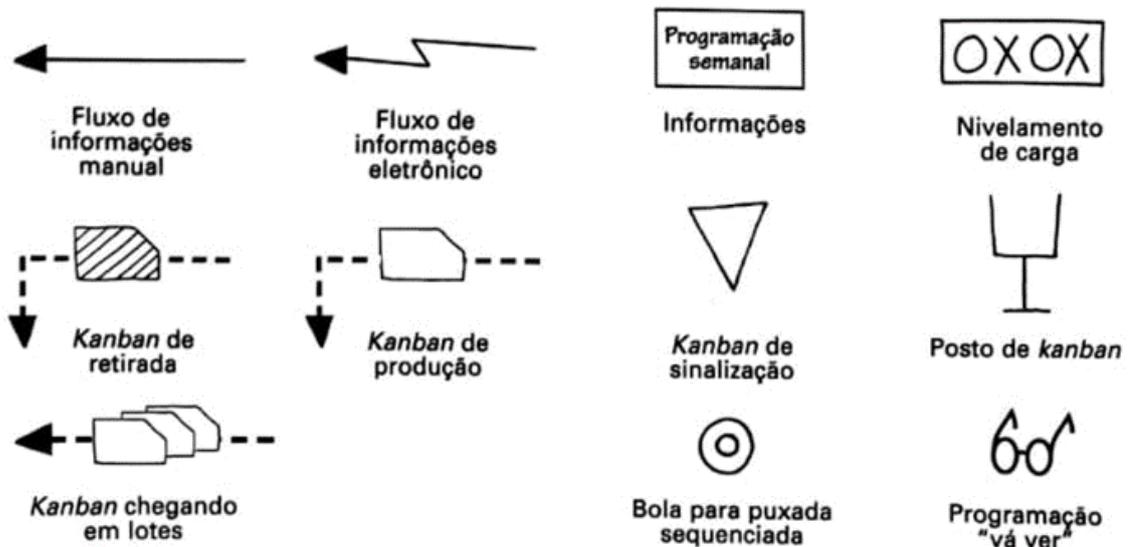
É usado um conjunto de símbolos, ou “ícones” para representar o fluxo de materiais e de informações, mostrados nas figuras 6 e 7, respectivamente.

Figura 6 - Ícones do fluxo de materiais



Fonte: Rother e Shook, 2012.

Figura 7 - Ícones do fluxo de informações



Fonte: Rother e Shook, 2012.

No mapa de fluxo de valor atual são observados alguns dados, tais como a identificação do cliente e suas necessidades, os processos básicos de produção contemplando as informações básicas como tempo de ciclo, tempo de setup, disponibilidade, número de operadores e índice de refugo, os acúmulos de estoque são registrados também, bem como o local destes. Pode-se ver o movimento de entrega dos produtos acabados para o cliente, os fornecedores das principais matérias-primas e o movimento da chegada dessas à empresa. Enxerga-se o fluxo de informação que pode ser via papel ou eletrônica, o movimento dos materiais que pode ser puxado ou empurrado e para finalizar uma linha do tempo para registro do tempo de processamento e do *lead time* (WERKEMA, 2011).

2.4.3.3 O que torna um fluxo de valor enxuto

Segundo Werkema (2011), existem algumas diretrizes que devem ser seguidas a partir do MFV atual para a construção do MFV futuro. Essas diretrizes funcionam como um guia para a construção de um processo que produza apenas o que o cliente interno necessita e quando necessita, e é justamente essa condição que se busca atingir no mapa do estado futuro. São elas:

- a) Produzir de acordo com o tempo *takt time*: sincronizar os ritmos de produção e vendas;
- b) Desenvolver um fluxo contínuo onde possível: movimentar apenas um item (ou um lote pequeno) por vez ao longo do fluxo de valor;
- c) Usar um sistema puxado baseado em supermercados para controlar a produção onde o fluxo contínuo não é possível: no supermercado é mantida uma quantidade predeterminada de material para fornecimento aos processos seguintes. A produção é iniciada após um item ser removido e receber um sinal para fabricar mais;
- d) Enviar a programação do cliente para somente um processo de produção: a programação controlada nesse único processo ditará o ritmo dos processos anteriores, todos os demais processos produzirão baseados na demanda do processo puxador. Usualmente tal processo é o último em um fluxo contínuo;
- e) Nivelar o mix de produção: inicialmente é necessário reduzir os tempos de *setup*, essa diretriz busca distribuir a manufatura de diferentes produtos uniformemente durante um período;
- f) Nivelar o volume de produção: liberar regularmente apenas uma pequena e consistente quantidade de trabalho no processo puxador e simultaneamente retirar a mesma quantidade de produtos acabados.

2.4.3.4 O mapa do estado futuro

Para Rother e Shook (2012), o objetivo de mapear o estado futuro é identificar as fontes de desperdícios e eliminá-los ou reduzi-los através da implementação de um fluxo de valor *lean*. Os processos que transformam o produto devem estar voltados para o que os clientes solicitam quando solicitam, por meio do fluxo contínuo ou do sistema puxado.

Os autores apresentam algumas questões-chaves para desenhar o estado futuro ideal, sendo:

- a) Qual é o tempo *takt*?
- b) Você produzirá para um supermercado de produtos acabados do qual os clientes puxam ou diretamente para a expedição?
- c) Onde você pode usar o fluxo contínuo?
- d) Onde você precisará introduzir os sistemas puxados com supermercados?
- e) Em que ponto único da cadeia de produção ("processo puxador") você programará a produção?
- f) Como você nivelará o mix de produção?
- g) Quais melhorias de processos serão necessárias?

Aplicando-se todas as diretrizes descritas no item anterior: o que torna um fluxo de valor enxuto, alinhado com as etapas-chaves definidas acima é possível obter resultados impressionantes. Como por exemplo, redução do *lead time*, ter o processo puxador operando de forma consistente segundo o ritmo de produção, resposta rápida aos problemas, redução de estoques, aumento de produtividade, eliminação dos desperdícios existentes (ROTHER; SHOOK, 2012).

Por fim, deve ser elaborado um plano de ação com todas as atividades necessárias para a implementação do estado futuro, dividindo e priorizando cada etapa (WERKEMA, 2011).

2.4.4 Diagrama de Espaguete

O Diagrama de Espaguete é uma ferramenta visual que mostra o movimento de pessoas e materiais através de um processo, dentro de um layout. Essa ferramenta remete a um dos 8 desperdícios da filosofia *Lean*: as movimentações desnecessárias. O uso dessa ferramenta é uma das maneiras mais básicas de compreender o fluxo de materiais e informações a fim de otimizá-los (MANOS; VINCENT, 2012).

2.4.5 5S

O 5s é um método usado com o objetivo de reduzir ou eliminar os desperdícios. Além de melhorar a eficiência e a produtividade em qualquer ambiente. Segundo Werkema (2011), a sigla 5s é derivada de cinco palavras japonesas que se iniciam com a letra S, definidas como:

- a) *Seiri* – Senso de utilização: separar os itens necessários dos desnecessários, desprezando-se os últimos;
- b) *Seiton* – Senso de organização: organizar os itens definidos como necessários, determinando o local específico de cada um;
- c) *Seiso* – Senso de limpeza: manter os itens e a área de trabalho limpos e conservados;
- d) *Seiketsu* – Senso de padronização: consiste em criar e seguir um padrão para sustentar os três primeiros S;
- e) *Shitsuke* – Senso de autodisciplina: estabelecer uma disciplina a ser seguida ao longo do tempo para manter os quatro primeiros S.

2.4.6 Kanban

O *Kanban* surgiu da carência de se ter um controle de fluxo de material na fábrica, com estoques tendendo a zero. Aplicado no chão de fábrica em empresas com produção repetitiva, ele se define como um sistema de controle visual simplificado, onde seus sistemas são um meio para a melhoria total e contínua dos sistemas de produção (SHINGO, 1996). É uma ferramenta gerenciadora do Sistema *JIT*, possui suas próprias funções independentes e é através dele que sistema *just-in-time* flui suavemente (OHNO, 1997).

Moura (1989; p.27) complementa que: "*kanban* é um método que reduz o tempo de espera, diminuindo o estoque, melhorando a produtividade e interligando todas as operações em um fluxo uniforme ininterrupto."

Já para Ohno (1997; p.131): "Um *Kanban* ("etiqueta") é um instrumento[...] para o primeiro pilar do Sistema Toyota de Produção. Basicamente *kanban* é uma forma simples e direta de comunicação localizada sempre no ponto que se faz necessária."

Com isso, podemos deduzir então que *Kanban* visa reduzir custos através da empresa com símbolos, cartões e painéis, produzindo somente o necessário, eliminando o desperdício material e pessoal.

O conceito de *Kanban* para Moura (1989; p.25):

É uma técnica de gestão de materiais e de produção no momento exato (*Just in Time*), que é controlado através do movimento do cartão (*Kanban*). O sistema *Kanban* é um método de "puxar" as necessidades dos produtos acabados e, portanto, é oposto aos sistemas de produção tradicionais. É um sistema simples de auto controle a nível de fábrica, independente de gestões paralelas e controles computacionais.

Figura 8 - Cartão *Kanban*

Hora da Entrega 10:30	Área de Estocagem <div style="display: flex; justify-content: space-around;"> <div style="border: 1px solid black; padding: 5px; font-size: 24px; font-weight: bold;">A</div> <div style="border: 1px solid black; padding: 5px; font-size: 24px; font-weight: bold;">1 - 1</div> </div>		Fábrica Central da Toyota Motors
 Fundação Ohashi	Número do Item 53018-60011	Identificação	Montagem n° 2
	Nome do Item Linha de pressão do radiador	Usado em FJ Carro tipo (I)	
Prateleira n° 1 - Embaixo	21	Tipo de Caixa Especial	50
		Capacidade da caixa 30	
Kanban de pedido de peças			

Fonte: Autor "Adaptado de" Ohno, 1997.

O sistema *Kanban* se baseia no uso de dois cartões, um na produção, onde, segundo Moura (1989), autoriza a produção de peças para repor as requisitadas para o uso nas próximas estações de trabalho. Estes cartões são usados apenas no centro de produção que produz a peça. E outro de movimentação, que autoriza a movimentação de peças das estações de alimentação até o ponto de uso. Eles são usados quando materiais são requeridos. Estes cartões circulam apenas entre dois centros de produção.

2.4.6.1 Tipos de *Kanban*

Há diferentes tipos de *Kanban*, sendo que todos citados por Ribeiro (1989; p.45), apresentam-se através de um cartão, que é a ferramenta de organização da produção e dos estoques.

Abaixo, a lista de tipos de *Kanban*:

- a) *Kanban* de Fabricação — É o cartão na qual acompanha as peças nos contêineres durante o processo de fabricação até a montagem. Deve conter informações que possibilitem o total acompanhamento do processo;
- b) *Kanban* de Matéria Prima — É o cartão utilizado entre os setores de fabricação e almoxarifado de matérias primas. Portanto, uma solicitação de material para a produção de novo lote;
- c) *Kanban* de Montagem - É o cartão usado entre o setor de montagem e os inventários (supermercado de peças), representando a sequência de programação de montagem;
- d) *Kanban* de Fornecedor - É o cartão utilizado entre o setor de montagem da fábrica e o fornecedor. Os contêineres de peças, junto com o cartão são expostos juntos diretamente no local de uso, sem necessidade de inspeções, nem de qualidade e quantidade nos prazos pré-determinados para o consumo. Os prazos de reposição e intervalo de entrega são controlados rigidamente.

Portanto, através do apresentado, conclui-se que *Kanban* é um método que diminui o tempo de espera aprimorando a produção, correlacionando todas as operações da produção.

2.4.7 Just-In-Time

O *Just-in-time* surgiu no Japão, em meados da década de 1970, sendo sua ideia básica e seu desenvolvimento creditado à *Toyota Motor Company* (CORRÊA; CORRÊA, 2012). Logo após seu surgimento, o seu objetivo principal se dava para reconstruir o “Japão Pós-Guerra”, na retomada das atividades industriais.

O intuito era de auxiliar a organização de processos produtivos. Ohno (1997) menciona que cada produto chegará a seu destino na forma, quantidade e qualidade necessárias. O autor criou expressões que passaram a ser utilizadas para traduzir aspectos da filosofia *Just-in-time*, tais como:

- a) Eliminação de desperdícios;
- b) Produção sem estoque;
- c) Produção enxuta (*lean production*);
- d) Esforço contínuo na resolução de problema.

2.4.7.1 Características do Just-In-Time

O *Just-in-time* é um sistema de administração com características de coordenar precisamente a produção com a demanda específica com menor tempo. Essa filosofia é um plano de produção que visa eliminar desperdícios, produtos com defeito e determinar a quantidade necessária do produto a produzir-se para o próximo processo na fabricação e qual o ritmo deve-se adotar nos postos de trabalho dando o correto andamento a produção (CORRÊA; CORRÊA, 2012).

Já para Alvarez (2001), o Just in time é uma metodologia com intenção de eliminar todas as formas de desperdícios na indústria, buscando aumentar a competitividade na atualidade. Esses desperdícios geralmente aparecem sob a forma de perdas, como por exemplo: altos estoques, baixa qualidade, tempo de fabricação demorados, excesso de movimentação, dos quais trazem certas preocupações na área de produção.

Em grande parte das companhias, tem-se o pensamento de que o excesso de estoque pode beneficiar a produção, mas este tipo de raciocínio oculta problemas na instituição. Corrêa e Corrêa (2012) compara o excesso de estoque com o excesso de água de um lago que encobre as pedras no fundo, representando os diversos problemas do processo produtivo.

Segundo Dennis (2008), a produção JIT segue algumas regras: produzir um item apenas após pedido do cliente, nivelar a demanda, conectar todos os processos à demanda através de *Kanban* e, por fim, maximizar a flexibilizar de pessoas e máquinas.

Contudo, conclui-se que a ferramenta Just in time consiste em entrega de produtos e serviços, no momento certo para uso imediato com qualidade, pois tem como objetivo a busca contínua pela melhoria do processo produtivo, reduzindo perdas e obtendo maior grau de satisfação.

2.4.8 TPM

No fim da 2ª guerra mundial – momento de necessidade de uma reconstrução no Japão – surgiu o TPM. O governo se sentia pressionado a aumentar a produtividade das linhas, e forçou as empresas japonesas a se adaptarem e se tornarem seguidoras das técnicas americanas de gestão e de produção, segundo Nakajima (1989).

De acordo com Suzuki (1994), o sistema *just in time* já trouxe a tendência de automatização, e alinhado a isso veio o estímulo de engajamento para melhorar a gestão de

manutenção nas indústrias japonesas. Assim, se originou a Manutenção produtiva total, uma manutenção que engloba a atividade de todos os colaboradores.

Nakajima (1989) reafirma que na década de 50 as empresas japonesas tiveram seus primeiros contatos com a manutenção preventiva, deixando de utilizar apenas a manutenção corretiva. Uniram-se também a manutenção preventiva alguns conceitos, como: prevenção da manutenção, manutenção produtiva e manutenção do sistema de produção, que buscavam o aumento da capacidade produtiva das máquinas.

Consultando o mesmo autor, a evolução da manutenção no Japão ocorreu em quatro fases diferentes, sendo elas:

- a) Manutenção Corretiva;
- b) Manutenção Preventiva;
- c) Manutenção do Sistema Produtivo;
- d) TPM.

O TPM se deu em 4 gerações. A sua primeira geração, segundo Moraes (2004), surgiu quando o departamento operacional também ficou responsável pela parte de mantimento básico das máquinas. Já na segunda, foram criados os seis conceitos de perda, sendo eles: Perda por quebra ou falha, perda por preparação e ajuste, perda por operação em vazio e pequenas paradas, perda por velocidade reduzida, perda por defeitos no processo e por fim, perda no início da produção.

Segundo o mesmo autor, a 3ª geração vem englobando mais tipos de perda, assim como a preocupação com o sistema de produção, sendo elas divididas em: oito perdas ligadas aos equipamentos; cinco perdas ligadas as pessoas e três perdas ligadas aos recursos físicos de produção.

A quarta geração se inicia nos anos 2000 e traz um diferencial em 20 grandes perdas distribuídas entre compras, inventário, processos e distribuição – Englobando mais setores da empresa nas atividades de manutenção e eliminação de ocorrência de falhas.

Na tabela a seguir, pode-se ver as fases do TPM.

Tabela 1 - Fases do TPM

	1ª Geração 1970	2ª Geração 1980	3ª Geração 1990	4ª Geração 2000
Estratégia	Máxima eficiência dos equipamentos		Produção e TPM	Gestão e TPM

Foco	Equipamento		Sistema de produção	Sistema geral da companhia
Perdas	Perda por falhas	Seis principais perdas nos equipamentos	Dezesseis perdas (equipamentos, fatores humanos e recursos na produção)	Vinte perdas (processos, inventário, distribuição e compras)

Fonte: Autor “Adaptado de” Palmeira, 2002.

2.4.8.1 Características do TPM

O conceito básico de TPM consiste na reformulação da estrutura de organização da empresa, das pessoas e dos equipamentos, a partir do envolvimento nas atividades de manutenção por parte de todos os níveis hierárquicos (TAVARES, 1999).

O termo manutenção é também definido como: Um conjunto de atividades com o objetivo de reduzir os defeitos de qualidade produzidos pelas avarias e eliminar a necessidade de ajustes dos equipamentos (SHIROSE, 1994, MORAES, 2004).

Como objetivo da TPM, Willmott (1994, p. 38) diz que é a “melhoria da estrutura empresarial mediante a melhoria da qualidade de pessoal e de equipamento”. Wyrebski (1997) complementa que para concretizar a melhoria da qualidade do equipamento é necessário primeiro realizar a melhoria da qualidade do pessoal.

Já Kardec e Nascif (2017), explicam o objetivo da TPM da seguinte maneira:

A TPM tem o objetivo de envolver todos os níveis e funções em uma organização para maximizar a eficácia global dos equipamentos de produção. Este método abrange os processos e equipamentos existentes em uma planta industrial, sempre com o intuito de reduzir falhas em máquinas, acidentes de trabalho e possíveis perdas na produção, além disso, todos devem passar por treinamentos específicos e mudar sua mentalidade, comprometendo-se mais com as tarefas do dia a dia.

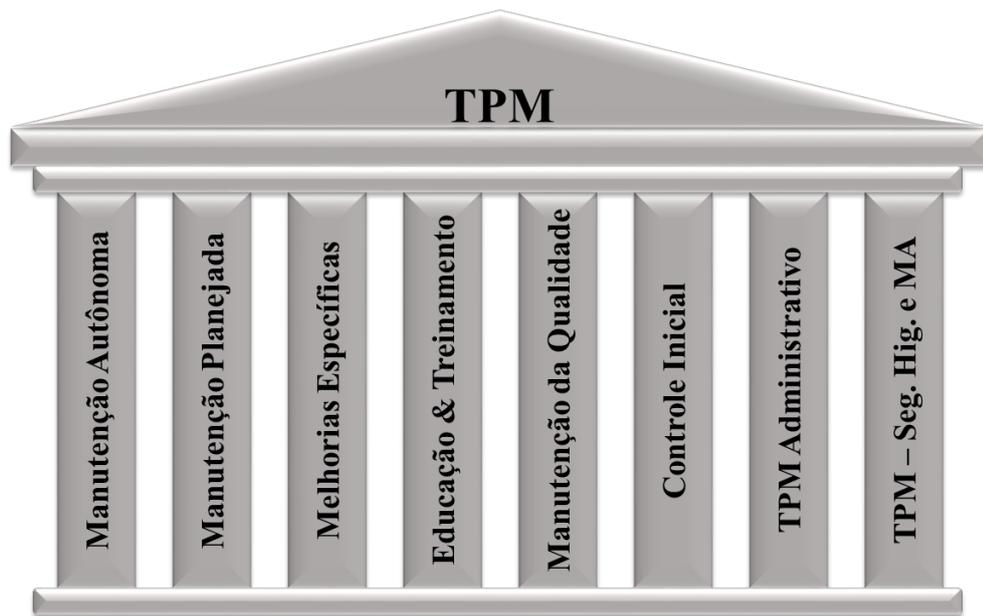
Estes objetivos somente são alcançados quando há um ambiente adequado para a realização de melhorias contínuas dentro das companhias e que também proporcionem aos colaboradores os treinamentos e conhecimento necessários para tal, segundo Pereira (2007).

O TPM busca atingir o seu objetivo através da transformação do operador em dono do próprio equipamento, dando-o responsabilidades simples e conseqüentemente liberando os

responsáveis pela manutenção para focar no desenvolvimento de qualificações para o sistema de manutenção. Dessa forma, a equipe responsável pela manutenção consegue focar em atividades mais complexas e faz com que o operador domine as atividades básicas de cuidado do próprio equipamento (KARDEC e NASCIF, 2017; SLACK et al.,2002).

Para a implementação do TPM, deve-se conhecer os oito pilares que sustentam a metodologia, aqui apresentados na figura abaixo:

Figura 9 - Pilares do TPM



Fonte: Autor “Adaptado de” Souza, 2011.

Nakajima (1998), Pereira (2007) e Kardec e Nassif (2017) explicam esses pilares:

- a) O primeiro pilar, de melhoria focada, se trata da manutenção corretiva de melhorias em casos de falhas crônicas;
- b) O segundo pilar, da manutenção planejada, tem como principal ativo a gestão das rotinas através de um sistema de planejamento da programação diária e do planejamento de paradas, com objetivo de garantir a disponibilidade, confiabilidade e controle dos custos;
- c) O terceiro pilar, da gestão antecipada, tem como propósito estabelecer um sistema a fim de prever as possíveis necessidades de manutenção de um equipamento na fase ainda de projeto, com o intuito de minimizar o seu impacto na produção;

- d) O quarto pilar tem como foco garantir a implementação dos treinamentos em toda equipe, ampliando a capacitação tanto de viés técnico como comportamental e gerencial;
- e) O quinto pilar refere-se aos treinamentos realizados com foco de garantir que os operadores tenham capacidade de realizar a manutenção autônoma, trabalhando de forma proativa na detecção de possíveis falhas;
- f) O sexto pilar é responsável pela relação entre qualidade e confiabilidade, dos produtos e máquinas, respectivamente. Garantindo que a máquina não pare durante o período em que foi programada para trabalhar;
- g) O sétimo pilar busca a melhoria dos processos administrativos, focando nos sistemas de gestão e conseqüentemente na qualidade e efetividade dos procedimentos de manutenção;
- h) O oitavo e último pilar tem como foco a melhoria contínua o trabalhador e suas condições de trabalho, bem como os riscos ambientais. É suportado pela execução assertiva dos pilares anteriores.

Portanto, nota-se a importância de um sistema de manutenção tendo como base as normas da Manutenção Produtiva Total e desenvolvimento da qualidade da manutenção, obtidas pela implantação correta da TPM.

2.4.9 Heijunka

De acordo com Womack e Jones (2004), o *Heijunka*, também conhecido como nivelamento de produção, é a criação de um programa de nivelamento do tipo e da quantidade de produção por um determinado tempo fixo. Em outras palavras, Liker (2005) explica que o *Heijunka* não fabrica produtos em relação ao fluxo real de pedidos dos clientes, que podem oscilar radicalmente, porém considera o volume total de pedidos de um determinado período e nivela-os, fazendo com que a mesma quantidade e combinação sejam produzidas diariamente.

Slack, Chambers e Johnston (2009, p. 467) definem o *Heijunka* como:

[...] a palavra japonesa para o nivelamento do planejamento da produção, de modo que o mix e volume sejam constantes ao longo do tempo. Por exemplo, em vez de produzir 500 unidades em um lote que seria suficiente para cobrir as necessidades dos próximos três meses, a programação nivelada iria requerer da operação da operação a produção de somente uma peça por hora, de forma bastante regular.

A partir de um modelo com um mix, que fornece para um ou mais clientes, em um fluxo contínuo de produtos, seu objetivo seria alcançar um fluxo progressivo (FURMANS, 2005).

A realidade das indústrias adeptas a esse sistema de nivelamento pode ser muito menos problemática (PEREIRA, 2007). Os autores Liker (2005), Pereira (2007), Cummings (2007) e Jones (2006), citam algumas das vantagens, resumidas no quadro a seguir:

Tabela 2 - Vantagens do *Heijunka*

Vantagem	Justificativa
Motivação ao colaborador e melhor ambiente de trabalho	Sem possibilidade de sobrecarga ou ociosidade
Nível maior de satisfação dos clientes	Produtos entregues com maior qualidade e pontualidade
Nível maior de flexibilidade	Distribuição frequente dos produtos
Lotes e estoques menores	Produção nivelada (para o volume) e menor tempo de setup
Menor custo de fabricação	Menos desperdícios
Efeito "Chicote" reduzido	Alinhamento adequado entre fornecedores - Com base nas previsões de demanda
Menor risco de estoque de produtos que não serão vendidos	Melhor mix de produtos e redução do tamanho de lote

Fonte: Autor "Adaptado de" Liker (2005), Pereira (2007), Cummings (2007) e Jones (2006).

2.4.9.1 O Quadro Heijunka

Com base na necessidade de apoiar os funcionários por meio de um controle visual, proporcionando uma oportunidade de desempenhar um melhor trabalho (LIKER, 2005), a Toyota desenvolveu o *Heijunka Box*, uma ferramenta visual utilizada no nivelamento de produção.

Segundo Smalley (2004), foram desenvolvidas caixas com intervalos de tempo de uma hora para programação das manutenções preventivas. Com isso, a execução dos trabalhos foi aperfeiçoada, impedindo o acúmulo de atividades e paradas de produção. Essa premissa evoluiu, e atualmente os quadros de nivelamento possuem intervalos de tempo mais customizados e são utilizados em todo planejamento, acompanhamento e controle da produção.

Tardin (2001) complementa que o quadro também pode ser chamado de gerenciamento visual, e é associado ao controle *Kanban*, pois várias informações podem ser obtidas, como: estoque para cada produto, atraso e adiantamento da produção, necessidade de pedido de material, entre outros.

2.4.10 Empurrada vs puxada

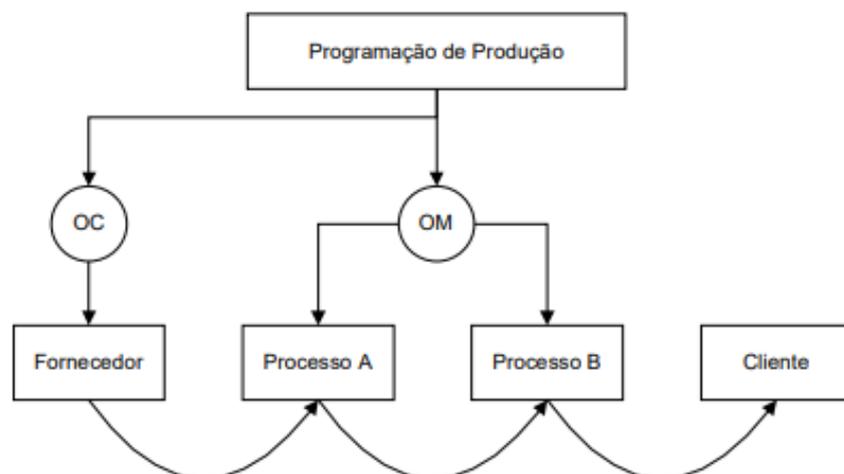
Neste tópico serão apresentadas as definições e diferenças entre produção empurrada e puxada.

2.4.10.1 Produção empurrada

Com início da revolução industrial, o sistema de produção empurrada veio com o conceito de que em cada posto seja produzido a lista de itens entregue e depois que seja empurrado ao posto seguinte - Sem preocupações com estoque, matéria prima ou produto acabado, pois visa a utilização intensava de recursos produtivos.

Com o avanço dos estudos de Joseph Orlick, foi criado o sistema MRP (Planejamento das necessidades de materiais, um sistema de planejamento e controle da produção empurrada para atendimento das necessidades de materiais por meio de um plano mestre). Isso se tornou um dos mais importantes sistemas e, posteriormente, evoluiu para o MRP II (Planejamento dos recursos de produção), atuando nas áreas de manufatura, produção, marketing e finanças (SLACK, 2002).

Figura 10 - Fluxo de produção empurrada



Fonte: Autor "Adaptado de" Tubino, 2000.

Conforme fluxo apresentado acima (TUBINO, 2000), a informação dos modelos de produtos a serem produzidos é gerada a partir da Programação de Produção, com a OP (ordem de produção) e OC (ordem de compra) como suas saídas.

Segundo Fernandes e Godinho Filho (2010), os sistemas produtivos tem suas vantagens e desvantagens, sendo alguns dos destaques das vantagens para o sistema de produção empurrada: Maior controle das operações de manufatura (através da centralização das informações no PCP), definição dos prazos de entrega (por ter controlado os tempos de produção e pela formação de estoques) e maior aceitação à variabilidade da demanda (por se gerar estoques durante todo o processo).

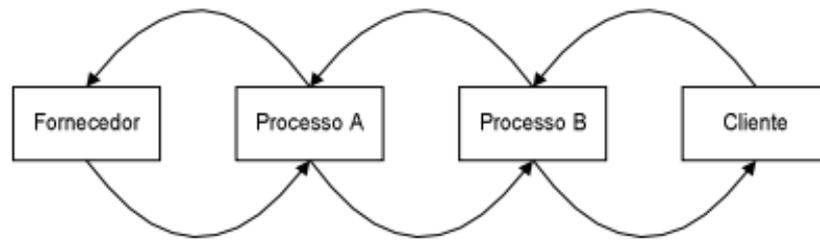
Já como principais desvantagens, se destacam: Inventários maiores de matéria-prima (para atender o processo empurrado é necessário garantir que há matéria-prima disponível para atender à produção) e estoques em processo maiores (pois o posto não produz somente o que seu sucessor necessita, mas sim tudo que esse posto pode ou deve produzir).

2.4.10.2 Produção Puxada

No sistema de produção puxada, o mais importante é o fluxo dos materiais, sendo o acúmulo deles entre processos considerado um grande desperdício. O principal objetivo desse sistema é a redução de estoque e evitar superproduções. Assim, em uma produção puxada só há produção quando houver pedido. O *just-in-time* é um dos principais sistemas de produção puxada utilizados e, Slack (2002) ainda reforça que é um sistema de manufatura enxuta, ágil e de fluxo contínuo.

Nesse sistema, o processo se inicia quando o cliente solicita o produto. Essa solicitação é repassada ao processo imediatamente anterior que necessita das peças para executar o seu processo, que então requisita ao processo anterior e assim sucessivamente, até que a informação chegue ao fornecedor. Somente quando a solicitação chega no fornecedor inicial, ou seja, o primeiro da cadeia de produção, que as peças são produzidas na quantidade estipulada. O fluxo de materiais segue em sentido inverso à informação (TUBINO, 2000).

Figura 11 - Fluxo de produção puxada



Fonte: Autor "Adaptado de" Tubino, 2000.

Segundo Machado (2019), alguns destaques em relação as vantagens do sistema puxado de produção são: reduz ou elimina os estoques, maior flexibilização na produção, menor custo operacional e menos excessos, super produções e *lead-time*. Já em relação as desvantagens, são mencionadas: ciclos ociosos quando houver baixa demanda, vulnerabilidade da produção a fontes internas e externas e restrição a variabilidade de produtos.

3 ESTUDO DE CASO

Para a realização deste estudo de caso foram aplicadas algumas das ferramentas do *Lean Manufacturing* em uma indústria do segmento químico no processo de fabricação de cilindros de gases. O estudo foi realizado especialmente no processo de produção de cilindros de gás oxigênio, com o propósito de identificar oportunidades de melhorias e otimizar o processo.

Com o intuito de preservar a identidade da empresa, a mesma será referida durante o estudo como “empresa Alfa”. Os dados e informações foram obtidos através de entrevistas e reuniões com gestores e colaboradores, documentos e registros.

Inicialmente, para se obter clareza e transparência do processo analisado, foi realizado o mapeamento de fluxo de valor, sendo possível identificar as operações críticas do processo. Em seguida, tais operações foram analisadas e modificações ou melhorias foram propostas.

3.1 APRESENTAÇÃO DA EMPRESA “ALFA”

A empresa foi fundada em 1940, em Detroit, Michigan a partir do conceito de produzir e vender gases industriais.

Em 1941, a empresa “Alfa” vendeu seu primeiro cilindro de gás oxigênio para uma pequena empresa de aço, porém, com a chegada da Segunda Guerra Mundial, a empresa desviou seu foco para o design e fabricação de geradores móveis para produzir oxigênio para uso militar em vôos de grandes altitudes. Com isso, a empresa se mudou para o Tennessee e produzia 240 geradores de gás para as forças armadas.

Com o final da guerra, a empresa redirecionou sua atenção para os mercados comerciais e em 1945 fez seu primeiro grande contrato com a *Weirton Steel Company*, e locou três geradores que produziam seis toneladas por dia de oxigênio.

Em 1950, a empresa “Alfa” construiu plantas capazes de produzir quantidades de tonelagem de oxigênio líquido e nitrogênio, em apoio ao programa emergente de mísseis e espaço, e então, em 1957, venceu a competição para fazer um novo propulsor de foguete - hidrogênio líquido - para a Força Aérea e depois para a NASA e, ainda, entrou no mercado internacional de gases industriais através da unidade na Grã-Bretanha.

Figura 12 - Planta da empresa "Alfa"



Fonte: Adaptado de Lamb Engenharia, 2008.

Em 1962, a empresa adquiriu a *Houdry Process Company* e sua subsidiária da *Catalytic Construction Company* e, no mesmo ano, as ações da empresa estavam listadas na Bolsa de Valores de Nova Iorque pela primeira vez, quando suas vendas ultrapassaram US\$ 100 milhões.

A mesma se tornou a líder de mercado nos EUA, gerando quase US\$ 1 bilhão em receitas. Logo após, em 1975, a empresa recebeu um contrato de US\$ 287 milhões em 12 anos da NASA para fornecer hidrogênio líquido ao novo programa de ônibus espaciais dos Estados Unidos. Ainda nessa década, em 1973, a empresa se instalou no Brasil, no município de Mogi das Cruzes, São Paulo.

Figura 13 - Unidades de Gases do Ar.



Fonte: Isotec, Montagens Industriais, 2013.

Durante a década de 80, a empresa evoluiu sua posição global e fortaleceu seus negócios de produtos químicos e eletrônicos. Ela também entrou em sua segunda fase de diversificação nos mercados ambiental e de energia, concentrando-se na emergente tecnologia de alta temperatura de cogeração, lixo a vapor e dessulfurização de gás de combustão. Nos anos 90 e 2000, a empresa deu passos adicionais para se tornar uma das empresas líderes mundiais de gás industrial integrado e continua desenvolvendo outros segmentos de negócios alavancando capacidades e conhecimentos existentes e lançando várias mudanças tecnológicas no mercado.

Na década atual, a empresa “Alfa” é uma das líderes de produção de gases e fornece a seus clientes um portfólio de gases, equipamentos e serviços atmosféricos e de processo (EMPRESA “ALFA”, 2021).

3.1.1 Estrutura da empresa

A empresa “Alfa” está em mais de 50 países pelo mundo, com aproximadamente 15 mil funcionários e 170 mil clientes. Possui mais de 1800 quilômetros de tubulação de gás industrial e seu capital de mercado vale, em média, US\$ 35 bilhões.

Dentro da planta de Mogi das Cruzes – São Paulo, a área de produção é dividida em duas linhas de negócio: a unidade de separação do ar, onde o ar atmosférico é coletado, comprimido e é feita a separação molecular, basicamente separada em oxigênio, nitrogênio e argônio. A outra unidade é a de *Packaged Gases*, onde é feito o envase de cilindros.

Fora dessas linhas de negócio, a empresa também trabalha com uma outra unidade, a *Generated Gases*, que são plantas dentro de instalações dos clientes. É a área que contém grandes contratos a longo prazo com clientes que fazem muito consumo de gases e tem plantas dentro de suas próprias instalações, ou seja, plantas que geram sua própria matéria-prima dentro de sua unidade de empresa (geração de produtos líquidos).

3.1.2 Valores da empresa e normas de qualidade

A empresa tem como valores básicos o respeito ao meio ambiente e o compromisso com a segurança e com a saúde. Possuem o certificado ISO 9001, norma que certifica um sistema de gestão da qualidade, bem como define os requisitos para implantar esse sistema.

3.2 CILINDROS DE GASES

O cilindro de alta pressão é a embalagem utilizada para armazenamento de gás comprimido, ou seja, é o meio para que se possa entregar aos clientes o gás em alta pressão. Ele é fabricado sempre em aços especiais e sem solda, a partir de tubos ou placas, onde passam por tratamentos térmicos e rigorosos controles de qualidade.

Figura 14 - Cilindros de gases de alta pressão.



Fonte: Empresa “Alfa”, 2021.

Além dos cilindros de aço, são utilizados também cilindros de alumínio, sendo esses para gases medicinais e especiais. Os tamanhos variam de um litro a cinquenta litros, variando seu tamanho pelo seu diâmetro externo. Sua composição se dá por diversos componentes, como: base, corpo, ogiva, gargalo, colarinho, válvula e capacete.

A base é a parte do cilindro que permite sua estabilidade na posição vertical. O corpo é a parte limitada externamente por uma superfície de revolução, cuja geratriz é um segmento de reta e cujo raio de geração é a metade do diâmetro externo do cilindro. A ogiva é a parte limitada por uma superfície de revolução, cuja geratriz é a linha de concordância entre o gargalo e o corpo.

Figura 15 - Partes do cilindro, sendo A: Base; B: Corpo; C: Ogiva.



Fonte: Autor “Adaptado de” Empresa “Alfa”, 2021.

O Gargalo é a parte do cilindro no qual existe um furo roscado para atarraxamento da válvula.

Figura 16 - Gargalo do cilindro.



Fonte: Autor “Adaptado de” Empresa “Alfa”, 2021.

O Colarinho é a peça fixada ao gargalo e com uma rosca externa para acoplamento do capacete.

Figura 17 - Colarinho do cilindro.



Fonte: Autor “Adaptado de” Empresa “Alfa”, 2021.

A válvula permite que o cilindro possa fechar e abrir sua saída de gás. Existem vários tipos de válvulas, de acordo com o seu gás de serviço.

Figura 18 - Válvula do cilindro.



Fonte: Autor “Adaptado de” Empresa “Alfa”, 2021.

Por fim, o capacete é o acessório que pode ser móvel ou fixo no colarinho do cilindro, que tem como função proteger a válvula do cilindro durante o seu manuseio ou transporte, evitando seu rompimento em caso de queda.

Figura 19 - Capacete do cilindro.



Fonte: Autor “Adaptado de” Empresa “Alfa”, 2021.

Para identificação dos cilindros, utilizam-se especificações (como ISO 9809, 3AA, DOT, entre outras), número de série, símbolo de registro de proprietário, data de fabricação, data de validade do teste hidrostático, identificação de proprietário, etiquetas de identificação e marca de identificação (EMPRESA “ALFA”, 2021).

Figura 20 - Identificações do cilindro.



Fonte: Autor “Adaptado de” Empresa “Alfa”, 2007.

3.3 ESCOLHA DA FAMÍLIA DE PRODUTO

Devido à diversificada carteira de produtos oferecida pela empresa “Alfa”, se fez necessária a análise de critérios para determinar o gás com maior relevância. Os critérios escolhidos foram: tempo de ciclo (A) e demanda (B).

Os gases do portfólio da empresa considerados na análise foram: gás carbônico, argônio, nitrogênio e oxigênio. Os gases especiais foram desconsiderados por apresentarem um processo produtivo diferente dos demais, sendo produzidos apenas sob demanda específica dos clientes, além de serem misturas dos principais gases já mencionados.

O critério A não foi determinante para a decisão da família de produto por apresentar o mesmo tempo de ciclo para todos os gases, visto que o único tempo diferente entre eles é o de enchimento, onde não há grandes possibilidades de mudanças ou melhorias, por ser feito em máquinas.

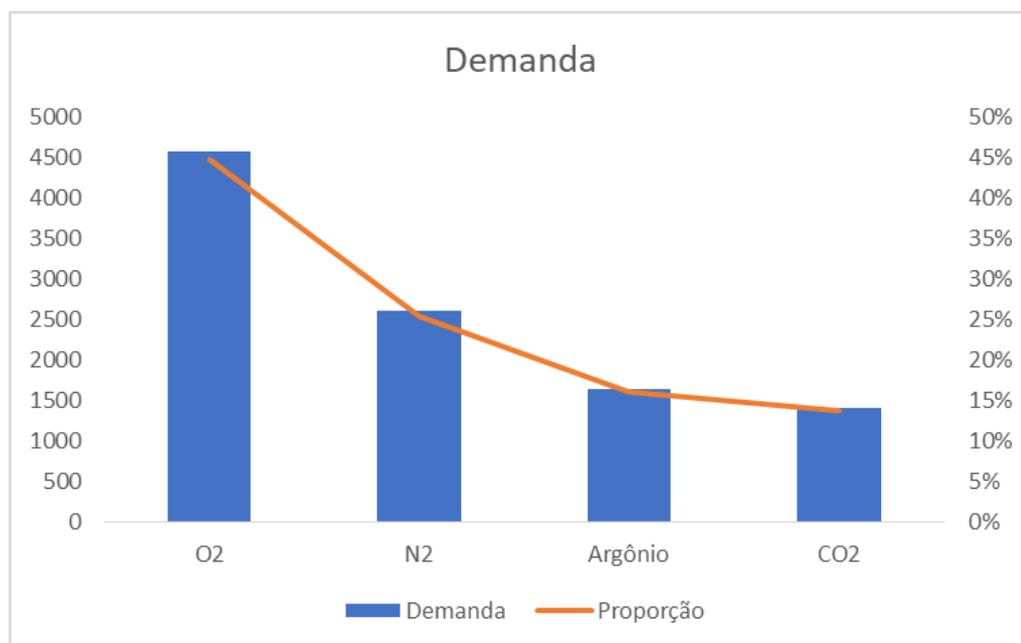
Na análise do critério B, foram verificadas as demandas semanais do mês de janeiro de 2021. Na tabela 3, estão os valores de cada tipo de gás e sua respectiva proporção. A figura 21 demonstra uma melhor visualização do cenário apresentado na tabela abaixo.

Tabela 3 – Demanda por tipo de gás.

Tipo de Gás	Demanda	Proporção
O2	4575	45%
N2	2601	25%
Argônio	1643	16%
CO2	1404	14%

Fonte: Autor “Adaptado de” Empresa “Alfa”, 2021.

Figura 21 - Demanda por tipo de gás.



Fonte: Autor, 2021.

Analisando os dados apresentados anteriormente, a melhor opção a ser estudada é o gás oxigênio, representado no gráfico como “O2”, uma vez que possui maior demanda em relação aos outros gases, representando 45% da demanda total.

3.3.1 Cilindro de gás oxigênio

A descoberta do gás oxigênio iniciou-se com a controvérsia de alguns cientistas que basearam seus estudos na teoria do flogisto (CARNEIRO, 2006). O flogisto era um material pouco conhecido entre os especialistas, mas seria uma substância que se encontrava em tudo que se fosse considerado inflamável e, também, era liberado no ar durante a queima.

Os maiores responsáveis pela descoberta do gás oxigênio foram: Carl Wilhelm Scheele, Joseph Priestley e Antoine Laurent Lavoisier.

De acordo com Linde Gas (2017):

“O oxigênio é um gás incolor, inodoro e insípido. É aproximadamente 1,1 vezes mais pesado que o ar e levemente solúvel em água e álcool. O oxigênio é um líquido de cor azul pálido, ligeiramente mais pesado que a água, quando submetido à pressão atmosférica ou temperaturas inferiores a -183°C . Sozinho o oxigênio não é inflamável, mas ajuda na combustão. É altamente oxidante, reagindo fortemente quando em contato com materiais combustíveis, podendo provocar incêndio ou explosão. O oxigênio forma compostos com todos os gases, exceto com os gases nobres. O oxigênio é o elemento mais comumente encontrado na Terra. Encontra-se em seu estado livre na atmosfera (cerca de 20,94% por volume) ou dissolvido em rios, lagos e oceanos.”

Na tabela 4, podemos observar algumas propriedades físico-químicas do oxigênio.

Tabela 4 - Propriedades físico-químicas oxigênio.

Propriedades físico-químicas do oxigênio	
Número atômico	8
Ponto de fusão (1 atm)	$-218,4^{\circ}\text{C}$
Ponto de ebulição (1 atm)	$-183,0^{\circ}\text{C}$
Taxa de evaporação (Acetato de butila = 1)	Alta
Peso específico do vapor à $21,1^{\circ}\text{C}$ (1 atm)	$1,325\text{ kg/m}^3$
Densidade do gás (ar = 1) a $21,1^{\circ}\text{C}$	1,105
Densidade do gás (água = 1) no ponto de ebulição	1,141
Solubilidade em água vol/vol a 0°C	0,0489 (gás)
Percentagem de matéria volátil em volume	100%

Fonte: Autor “Adaptado de” WHITE MARTINS, 2018.

O gás oxigênio possui suas principais aplicações na área medicinal e industrial (WHITE MARTINS, 2018).

Figura 22 - Cilindros de gases.



Fonte: Linde Gas, 2007.

Segundo a Air Liquide (2017), o oxigênio é fundamental para existência humana, e vital para o funcionamento do organismo de todos os seres vivos. Pode ser útil no transporte de medicamentos através da inalação, no tratamento de desintoxicação por monóxido de carbono (CO), na prevenção da redução da concentração de oxigênio no sangue, para tratamento de feridas, também podendo ser associados com outros gases de acordo com o orientado pelo médico.

O oxigênio medicinal liquefeito é um gás inodoro, insípido, não inflamável, comburente, com peso molecular de 32 g/mol, sendo um produto sem efeito toxicológico com grau de pureza de 99,50% (AIR LIQUIDE 2017).

Na indústria, o gás é utilizado nos processos com o intuito de melhorias na produtividade. Na metalúrgica e siderúrgica pode ser usado para ajustar a concentração de carbono em aços, no processo de soldagem ou para combustão. Também é encontrado nas cervejeiras para estimular a fermentação do mosto.

3.4 FLUXO DE PROCESSOS: CILINDRO DE GÁS OXIGÊNIO

O Apêndice A ilustra o fluxograma de processo de fabricação de cilindros de gás oxigênio.

3.5 MAPEAMENTO DO FLUXO DE VALOR

A partir do mapa de fluxo de valor, foi possível obter uma visão ampla de todo processo produtivo dos cilindros de gás oxigênio atualmente na empresa “Alfa”, observando onde é necessário a aplicação de melhorias. Com isso, foi elaborado o mapa de fluxo de valor atual, com o intuito de desenvolver o estado futuro com as oportunidades de melhoria sugeridas.

3.5.1 Mapeamento de fluxo de valor do estado atual

Conforme explicado anteriormente, a partir dos critérios da escolha da família de produto, o gás escolhido foi o oxigênio, que foi utilizado para fazer o mapeamento de fluxo de valor. O mapeamento realizado pelos integrantes do grupo, conforme práticas da empresa “Alfa”, está retratado no Apêndice B e representa o VSM graficamente.

Para o início da elaboração do mapa do fluxo de valor atual, a primeira ação foi realizar uma entrevista com o gerente de produção da empresa “Alfa” e operadores da área. Dessa forma, foi possível obter os dados necessários para constituir o fluxo de materiais e de informações, referentes à demanda, à máquina e ao tempo de ciclo. Um ponto importante foi em relação ao estoque, que é dividido em estoque de produto acabado e estoque de segurança.

O estoque de produto acabado é composto pelos cilindros produzidos para atender a demanda diária, definida através de um MRP extraído todas as manhãs pela equipe de *Sourcing*. Toda demanda produzida durante os turnos da manhã e da tarde é estocada para o turno da noite efetuar o carregamento do caminhão que seguirá para o cliente no próximo dia. Já o estoque de segurança é composto para atender de dois a três dias de produção e possui diversas finalidades, sendo elas:

- a) Reversa de estoque para eventuais flutuações de consumo por parte dos clientes;
- b) Projetos grandes que podem surgir, e sem um estoque de produtos podem acabar perdendo oportunidades de melhorias;
- c) Em caso de algum equipamento quebrar, como a bomba criogênica, precisam de um estoque para garantir o atendimento da demanda;
- d) Em caso de algum operador ser afastado, isso teria impacto na produção dos volumes.

Para o mapeamento, além do estoque de produto acabado, é considerado também o estoque de cilindros vazios. Este é alimentado pelos cilindros vazios coletados nos clientes conforme as entregas realizadas.

Considerando os pontos acima, foi escolhido não realizar melhorias nos estoques apresentados no processo, já que se trata de uma estratégia da empresa. Por fim, foram sugeridas melhorias para os pontos identificados como críticos.

Conforme visto no referencial teórico, para saber o tempo em que deve produzir um produto e atender a demanda dos clientes, se faz necessário o cálculo do *takt time*. O setor de produção da empresa “Alfa” conta com 18 operadores divididos em 3 turnos diários. Existem quatro áreas de operação: enchimento de cilindros, movimentação dos cilindros, separação e carregamento. Para o enchimento e movimentação dos cilindros há 3 operadores no turno da manhã e 3 operadores no turno da tarde em cada área, totalizando 12 funcionários. Para a separação e o carregamento há 3 operadores no turno da noite em cada área, somando mais 6 funcionários.

No cálculo foram descontados 60 minutos para almoço e 10 minutos para descanso das 9 horas diárias trabalhadas pelos colaboradores. A equação (2) abaixo mostra a Jornada Líquida considerada.

$$\text{Jornada Líquida} = (9 \times 60) - (60 + 10) = 470 \text{ min/operador} = 28.200 \text{ s/operador} \quad (2)$$

Considerando uma demanda mensal de 20.148 cilindros, segundo dados fornecidos pela empresa “Alfa”, e adotando como base vinte e dois dias úteis mensais, tem-se uma demanda de 915 conjuntos por dia. De acordo com o número de operadores e turnos, o *takt time* foi calculado para cada área de operação.

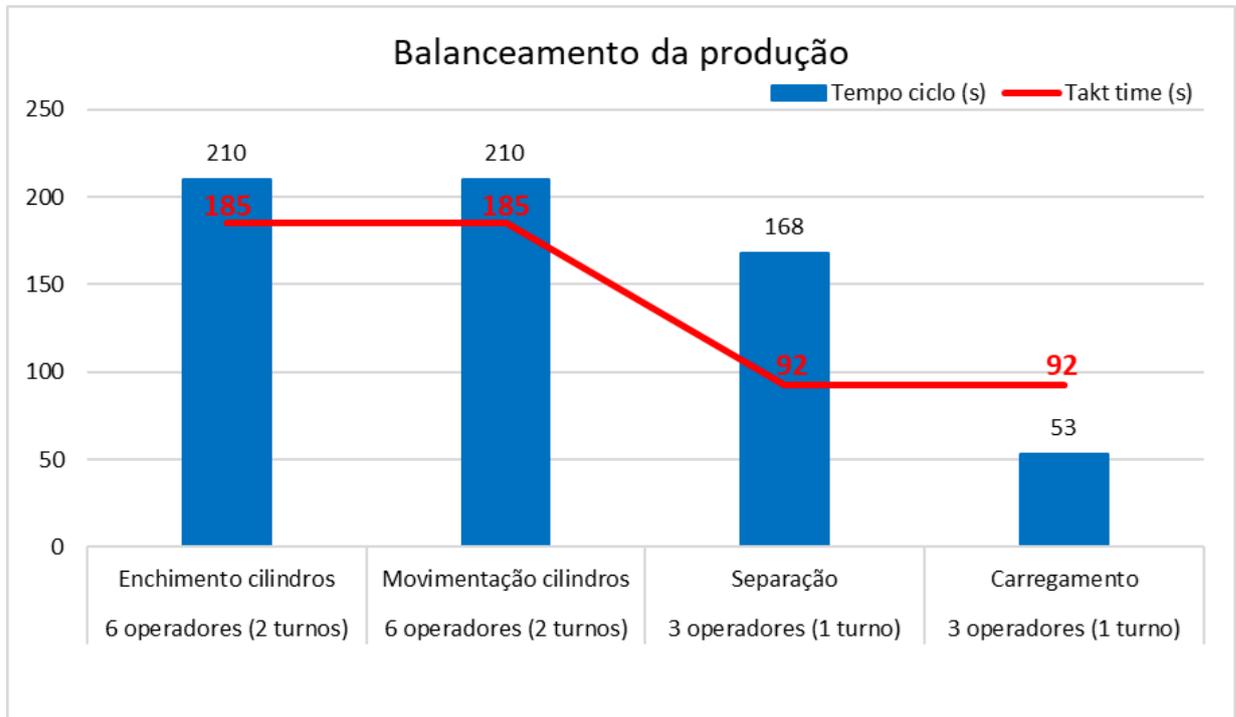
Área de enchimento de cilindros e movimentação dos cilindros:

$$\text{Takt time} = \frac{28.200 \frac{\text{s}}{\text{operador}} * 3 \text{ operadores} * 2 \text{ turnos}}{915 \frac{\text{cilindros}}{\text{dia}}} = 185 \text{ s} \quad (3)$$

Área de separação e carregamento:

$$\text{Takt time} = \frac{28.200 \frac{\text{s}}{\text{operador}} * 3 \text{ operadores} * 1 \text{ turno}}{915 \frac{\text{cilindros}}{\text{dia}}} = 92 \text{ s} \quad (4)$$

Através da figura 23 é possível comparar o tempo de ciclo de cada área de operação com o *takt time*.

Figura 23 - Tempo de ciclo e *takt time* atual

Fonte: Autor, 2021.

Observa-se que o tempo de ciclo das três primeiras áreas de operação são superiores ao tempo *takt*, ou seja, a empresa “Alfa” não está atendendo à demanda dos seus clientes, pois está demorando mais tempo para produzir do que o tempo máximo aceitável na qual o *takt time* orienta. Por outro lado, a quarta área de operação, carregamento dos cilindros, apresenta um tempo de ciclo inferior ao *takt*, o que resulta em desperdício para a empresa, dada a baixa ocupação dos recursos.

Os tempos de ciclo foram cronometrados com base na figura abaixo:

Figura 24 - Tempo de ciclo de um cilindro para cada área de operação

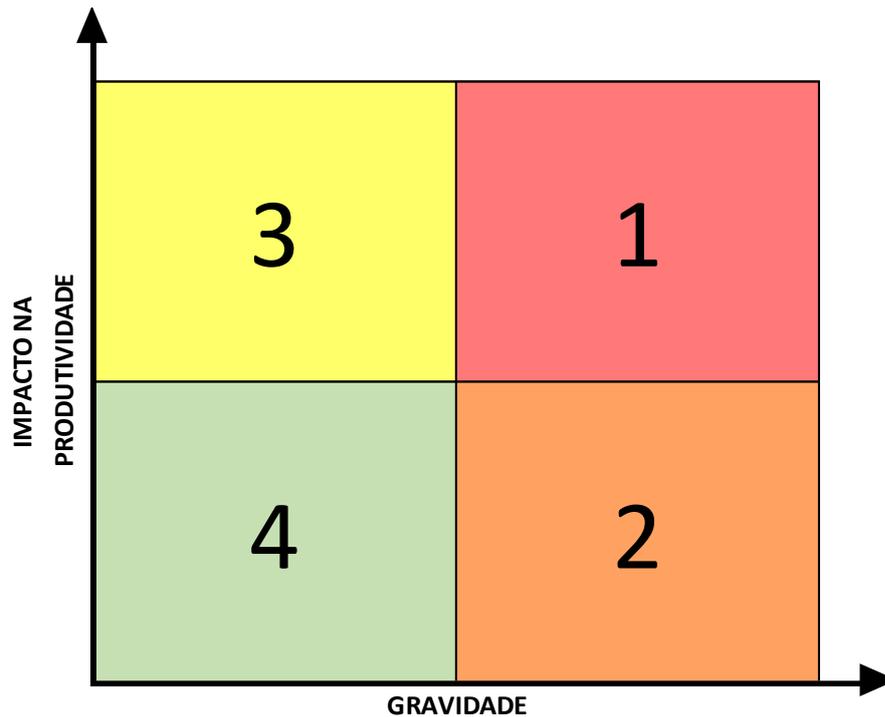
Enchimento cilindros	
Movimentar cilindro para manifold	120 s
Conectar o flexível	20 s
Preparar cilindro	35 s
Fechamento do cilindro	35 s
	210 s
Movimentação cilindros	
Movimentar cilindro para estoque (cil. vazio)	90 s
Movimentar cilindro para estoque (cil. cheio)	120 s
	210 s
Separação	
Separar cilindro para carregamento	78 s
Movimentar cilindro ao caminhão	90 s
	168 s
Carregamento	
Carregar caminhão	43 s
Conferir caminhão	10 s
	53 s

Fonte: Autor, 2021.

3.5.2 Critério de priorização de problemas

Para definição da priorização dos problemas identificados durante o mapeamento do fluxo de valor, foi criada a Matriz Aumento da Produtividade x Gravidade, uma adaptação da Matriz de Priorização de Problemas, conforme a figura abaixo.

Figura 25 - Matriz Impacto na Produtividade x Gravidade.



Fonte: Autor, 2021.

O eixo horizontal representa a gravidade do problema em relação ao processo produtivo, ou seja, o quanto este problema afeta o processo como um todo. Já o eixo vertical mostra o impacto do problema diretamente na produtividade e são os problemas que geram mais desperdícios. Para melhor entendimento, a seguir encontram-se exemplos de aplicação:

- a) O retrabalho de produtos não afeta a produção inteira, apenas os produtos defeituosos, neste caso, ficando no quadrante 4, já que não gera muito desperdício e impacto na produtividade;
- b) Problemas de ociosidade tem alta gravidade devido a custos desnecessários, mas baixo impacto na produtividade, por não causar atrasos na produção, ficando no quadrante 2.

3.5.3 Identificação e Priorização dos Desperdícios

Após o mapeamento de fluxo de valor do estado atual do processo, foram identificados problemas que impactam a produtividade. Na tabela abaixo eles estão relacionados com os desperdícios do *Lean Manufacturing*.

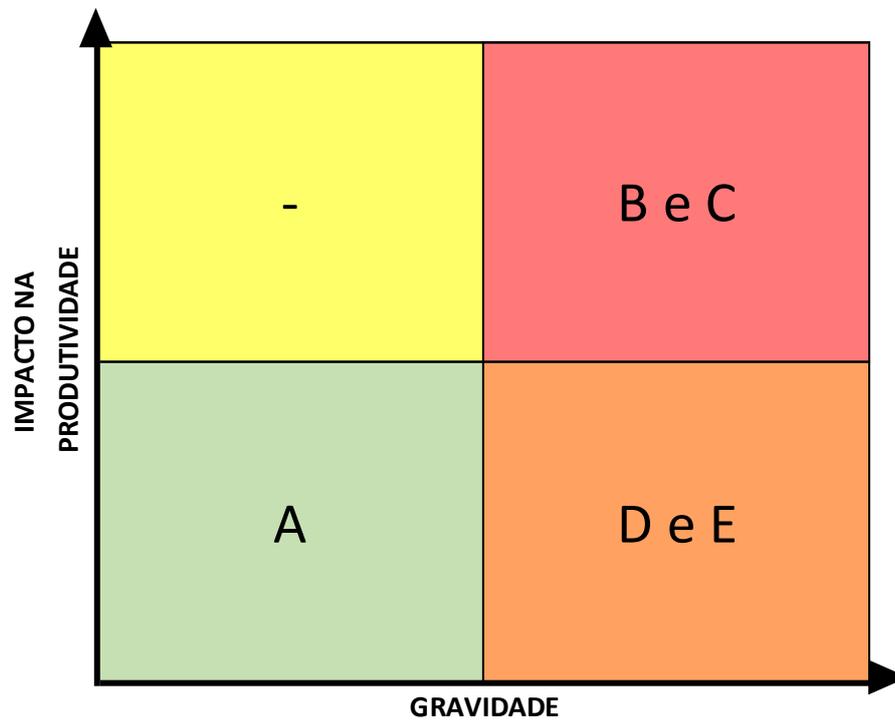
Tabela 5 – Problemas Identificados.

Desperdício	Problemas	Item
Defeitos	Durante a inspeção para o enchimento dos cilindros podem aparecer alguns defeitos, como corrosão na parte inferior do corpo do cilindro ou com teste hidrostático vencido.	A
Movimento	Movimentação do operador sem nenhum cilindro na volta para a retirada de outro cilindro para transporte.	B
Transporte	Transporte dos cilindros vazios saindo do caminhão para o estoque de cilindros vazios Transporte dos cilindros do estoque de cilindros vazios para o <i>manifold</i> Transporte dos cilindros cheios do <i>manifold</i> para o estoque de cilindros cheios Transporte dos cilindros do estoque de cilindros cheios para o caminhão	C
Espera	Operador que enche os cilindros precisa esperar todos os cilindros vazios chegarem para fazer o enchimento e depois esperar a saída de todos cheios. Operadores ociosos durante o processo produtivo.	D
Excesso de Processamento	Fechamento manual da válvula dos cilindros. No enchimento do cilindro, o operador precisa realizar o processo de medição de temperatura e pressão.	E

Fonte: Autor, 2021.

A fim de reduzir e/ou eliminar os desperdícios observados, os problemas foram classificados de acordo com a Matriz Aumento de Produtividade x Gravidade (Figura 25), com o intuito de priorizar os pontos a serem melhorados.

Figura 26 - Matriz Impacto na Produtividade x Gravidade.



Fonte: Autor, 2021.

3.5.3.1 Problema A

O problema “A” é caracterizado como uma perda por defeitos, e está relacionado a desperdícios por conta de produtos ou materiais que não atendem às especificações de qualidade, podendo ocasionar atrasos na produção e no *lead time* de entrega, além de problemas de estoque. Apesar disso, como é mostrado na matriz da figura 26, o problema “A” é o de menor impacto e importância no processo produtivo como um todo, pelo fato de que apenas uma mínima parcela dos cilindros que voltam dos clientes apresentam defeitos, seja de corrosão ou pela falta de testes de segurança, como o hidrostático.

Figura 27 - Cilindro com defeito de corrosão



Fonte: FixAir, 2020.

Apesar do baixo impacto na produtividade, reduzir esse desperdício acarretaria em melhorias no processo de produção. Uma possível solução para este problema seria a implementação da manutenção preventiva alinhada com a manutenção da qualidade e o controle inicial, três dos pilares da Manutenção Produtiva Total (TPM).

A primeira seria uma programação diária de planejamento de paradas, com objetivo de garantir a confiabilidade dos recursos para a produção. A manutenção da qualidade consistiria em treinamentos aos operadores para garantir que os mesmos tenham a habilidade e a capacidade de realizar uma manutenção autônoma e uma inspeção visual no corpo, na rosca e no pescoço dos cilindros, para a detecção de possíveis falhas ou defeitos. O terceiro pilar trabalharia na união dos outros dois, com a relação entre a qualidade e a confiabilidade dos cilindros, garantindo que tudo esteja em ordem para a utilização dos mesmos, reduzindo o risco de acidentes e os desperdícios por meio de defeitos.

3.5.3.2 Problema B

O desperdício classificado como “B” diz respeito às perdas por movimentação, que se refere aos movimentos desnecessários praticados pelos operadores durante a operação. Segundo Corrêa e Giansi (1993), a economia nos movimentos aumenta a produtividade e reduz os tempos associados ao processo produtivo. Para facilitar esses movimentos, pode ser feita a

mecanização das operações, com o intuito de reduzir e tornar menos cansativo o serviço do operador.

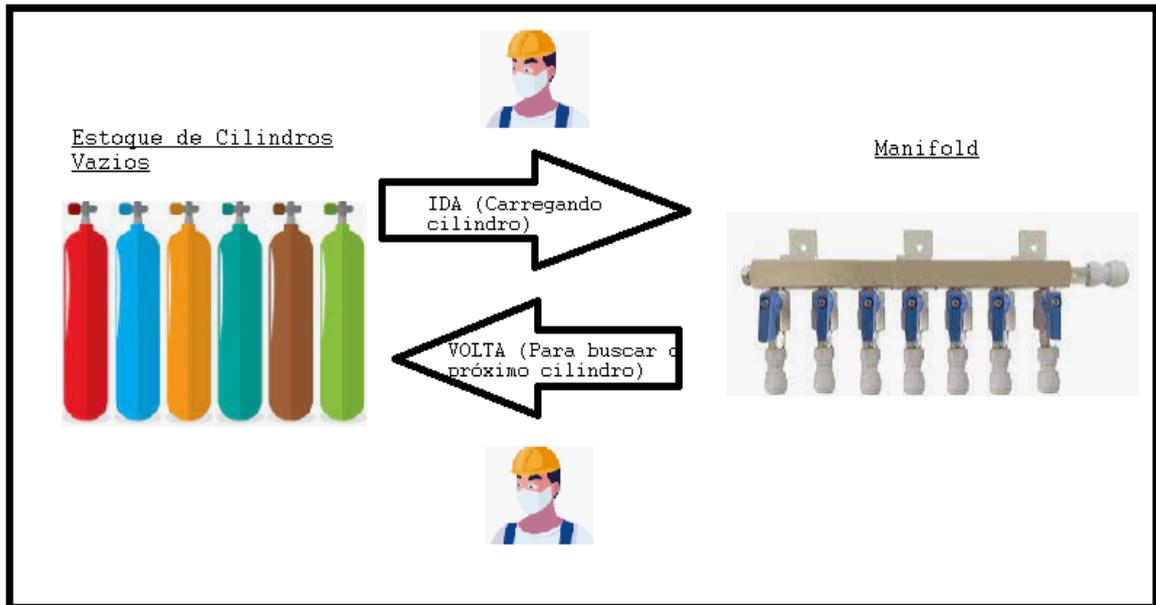
Para o processo de enchimento, é necessário que o cilindro vazio seja movimentado do estoque de cilindros vazios até o *manifold* (local com múltiplos tubos de entrada de gases derivados da instalação do vaporizador), e após cheio, deve ser movimentado do *manifold* até o estoque de cilindros cheios, para que assim, posteriormente, eles possam ser separados e movimentados até os caminhões. Para todas essas movimentações se faz necessário um operador, que movimenta manualmente cilindro a cilindro entre os postos de trabalho.

Figura 28 - Cilindros posicionados no *manifold* para enchimento



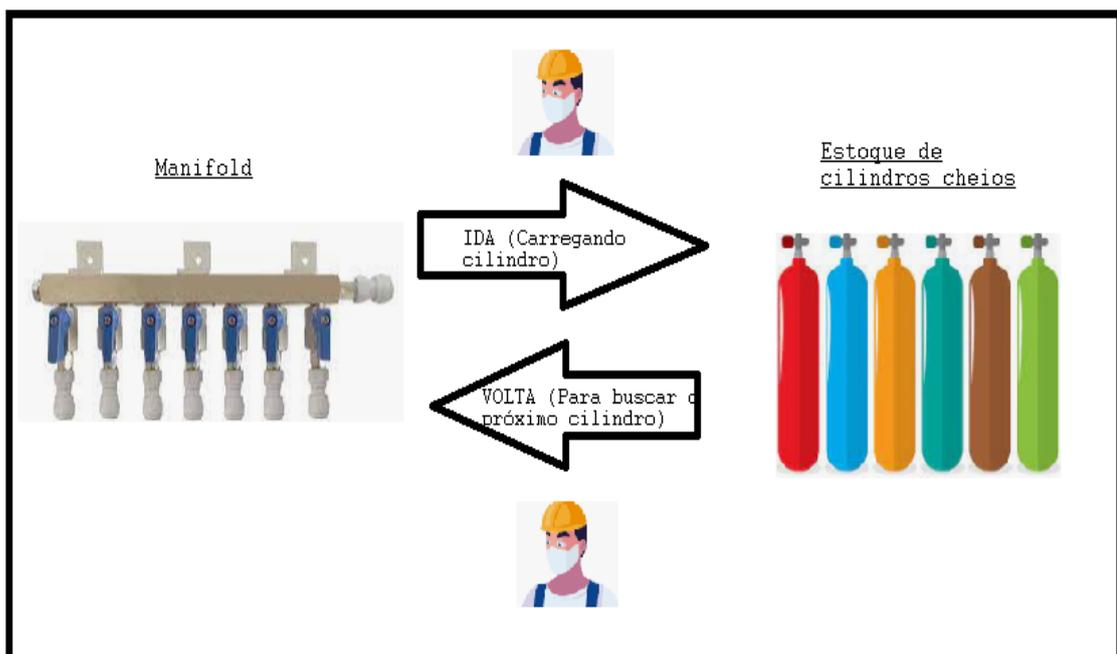
Fonte: Autor “Adaptado de” empresa “Alfa”, 2021.

Durante o processo de movimentação do produto do estoque de cilindros vazios até o *manifold*, observou-se a ida do operador carregando um cilindro vazio e a sua volta (para retirada de outro cilindro vazio para transporte) sem nenhum cilindro. A figura 29 demonstra essa movimentação.

Figura 29 - Movimentação do estoque de cilindros vazios até o *manifold*

Fonte: Autor, 2021.

Esse mesmo modelo se encontra no processo de movimentação do *manifold* até o estoque de cilindros cheios, onde se observou a ida do operador carregando um cilindro cheio e a sua volta (para retirada de outro cilindro cheio para transporte) sem nenhum cilindro. A figura 30 demonstra essa movimentação.

Figura 30 - Movimentação do *manifold* até o estoque de cilindros cheios

Fonte: Autor, 2021.

Além disso, esse mesmo modelo é visto no processo de movimentação do caminhão até o estoque de cilindros vazios e do estoque de cilindros cheios até o caminhão, onde novamente se observou a ida do operador carregando um cilindro cheio e a sua volta (para retirada de outro cilindro cheio para transporte) sem nenhum cilindro.

As movimentações dos operadores para buscar o próximo cilindro são consideradas desnecessárias, visto que não agregam valor ao processo e tornam o trabalho mais cansativo.

A sugestão de melhoria proposta para esse problema é a implantação de *pallets*, que seriam movimentados através de empilhadeiras, e transportariam 18 cilindros simultaneamente ao invés de 1 cilindro por vez.

Além de viabilizar um deslocamento mais fácil e rápido dos cilindros, a utilização de *pallets* e empilhadeiras também possibilita a diminuição da exigência física do operador ao transportar os cilindros, melhorando as condições ergonômicas do mesmo. Segundo Air Liquide (2020), o manuseio de cilindros apresenta alguns riscos, tais como:

- a) Risco de choque: por conter uma alta pressão dentro de seu corpo, o cilindro é um material consideravelmente pesado, apresentando o risco de choque contra o corpo do operador quando o manuseio equivocado causa uma queda, principalmente esmagamento de pés.
- b) Riscos associados a alta pressão: esse perigo está associado ao momento de liberação voluntária do gás contido. Existe o risco de que a alta pressão do produto cause acidentes e ferimentos.

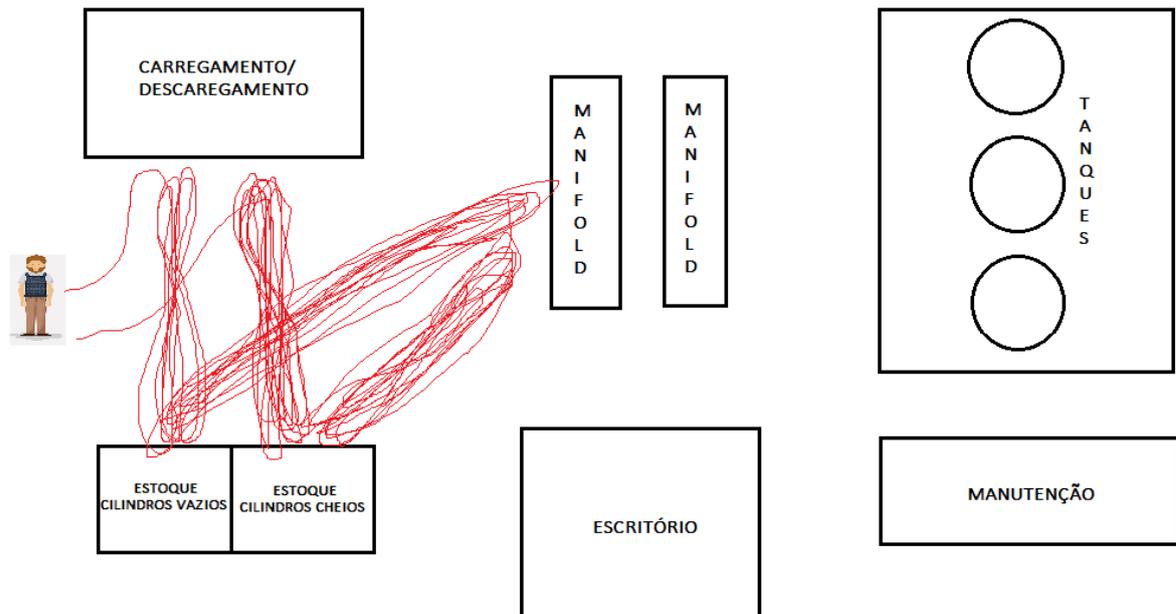
Portanto, a sugestão proporciona condições de trabalho mais seguras e um maior índice de produtividade de cada indivíduo.

3.5.3.3 Problema C

Nas análises realizadas neste estudo de caso através do VSM, foi identificado que o maior desperdício no processo está no transporte, representando cerca de 57% do tempo total de processamento. A perda por transporte está relacionada com a movimentação de matéria-prima, produto acabado ou inacabado, sendo uma atividade que não agrega valor ao produto. O transporte dos cilindros de gases na empresa “Alfa” é realizado manualmente pelos operadores, gerando risco de segurança para os funcionários, maior margem para acidentes e, conseqüentemente, defeitos durante o transporte, além de resultar em uma demora na movimentação, considerando que os operadores não são tão ágeis e, após um certo tempo de jornada, podem apresentar uma produtividade reduzida devido ao alto esforço físico.

Para melhores análises da movimentação do operador no processo, foi realizado um diagrama de movimentação baseado no Diagrama de Espaguete, ilustrado na figura 30. Esta ferramenta possibilita enxergar melhor o fluxo de pessoas dentro do *layout*.

Figura 31 - Diagrama de movimentação antes da melhoria



Fonte: Autor, 2021.

Conforme figura acima, o transporte do cilindro é realizado em quatro momentos dentro do fluxo produtivo, sendo estes:

- a) Transporte dos cilindros vazios coletados nos clientes levando os mesmos até o estoque (cilindros vazios) após descarregamento do caminhão;
- b) Movimentação do operador com o cilindro do estoque (cilindros vazios) até o *manifold*;
- c) Após o enchimento no *manifold*, transporte do cilindro até o estoque (cilindros cheios);
- d) Movimentação dos cilindros cheios do estoque (cilindros cheios) até o caminhão para carregamento.

A capacidade de cada operador é de carregar/transportar um cilindro por vez, independente da etapa do processo, tornando esta atividade mais lenta e cansativa para os trabalhadores, considerando a alta demanda diária.

Para os problemas citados acima, foi sugerido que toda movimentação dos cilindros realizada pelos operadores durante o processo produtivo fosse realizada por *pallet*, assim o

tempo de transporte seria reduzido drasticamente, já que ao invés de movimentar um cilindro por vez seria transportado 18 cilindros, de acordo com a capacidade do *pallet*.

Figura 32 - Cilindros de gases no pallet



Fonte: Alibaba, 2021.

Para que o transporte seja através de *pallets* o ideal é que a empresa adquira também uma empilhadeira industrial. A empilhadeira é uma máquina utilizada frequentemente para carregar, descarregar e movimentar mercadorias em *pallets*. Com a empilhadeira o transporte seria mais ágil, com menor risco de acidentes e defeitos.

Figura 33 - Empilhadeira industrial

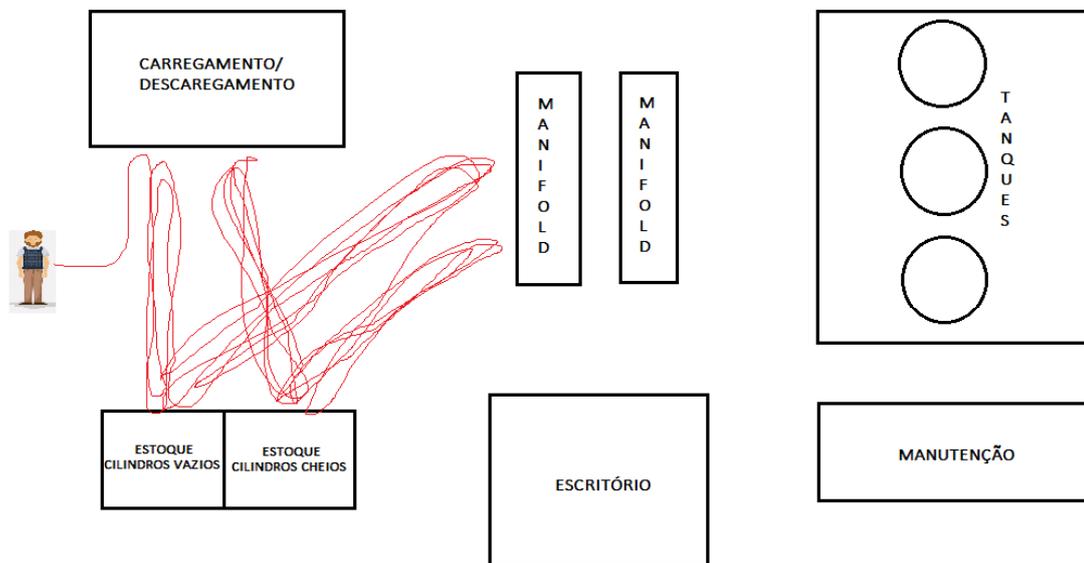


Fonte: Movix, 2020.

Por fim, após suposta aplicação das melhorias sugeridas neste item, o processo ficaria da seguinte maneira: operador na empilhadeira descarrega do caminhão os *pallets* com os cilindros vazios levando-os para o estoque, posteriormente estes *pallets* seriam transportados até o *manifold* para enchimento dos cilindros conforme melhoria informada no problema “E”; após enchimento, os *pallets* seriam levados até o estoque de cilindros cheios para depois serem transportados até o caminhão para carregamento, lembrando que toda movimentação de *pallets* deve ser feita pela empilhadeira.

Conforme figura 34, após a aplicação da melhoria seria reduzida a movimentação do operador, consequentemente, reduzindo desperdícios do processo.

Figura 34 - Diagrama de movimentação depois da melhoria



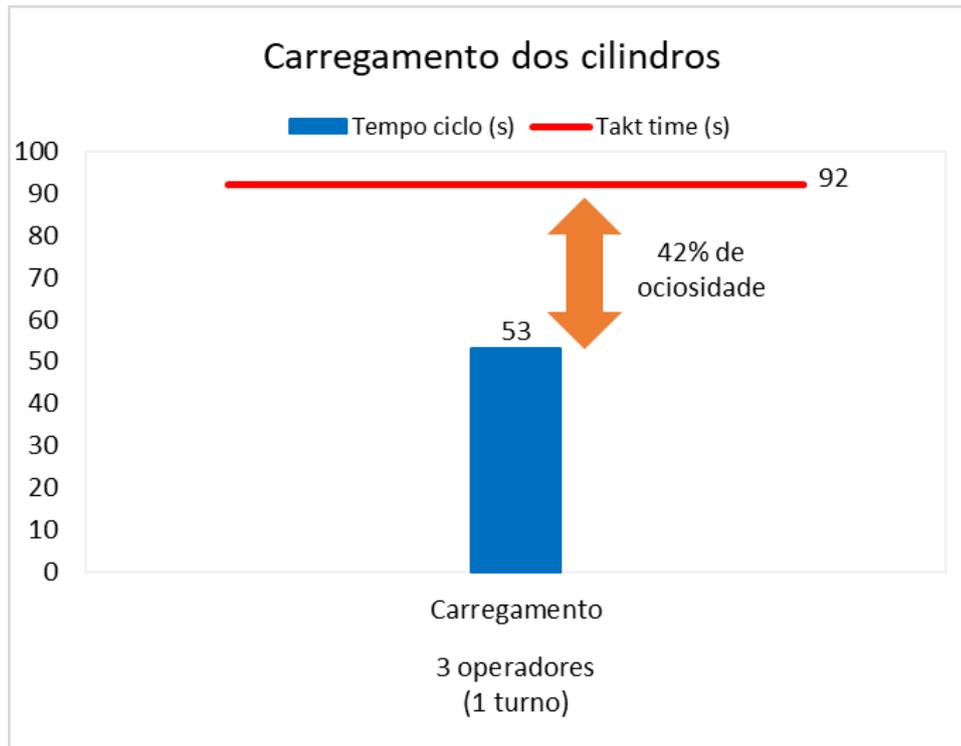
Fonte: Autor, 2021.

3.5.3.4 Problema D

O item “D” foi considerado como perda por espera, que consiste em intervalos de tempo nos quais os operadores e/ou as máquinas não estão sendo utilizadas produtivamente e não estão contribuindo para a agregação de valor aos produtos (SHINGO,1996).

Analisando o *takt time* atual na seção 3.5.1, verificou-se uma alta ociosidade dos três operadores que atuam no turno da noite na área de operação responsável por realizar o carregamento dos cilindros nos caminhões. Observou-se um tempo de ciclo de 53 segundos contra um *takt* de 92 segundos. A porcentagem de ociosidade pode ser vista na figura 35.

Figura 35 - Porcentagem de ociosidade atual para a área de carregamento dos cilindros



Fonte: Autor, 2021.

A porcentagem de ociosidade foi calculada através da equação abaixo:

$$\% \text{ Ociosidade} = [1 - (53/92)] * 100 = 42\% \quad (5)$$

Conclui-se que 3 operadores para realizar essa atividade de carregar os cilindros cheios nos caminhões gera um alto índice de espera durante o processo.

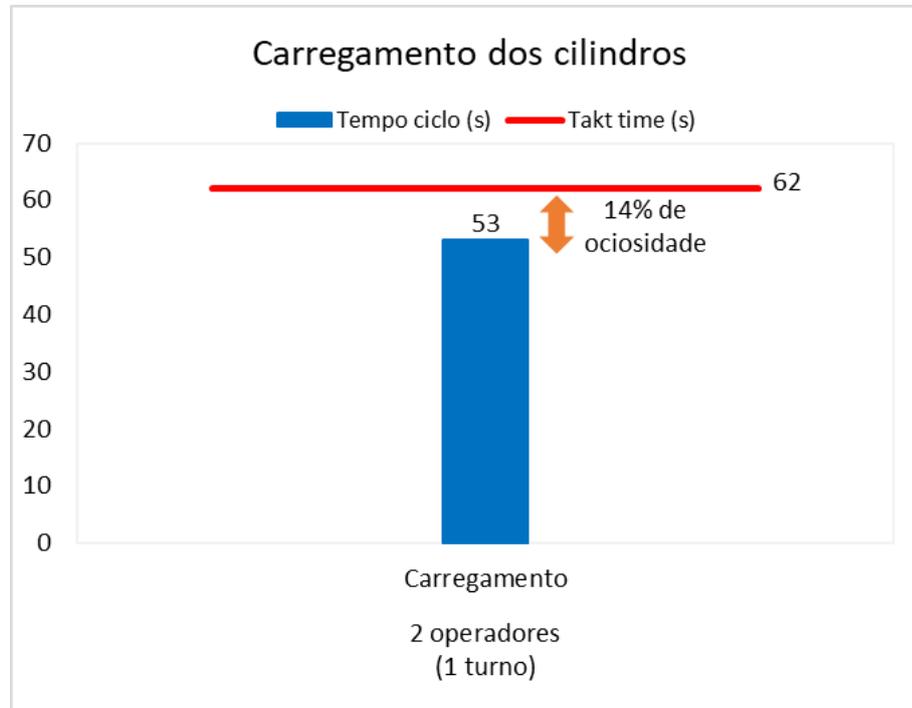
Visto isso, uma oportunidade de melhoria seria utilizar um operador desta área de operação em um outro setor da empresa, ganhando assim uma mão de obra para realizar processos que não conseguem atender o *takt time* do cliente. Deslocando um dos 3 operadores para outro setor e mantendo apenas 2, o novo *takt* seria conforme a equação 6.

$$\text{Takt time} = \frac{28.800 \frac{s}{\text{operador}} * 2 \text{ operadores} * 1 \text{ turno}}{915 \frac{\text{cilindros}}{\text{dia}}} = 62 \text{ s} \quad (6)$$

O novo *takt time* diminuiria o tempo em que os operadores permanecem ociosos e aumentaria a taxa de valor agregado do processo em que este operador deslocado fosse operar.

A ociosidade iria para 14%. A figura 36 ilustra a nova situação de acordo com a melhoria proposta.

Figura 36 - Porcentagem de ociosidade futura para a área de carregamento dos cilindros



Fonte: Autor, 2021.

Outra perda por espera identificada foi na área de operação de enchimento dos cilindros. Conforme visto na seção 3.5.3.2, os cilindros são levados manualmente e um a um, do estoque de cilindros vazio para o *manifold* e do *manifold* para o estoque de cilindros cheios. Diante disso, o operador que atua neste processo necessita esperar todos os cilindros vazios chegarem para completar um *manifold* e dar início ao processo de enchimento dos gases. Além de, após finalizar o enchimento dos cilindros que se encontram no *manifold*, o operador também necessita esperar que todos sejam retirados e levados para o estoque de cilindros cheios.

Através da sugestão proposta na mesma seção, essas perdas por espera por parte do operador seriam reduzidas drasticamente, uma vez que os cilindros seriam manuseados através de *pallets* entre os processos.

Para iniciar o processo de enchimento em um *manifold* são necessários 54 cilindros vazios e de acordo com os tempos ciclos observados na seção 3.5.1, demora-se 120 segundos para movimentar um cilindro do estoque vazio ao *manifold* e para movimentar um cilindro cheio ao estoque final. A figura 37 demonstra a porcentagem de redução do tempo de espera dos

operadores se aplicado a melhoria de movimentação por *pallets*, que gasta 900 segundos ao todo e comporta 18 cilindros.

Figura 37 - Redução no tempo de espera na área de enchimento dos cilindros

Enchimento cilindros	Atual		Futuro		Redução do tempo de espera
	1 Cilindro	54 Cilindros para completar um <i>manifold</i>	1 <i>pallet</i> (18 cilindros)	3 <i>pallets</i> (54 cilindros)	
Movimentar cilindro vazio para o Manifold	120 s	6480 s	900 s	2700 s	86%
Movimentar cilindro para estoque (cil.cheio)	120 s	6480 s	900 s	2700 s	86%

Fonte: Autor, 2021.

O operador passaria a esperar 2700 segundos, ao invés de 6480 segundos para iniciar o enchimento dos gases.

3.5.3.5 Problema E

O item classificado como “E” se refere às perdas por excesso de processamento, que são perdas geradas a partir da realização de uma atividade dentro do processo que é considerada desnecessária, pois não acrescenta valor ao produto. Essa atividade pode ser realizada pelo operador ou pela máquina, e se eliminadas não alteram as funções e características básicas do produto. (GHINATO, 1996)

Após o mapeamento do processo produtivo, o grupo se fundamentou em duas perguntas, que segundo Antunes (2008), tem o intuito de identificar os processos com potencial a serem eliminados.

- a) Por que este tipo de produto pode ser produzido?
- b) Por que esse método deve ser utilizado no processo?

A partir disso, observou-se uma oportunidade de mudança nos seguintes processos:

- a) Processo de enchimento dos cilindros;
- b) Processo de abertura e fechamento manual da válvula dos cilindros.

Quando os cilindros chegam ao *manifold*, o operador deve conectar a válvula para iniciar o processo de enchimento. Os cilindros são enchidos através de uma composição de pressão e temperatura, portanto, o operador só deve parar de encher quando a pressão estiver equivalente à sua temperatura de referência.

Figura 38 - Base para combinação de pressão e temperatura no enchimento de cilindros de oxigênio

Temperatura		Pressão de Enchimento 2015 psig ou 139 bar	Pressão de Enchimento 2175 psig ou 150 bar	Pressão de Enchimento 2640 psig ou 182 bar	Pressão de Enchimento 2900 psig ou 200 bar
F	C				
50,0	10,0	1.909	2.057	2.490	2.731
52,0	11,1	1.920	2.069	2.505	2.748
54,0	12,2	1.930	2.081	2.520	2.765
56,0	13,3	1.941	2.092	2.535	2.781
58,0	14,4	1.951	2.104	2.550	2.798
60,0	15,6	1.962	2.116	2.565	2.832
62,0	16,7	1.972	2.128	2.580	2.849
64,0	17,8	1.983	2.140	2.595	2.865
66,0	18,9	1.994	2.151	2.610	2.882
68,0	20,0	2.004	2.163	2.625	2.899
70,0	21,1	2.015	2.175	2.640	2.900
72,0	22,2	2.026	2.187	2.656	2.917
74,0	23,3	2.036	2.199	2.670	2.934
76,0	24,4	2.047	2.211	2.685	2.950
78,0	25,6	2.057	2.222	2.700	2.967
80,0	26,7	2.068	2.233	2.714	2.984
82,0	27,8	2.079	2.246	2.729	3.001
84,0	28,9	2.089	2.258	2.744	3.018
86,0	30,0	2.100	2.270	2.759	3.034
88,0	31,1	2.111	2.281	2.774	3.051
90,0	32,2	2.121	2.292	2.789	3.068
92,0	33,3	2.132	2.304	2.804	3.084
94,0	34,4	2.142	2.315	2.819	3.102
96,0	35,6	2.153	2.327	2.834	3.118
98,0	36,7	2.164	2.339	2.849	3.135
100,0	37,8	2.174	2.350	2.864	3.152
102,0	38,9	2.185	2.362	2.879	3.169
104,0	40,0	2.195	2.374	2.894	3.186
106,0	41,1	2.206	2.386	2.909	3.202
108,0	42,2	2.216	2.398	2.924	3.219
110,0	43,3	2.227	2.408	2.938	3.237

Fonte: Empresa “Alfa”, 2021.

Conforme apresentado na figura 38, disponibilizada pela empresa “Alfa”, os operadores utilizam uma base para o controle dessa combinação no momento de enchimento dos cilindros. Então, por exemplo: se o cilindro precisa chegar em até 2.015 psi, o operador deve parar o processo de enchimento em 21,1°C.

Todo esse controle é feito manualmente pelo operador, que faz as medições com um manômetro (para pressão) e um termômetro (para temperatura). Caso o cilindro esquentar acima do indicado, o operador deve parar o enchimento e com uma mangueira resfriar o cilindro até a temperatura diminuir, para então continuar o enchimento e esperar chegar na combinação necessária. Caso o operador não faça esse controle, a válvula de segurança do cilindro irá abrir para expulsar o produto, pois há risco de explosão.

Figura 39 - Controle manual da temperatura do cilindro no momento de enchimento



Fonte: Empresa “Alfa”, 2021.

Após o enchimento, o operador deve desconectar a válvula, lacrar o cilindro, colocar o capacete, colocar a etiqueta e limpá-lo.

O processo de conectar e desconectar as válvulas é feito para cada cilindro individualmente. Considerando a grande quantidade de cilindros que os operadores devem manipular, uma sugestão de melhoria para esse processo é o uso de parafusadeiras elétricas, que possuem um sistema de encaixe na manobra da válvula. Com isso, além de o operador não ter mais que conectar e desconectar cada válvula manualmente, haveria redução de tempo na operação e redução de lesão por esforço repetitivo.

Figura 40 - Parafusadeira elétrica dobrável Makita



Fonte: Rei da borracha, 2021.

Outra sugestão seria para o processo de enchimento dos cilindros. Conforme explicado acima, apesar do processo de enchimento ser feito por uma máquina, todo o controle de combinação de pressão e temperatura é feito manualmente pelo operador. Uma opção de melhoria seria o uso de um sistema PLC, que faria o enchimento e o controle de medição automaticamente, evitando riscos de acidentes por erros manuais e automatizaria o processo.

Um sistema PLC é um controlador lógico programável, que desempenha funções de controle, monitoramento de máquinas e de processos industriais de todos os tipos e níveis de complexidade, através de softwares específicos. O sistema teria as “receitas” com as combinações de pressão e temperatura e faria todo o enchimento a partir disso.

Uma empresa que fornece esse tipo de serviço de automação é a Weldcoa, líderes globais em automação de enchimento de gases. Com um sistema de PLC próprio, oferecem soluções de enchimento e de controle de medição de temperatura e pressão, projetados e construídos para a linha específica desejada. Os sistemas são projetados para serem modulares e possuem ciclos de ventilação e vácuo automáticos, e com o uso das empilhadeiras e dos *pallets* sugeridos na solução do problema “D”, os cilindros seriam transportados até o ponto de enchimento e seriam enchidos automaticamente, sem a necessidade do controle do operador.

Figura 41 - Sistema PLC da Weldcoa



Fonte: Weldcoa, 2021.

Com essa solução, existiria a necessidade do operador em apenas dois momentos: para preparação do *pallet* (fazendo a separação de cilindros) e para plugar os cilindros no *manifold* e apertar o botão do PCL.

Figura 42 - Terminal para configurar e ligar o sistema para enchimento dos cilindros da Weldcoa



Fonte: Weldcoa, 2021.

Figura 43 - *Manifold* para o enchimento dos cilindros automatizado da Weldcoa



Fonte: Weldcoa, 2021.

Portanto, a proposta seria o uso dessa tecnologia oferecida pela Weldcoa, que apresentaria os seguintes ganhos:

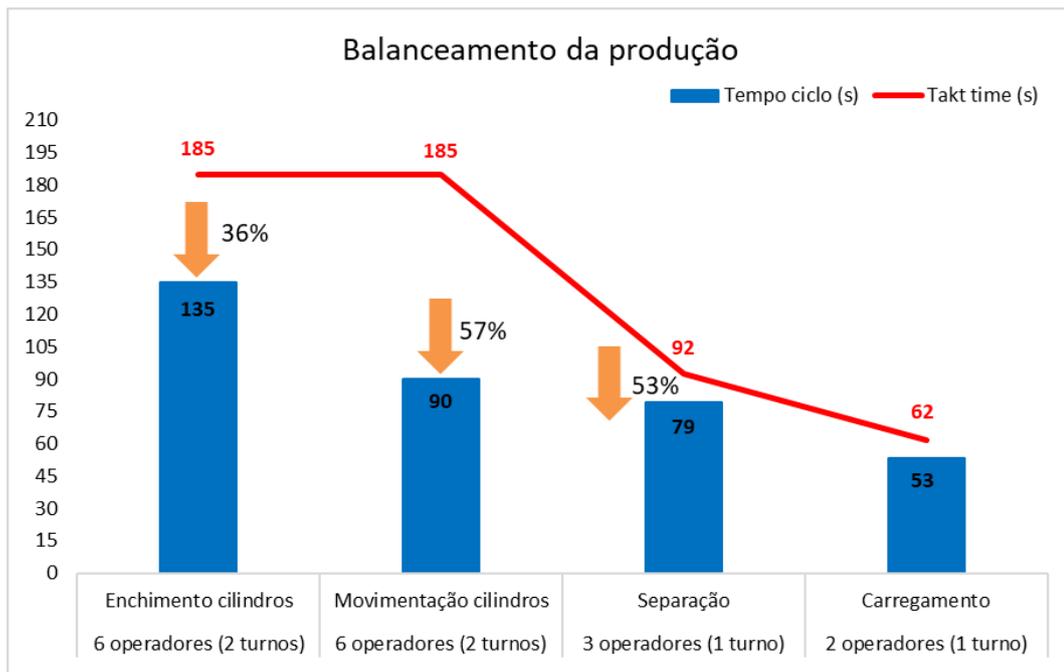
- Aumento de eficiência: minimizando tempo dos operadores no *manifold*;
- Aumento de produtividade: com o gerenciamento de desempenho de trabalho e tempos de ciclo por enchimento;
- Aumento de segurança: com o controle de temperatura e pressão automáticos;
- Ganho na atividade mensurável do operador: com procedimentos operacionais padronizados e unificados.

3.5.4 Mapeamento de fluxo de valor do estado futuro

Conforme visto na seção 3.5.1 na situação atual da empresa “Alfa”, as áreas de operação de enchimento de cilindros, movimentação dos cilindros e separação apresentaram tempos de ciclo superiores ao *takt time*.

Com as melhorias propostas, foi possível reduzir o tempo de ciclo destes processos, atendendo ao valor do *takt time*. A figura 44 a seguir demonstra o balanceamento futuro. Nota-se que com as sugestões propostas foi possível reduzir o tempo de ciclo da área de enchimento em 36%, da área de movimentação em 57% e da área de separação em 53%.

Figura 44 - Tempo de ciclo e *takt time* futuro



Fonte: Autor, 2021.

Com base no estado atual, nos conceitos e ferramentas do *Lean Manufacturing* estudados, e considerando as melhorias sugeridas para os problemas identificados, criou-se o mapa de fluxo de valor futuro para o enchimento de um cilindro de gás oxigênio, com o objetivo de reduzir o tempo de processamento para se obter um cilindro cheio. Para o mapeamento foi considerada a mesma demanda diária de 915 cilindros.

O mapeamento de fluxo de valor da situação futura pode ser visualizado no Apêndice C.

3.6 EXPECTATIVA DE GANHOS

Na figura 45 são apresentados os resultados esperados, fazendo a comparação dos valores do estado atual com o estado futuro, demonstrando as vantagens que podem ser atingidas com a aplicação das ferramentas *Lean Manufacturing* e melhorias propostas. Para realizar esta comparação, foram considerados os valores equivalentes a um cilindro presente em cada *pallet*.

Figura 45 - Comparação dos tempos operacionais do estado atual e do estado futuro

Enchimento cilindros	Atual	Futuro		% Diferença
	1 CILINDRO	1 PALLET (18 CILINDROS)	1 CILINDRO	
Movimentar cilindro vazio para o Manifold	120	900	50	-58%
Conectar o flexível	20	20	20	0%
Preparar cilindro	35	35	35	0%
Fechamento do cilindro	35	30	30	-14%
	210	985	135	-36%

Movimentação dos cilindros	Atual	Futuro		% Diferença
Movimentar cilindro para estoque (cil.vazio)	90	720	40	-56%
Movimentar cilindro para estoque (cil.cheio)	120	900	50	-58%
	210	1620	90	-57%

Separação	Atual	Futuro		% Diferença
Separar cilindro para carregamento	78	39	39	-50%
Movimentar cilindro ao caminhão	90	720	40	-56%
	168	759	79	-53%

Carregamento	Atual	Futuro		% Diferença
Carregar caminhão	43	43	43	0%
Conferir caminhão	10	10	10	0%
	53	53	53	0%

Total Tempo Homem	641	3417	357	-44%
Total Tempo Máquina	94	1692	94	0%
Tempo de Processamento Total	735	5109	451	-39%

Fonte: Autor, 2021.

A partir das melhorias sugeridas, o tempo operacional total apresenta uma redução de 44%. Conforme mostrado acima, a área de operação com maior expectativa de ganho é a de movimentação dos cilindros, com uma diferença de 57% do tempo atual para o futuro. Além disso, o tempo de processamento demonstra uma diminuição de 39%, partindo de 735s para 451s. Visto que havia ociosidade na área de carregamento de cilindros, o número de operadores no processo foi reduzido de 18 para 17, com o remanejamento da mão de obra.

Na tabela abaixo encontra-se um resumo das melhorias propostas:

Tabela 6 – Tabela de Resultados

Perda	Problema	Solução	Ganho
Defeito	Durante a inspeção para o enchimento dos cilindros podem aparecer alguns defeitos, como corrosão na parte inferior do corpo do cilindro ou com teste hidrostático vencido.	Aplicação das ferramentas do TPM (manutenção planejada, manutenção da qualidade e controle inicial)	- Redução do risco de acidentes - Redução de cilindros defeituosos
Movimentação	Movimentação do operador sem nenhum cilindro na volta para a retirada de outro cilindro para transporte.	Carregamento do cilindro através de <i>pallets</i> com capacidade de 18 cilindros e movimentação dos <i>pallets</i> por meio de empilhadeira	- Redução de 57% do tempo de movimentação/transporte dos cilindros
Transporte	Riscos de acidentes (queda e explosão)		- Condições de trabalho mais seguras
	Problemas ergonômicos com os operadores		- Maior índice de produtividade de cada operador
	Transporte dos cilindros vazios saindo do caminhão para o estoque de cilindros vazios		- Redução de 57% do tempo de movimentação/transporte dos cilindros
	Transporte dos cilindros do estoque de cilindros vazios para o <i>manifold</i>		
	Transporte dos cilindros cheios do <i>manifold</i> para o estoque de cilindros cheios		
Transporte dos cilindros do estoque de cilindros cheios para o caminhão			

Espera	Operador que enche os cilindros precisa esperar todos os cilindros vazios chegarem para fazer o enchimento e depois esperar a saída de todos cheios		- Redução de 86% do tempo de espera
	Operadores ociosos durante o processo produtivo	Remanejamento da mão de obra	- Ganho de uma mão de obra para realizar outra atividade
Processo	No enchimento do cilindro, o operador precisa realizar o processo de medição de temperatura e pressão	Implementação de um controlador PLC para automatizar a parada do enchimento dos cilindros de gases	- Aumento da assertividade do processo - Melhora na segurança - Aumento da produtividade e eficiência
	Fechamento manual da válvula dos cilindros	Fechamento da válvula por meio de uma parafusadeira elétrica	- Redução do tempo de ciclo da operação (5s) - Redução de lesão por esforço repetitivo

Fonte: Autor, 2021.

4 CONCLUSÃO

A indústria de gases está presente na vida dos consumidores diariamente, devido à ampla variedade de setores em que atua, como refinarias, produtos químicos, hospitais, metais, eletrônicos, manufatura, alimentos e bebidas. A empresa “Alfa”, estudada no presente trabalho, fornece um portfólio de gases para esses setores, produzindo cilindros de gás oxigênio, nitrogênio, argônio, dióxido de carbono e gases especiais (estes feitos sob demanda, com base na necessidade do cliente).

A demanda por cilindros de oxigênio é a com maior impacto dentro dessa indústria, uma vez que possui aplicações nas áreas industrial e medicinal. Além disso, o cenário de pandemia atual acarretou em uma necessidade repentina no consumo desse produto. A sua falta foi considerada uma das maiores preocupações neste momento, principalmente para atender às unidades de saúde de pequeno porte.

Tendo isso em vista, o presente trabalho buscou analisar a possibilidade de aplicação das ferramentas do *Lean Manufacturing* no processo de produção de cilindros de gás oxigênio na empresa “Alfa”, identificando desperdícios e gargalos a partir da realização do mapeamento do processo de produção e apontando possíveis melhorias para os problemas identificados, com o intuito de aumentar a produtividade e a eficiência do processo produtivo.

Através do mapeamento de fluxo de valor, definido como um dos objetivos deste estudo, foi possível obter uma visão ampla de todos os processos necessários para a produção dos cilindros de gás oxigênio, e foi observada a existência de diversos pontos de melhorias, os quais sendo corrigidos iriam ter um impacto significativo em seu processo produtivo. Isso garantiria à empresa maior competitividade, segurança e saúde, combinando a análise dos princípios do *Lean* com os valores da empresa.

A principal falha observada na empresa “Alfa” está no processo de transporte, que não agrega valor ao produto e representa mais da metade do tempo total de processamento. O transporte dos cilindros é feito de forma manual pelos operadores, assim, além de causar impacto na demora em seu transporte, gera risco de segurança, maior margem para acidentes, produtividade reduzida e geração de possíveis defeitos no material.

Foram observadas também falhas por movimentação, com movimentos desnecessários praticados pelos operadores durante a operação, falhas por espera, com operadores ociosos durante o processo produtivo, falhas de processo, com processos manuais que diminuem a eficiência, a segurança e a produtividade do operador, e por fim, falhas por defeitos, ocasionadas por cilindros que apresentam corrosão e testes hidrostáticos vencidos.

A partir disso, foram apontadas sugestões de possíveis melhorias e soluções para esses problemas. Para as falhas de transporte e movimentação, verificou-se a necessidade do uso de *pallets*, para carregamento dos cilindros de forma mais rápida e com maior capacidade, e do uso de empilhadeiras para movimentação desses *pallets*. Isso acarretaria em uma redução de mais da metade do tempo de movimentação e transporte, um maior índice de produtividade de cada operador e ofereceria condições de trabalho mais seguras.

Essa solução também traria impacto para a falha por espera, já que o operador não precisaria mais esperar os cilindros vazios chegarem para iniciar o processo de enchimento nem esperar a saída dos cilindros cheios, apresentando uma redução de quase 90% do tempo de espera. Para os ociosos, a solução foi o remanejamento de sua mão de obra.

Para diminuição dos cilindros defeituosos, a proposta seria a aplicação das ferramentas do TPM, que fariam um maior controle na inspeção de enchimentos e testes de segurança.

Por fim, para as falhas de processo, duas melhorias foram apontadas. Para o problema de fechamento manual da válvula dos cilindros, a solução seria o uso de parafusadeiras elétricas, que reduziriam 5 segundos do tempo de ciclo da operação. Para o processo de medição de temperatura e pressão dos cilindros no momento de enchimento, a solução apresentada seria a implantação de um controlador PLC. O sistema faria o enchimento e o controle de medição de forma automática, aumentando a assertividade do processo, uma vez que não seriam mais necessárias as medições manuais do operador. Além disso, haveria um aumento no índice de produtividade e segurança da empresa.

O mapeamento do cenário futuro leva em consideração todas as técnicas utilizadas para otimizar esses problemas e com as melhorias propostas foi possível reduzir o tempo de ciclo do processo produtivo, atendendo ao valor do *takt time* calculado na seção 3.5.1.

Portanto, pode-se concluir que com os resultados obtidos neste estudo de caso os objetivos gerais e específicos foram atingidos e é possível afirmar de forma geral que as ferramentas do *Lean Manufacturing* são adaptáveis ao processo produtivo de cilindros de gases e podem gerar ganho de produtividade e segurança com a redução dos desperdícios envolvidos no processo.

REFERÊNCIAS

AIR LIQUIDE HEALTHCARE. Air Liquide Group. Disponível em: <<https://www.airliquidehealthcare.com.br/oxigenio-medicinal>>. Acesso em: 11 mar. 2021.

AIR LIQUIDE HEALTHCARE. **Como garantir a segurança no manuseio de cilindros de CO₂?** 2020. Disponível em: <<https://industrial.airliquide.com.br/blog/seguranca-do-cilindro>>. Acesso em 11 mai. 2021.

AIR PRODUCTS AND CHEMICALS, INC. 2013. Disponível em: <<http://www.airproducts.com.br/~media/Files/PDF/company/company-history.pdf?la=pt-BR>>. Acesso em: 08 mar. 2021.

AIR PRODUCTS AND CHEMICALS, INC. **Visão Geral da Empresa.** Disponível em: <<http://www.airproducts.com.br/Company/company-overview.aspx>>. Acesso em: 17 mar. 2021.

ALIBABA, 2021. Disponível em: <<https://portuguese.alibaba.com/g/gas-cylinder-pallet.html/>>. Acesso em: 12 mai. 2021.

ALVAREZ, M. **Administração da Qualidade e Produtividade: abordagens do processo administrativo.** São Paulo: Atlas, 2001.

ANTUNES, J. **Sistemas de Produção: Conceitos e práticas para o projeto e gestão da produção enxuta.** Porto Alegre: Editora Bookman, 2008.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE ENGENHARIA DE PRODUÇÃO. **Áreas e Sub-áreas de Engenharia de Produção.** Rio de Janeiro, 2008. Disponível em: <<http://www.abepro.org.br/interna.asp?c=362>>. Acesso em: 08 nov. 2020.

BASTOS, B.C. **Aplicação de Lean Manufacturing em uma linha de produção de uma empresa do setor automotivo.** 2012. Dissertação de Mestrado (Mestrado em Engenharia Mecânica) – Universidade Taubaté, Taubaté, 2012.

BRITO, L. V. O. **Organização da Produção Através da Aplicação de Ferramentas *Lean Manufacturing* numa Empresa de Produção de Pneus.** 2011. Tese de Mestrado (Mestrado em Engenharia de Gestão Ambiental) – Universidade do Minho, Braga, 2011.

CORRÊA, H. L.; CORRÊA, C. A. **Administração de Produção e Operações: manufatura e serviços: uma abordagem estratégica.** 3. ed. São Paulo: Atlas, 2012.

CORRÊA, H. L.; GIANESI, Irineu G.N. **Just in Time, MRP II e OPT: Um Enfoque Estratégico.** 2.ed. 15 reimpr. São Paulo: Atlas, 1993.

CRUZ, N. M. P. da. **Implementação de Ferramentas *Lean Manufacturing* no Processo de Injeção de Plásticos.** 2013. Tese de Doutorado. Disponível em: <https://repositorium.sdum.uporto.pt/bitstream/1822/26677/1/Dissertacao_MIEGI_Nuno%20Cruz_2013.pdf>. Acesso em: 09 nov. 2020.

CUMMINGS, D. *Managing the Constraint Operation thru Heijunka: Production Leveling*. 2007. Disponível em: <https://sme.org/downloads/expo/2007/ET07/presentations/cummings_managing_constraint.pdf>. Acesso em: 06 nov. 2020.

DENNIS, P. **Produção Lean Simplificada: um guia para entender o sistema de produção mais poderoso do mundo**. São Paulo: Bookman, 2008.

DRICKHAMER, D. *The Kanban E-volution. Material Handling Management*, p. 24-26. 2005.

FERNANDES, F. C. F.; GODINHO FILHO, M. **Planejamento e Controle da Produção: dos fundamentos ao essencial**. 1. ed. São Paulo: Atlas, 2010.

FERREIRA, G. A. de O. **Aplicação do Lean em Pequenas Empresas: um estudo de caso no setor de alimentação fora do lar**. TCC (Graduação em Engenharia de Produção) - Universidade de Brasília, Brasília, 2018.

FIXAIR. **NBR 13183 – Inspeções e Ensaios em Cilindros de Alumínio**. 2020. Disponível em: <<https://fixair.com.br/nbr-13183/>>. Acesso em: 13 mai. 2021.

FRANCELINO, Willians Raphael. **Análise de Gargalos de Produção e Proposta de Melhorias Baseadas nos Conceitos de Lean Manufacturing**. 2018. Trabalho de Conclusão de Curso. Universidade Tecnológica Federal do Paraná.

FURMANS, K. *Models of Heijunka - Leveled Kanban Systems*. 2005. Disponível em: <<http://www.icsd.aegean.gr/aic2005/papers/furmans.pdf>>. Acesso em: 06 nov. 2020.

GHINATO, P. **Sistema Toyota de produção: mais do que simplesmente Just-In-Time**. Ed. Universidade de Caxias do Sul, Caxias do Sul. 1996.

GIANNINI, R. **Aplicação de ferramentas do pensamento enxuto na redução de perdas em operações de serviços**. Dissertação (Mestrado em Engenharia de Produção). São Paulo. Poli/USP. 2007.

ISOTEC, MONTAGENS INDUSTRIAIS, 2013. Disponível em: <<http://isotecmontagens.com.br/principais-obras/air-products-brasil-ltda/>>. Acesso em: 17 mar. 2021.

JONES, D.T. *Heijunka: Leveling Production. Manufacturing Engineering*. v. 137, n.2, 2006.

JUNIOR, E. **O que é o Lean Manufacturing?** 2020. Disponível em: <<https://engrenarjr.com.br/blog/o-que-e-o-lean-manufacturing>> Acesso em: 02 nov. 2020.

KARDEC, A.; NASCIF, J. **Manutenção Função Estratégica**. 2017. Rio de Janeiro: Qualitymark Editora Ltda.

LAMB, CONSTRUÇÕES E ENGENHARIA. 2008. Disponível em: <<http://ilha.digital/lamb-wp/projeto/air-products-do-brasil/>>. Acesso em: 17 mar. 2021.

LIKER, J. *The Toyota Way: 14 management principles from the world's greatest Manufacturer*. New York: McGraw-Hill, 2004.

LIKER, J. K. **O Modelo Toyota: 14 Princípios de Gestão da Maior Fabricante do Mundo**. Porto Alegre: Bookman, 2005.

LINDE GAS. Brasil. Linde Gas, 2017. Disponível em: <<http://www.linde-gas.com.br/pt/index.html>>. Acesso em: 11 de março de 2021.

LOPES, A. F. P. de S. **Implementação de Lean Manufacturing numa Empresa de Metalomecânica Pesada**. Tese de Mestrado (Mestrado em Engenharia de Gestão Ambiental) – Universidade do Minho, Braga, 2016.

MACHADO, W. **Produção Puxada e Empurrada: entenda a diferença**. 2019. Disponível em: <<https://www.voitto.com.br/blog/artigo/producao-puxada-e-empurrada>> Acesso em: 06 nov. 2020.

MANOS, A.; VINCENT C. *The Lean Handbook: A Guide to the Bronze Certification Body of Knowledge*. Milwaukee, Wisconsin: American Society for Quality, 2012.

MARTINS, P.; LAUGENI, F. **Administração da Produção**. 2. ed. São Paulo: Saraiva, 2005.

MORAES, P.H.A. **MANUTENÇÃO PRODUTIVA TOTAL: estudo de caso em uma empresa automobilística**. Dissertação (Mestrado em Gestão e Desenvolvimento Regional) – Departamento de Economia, Contabilidade e Administração, Universidade de Taubaté, Taubaté. 2004.

MOURA, R. A. **A Simplicidade do Controle de Produção**. 3.ed. São Paulo: IMAN, 1989.

MOVIX, 2020. Disponível em: <<https://www.movix.ind.br/empilhadeira-industrial-ou-off-road-qual-a-mais-indicada-para-meu-negocio/>>. Acesso em: 12 mai. 2021.

NAKAJIMA, S. **Introdução ao TPM – Total Productive Maintenance**. São Paulo: IMC Internacional Sistemas Educativos, 1989.

OLIVEIRA, P.L. **Análise dos Sete Desperdícios da Produção em um Abatedouro de Aves**. Projeto de Graduação em Engenharia de Produção. Departamento de Engenharia de Produção, Universidade de Brasília, 2016. Disponível em: <https://bdm.unb.br/bitstream/10483/15209/1/2016_PabloLustosadeOliveira.pdf>. Acesso em: 09 nov. 2020.

OHNO, T. **O Sistema Toyota de Produção: além da produção em larga escala**. Porto Alegre: Artes Médicas, 1988.

OHNO, T. **O Sistema Toyota de Produção: além da produção em larga escala**. Porto Alegre: Artes Médicas, 1997.

PACHECO, D. A. de J. **Teoria das Restrições, Lean Manufacturing e Seis Sigma: limites e possibilidades de integração**. Production, v. 24, n. 4, p. 940-956, 2014.

PALMEIRA, J. N.; TENÖRIO, F. G. **Flexibilização Organizacional: aplicação de um modelo de produtividade total**. Rio de Janeiro: FGV Eletronorte, 2002.

PEREIRA, R. *Why Heijunka*, 2007. Disponível em: <<https://issacademy.com/2007/06/06/why-heijunka-part1/>>. Acesso em: 06 nov. 2020.

PINTO, J. P. **Lean Thinking: Introdução ao pensamento magro**. Comunidade Lean Thinking, 2008.

PLENERT, G. *Reinventing Lean – Introducing lean management into the supply chain*. Butterworth-Heinemann, 2007.

PROUST, M. **Marcel Proust: A sabedoria não se transmite**. Disponível em: <<https://www.pensador.com/frase/MTk5OA/>>. Acesso em: 17 mai. 2021.

REI DA BORRACHA. **Parafusadeira Makita Reta Dobrável Bat. 3,6 V Df001Dw Makita Bivolt**. 2021. Disponível em: <<https://www.oreidaborracha.com.br/parafusadeira-makita-reta-dobavel-bat-3-6-v-df001dw-makita-bivolt-pr-3214-359259.htm>>. Acesso em: 12 mai. 2021.

RIBEIRO, P. D. **As Técnicas KANBAN**. Belo Horizonte: UFMG, 1989.

ROTHER, M.; SHOOK, J. **Aprendendo a Enxergar: Mapeando o fluxo de valor para agregar valor e eliminar o desperdício**. São Paulo, SP: Lean Institute Brasil, 2012.

SEBROSA, R. **Modelo de avaliação das condições de aplicação da produção magra: o caso da indústria gráfica**. Dissertação de Mestrado, Faculdade de Ciências e Tecnologia. Universidade Nova de Lisboa. 2008.

SHINOHARA, I. **NPS New Production System: JIT Crossing Industry Boundaries**. Cambridge: Productivity Press, 1988. 224 p.

SHINGO, S. **O Sistema Toyota de Produção: do ponto de vista da engenharia de produção**. Tradução de Eduardo Schaan. Porto Alegre: Bookman, 1996.

SHIROSE, K. **TPM para Mandos Intermédios de Fábrica**. Madrid: Productivity Press. 1994.

SCHULTZ, D.; TANNENBAUM, S.; LAUTERBORN, R. **Comunicação integrada de marketing. O Novo Paradigma do Marketing**. São Paulo: Makron Books. 1994.

SKHMOT, N. **The 8 Wastes of Lean**. 2017. Disponível em: <<https://theleanway.net/The-8-Wastes-of-Lean>>. Acesso em: 27 nov. 202.

SLACK, N., CHAMBERS, S., JOHNSTON, R. **Administração da Produção**. 2. ed, São Paulo: Atlas, 2002.

SLACK, N., CHAMBERS, S., JOHNSTON, R. **Administração da Produção**. 3. ed. São Paulo: Atlas, 2009.

SMALLEY, A. **Criando o Sistema Puxado Nivelado**. São Paulo: Lean Institute Brasil, 2004.

SOUZA, V. C. de. **Organização e Gerência da Manutenção**. 5 ed. São Paulo: All Print, 2011.

SUZUKI, T. *TPM in Process Industries*. Portland (OR - EUA): Productivity Press, Inc., 1994.

TARDIN, G. G. **O Kanban e o Nivelamento da Produção**. 91 p. Dissertação (Mestrado). Faculdade de Engenharia Mecânica, Universidade Estadual de Campinas. Campinas, 2001.

TAVARES, L. A. **Administração Moderna da Manutenção**. 2ª Ed. Rio de Janeiro: Novo Polo Publicações, 1999.

TUBINO, D. F. **Manual do Planejamento e Controle da Produção**. 2. ed. São Paulo: Atlas, 2000.

VIEIRA, M. G. **Aplicação do Mapeamento de Fluxo de Valor para Avaliação de um Sistema de Produção**. Dissertação (Mestrado em Engenharia Mecânica) – Departamento de Engenharia Mecânica, Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis, 2006. Disponível em: <<https://repositorio.ufsc.br/bitstream/handle/123456789/88470/241197.pdf?sequence=1&isAllowed=y>>. Acesso em: 09 nov. 2020.

WELDCOA. MEDICAL GAS EQUIPMENT AND AUTOMATION, 2021. Disponível em: <<https://www.weldcoa.com/medical-gas-equipment-and-automation>> Acesso em: 12 mai. 2021.

WERKEMA, M. C. C. **Lean Seis Sigma**. Introdução às Ferramentas do Lean Manufacturing. Belo Horizonte: Werkema, 2010.

WERKEMA, C. **Lean Seis Sigma**: Introdução às ferramentas do Lean Manufacturing. 2. ed. Rio de Janeiro: Elsevier, 2011. (Werkema de excelência operacional).

WHITE MARTINS. Praxair Brasil, 2018. Disponível em: <<https://www.praxair.com.br/-/media/corporate/praxair-brazil/documents/sds/64-oxignio-comprimido.pdf>>. Acesso em: 11 mar. 2021.

WILLMOTT, P. *The TQM Magazine - Total Quality with Teeth*. MCB University Press, 1994.

WOMACK, J.P., JONES, D.T. & ROSS, D. *The Machine that Changed the World*. Rawson Associates, New York, NY. 1990.

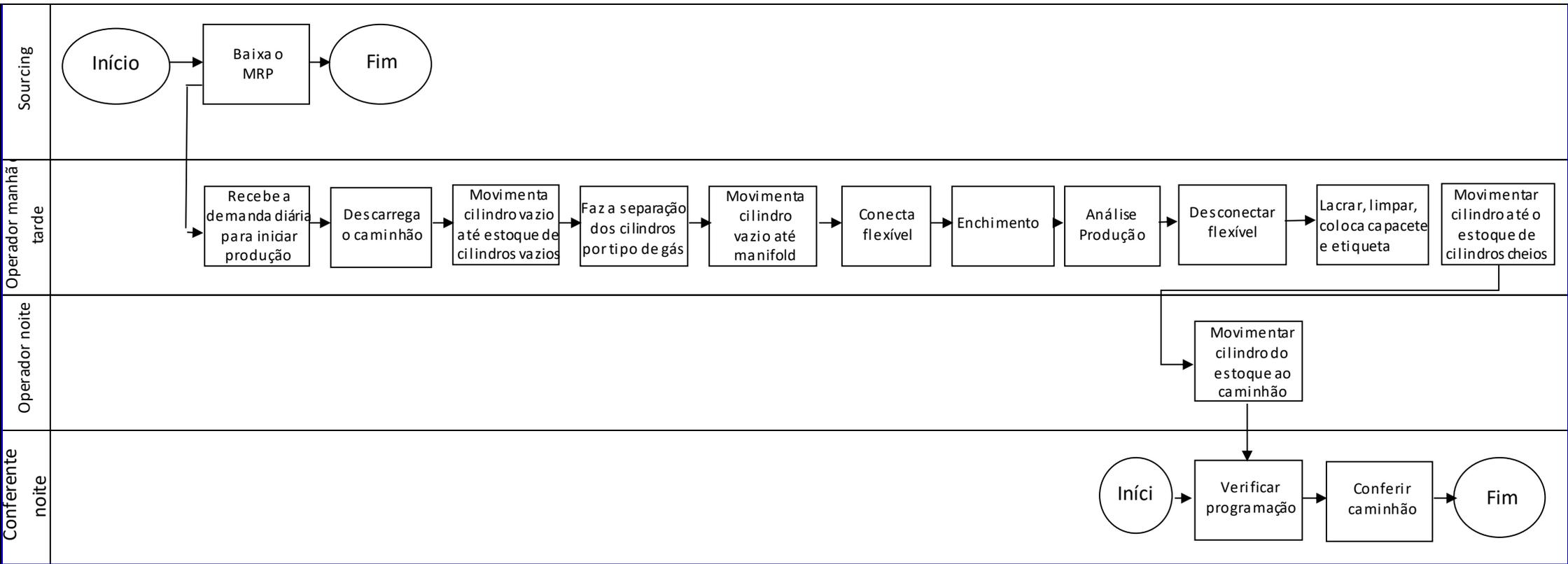
WOMACK, J.P., JONES, D.T. & ROSS, D. *The Machine that Changed the World*. Rawson Associates, New York, NY. 1996.

WOMACK, J. P.; JONES, D. T.; ROOS, D. **A Máquina que Mudou o Mundo**. 11. ed. Rio de Janeiro: Elsevier, 2004.

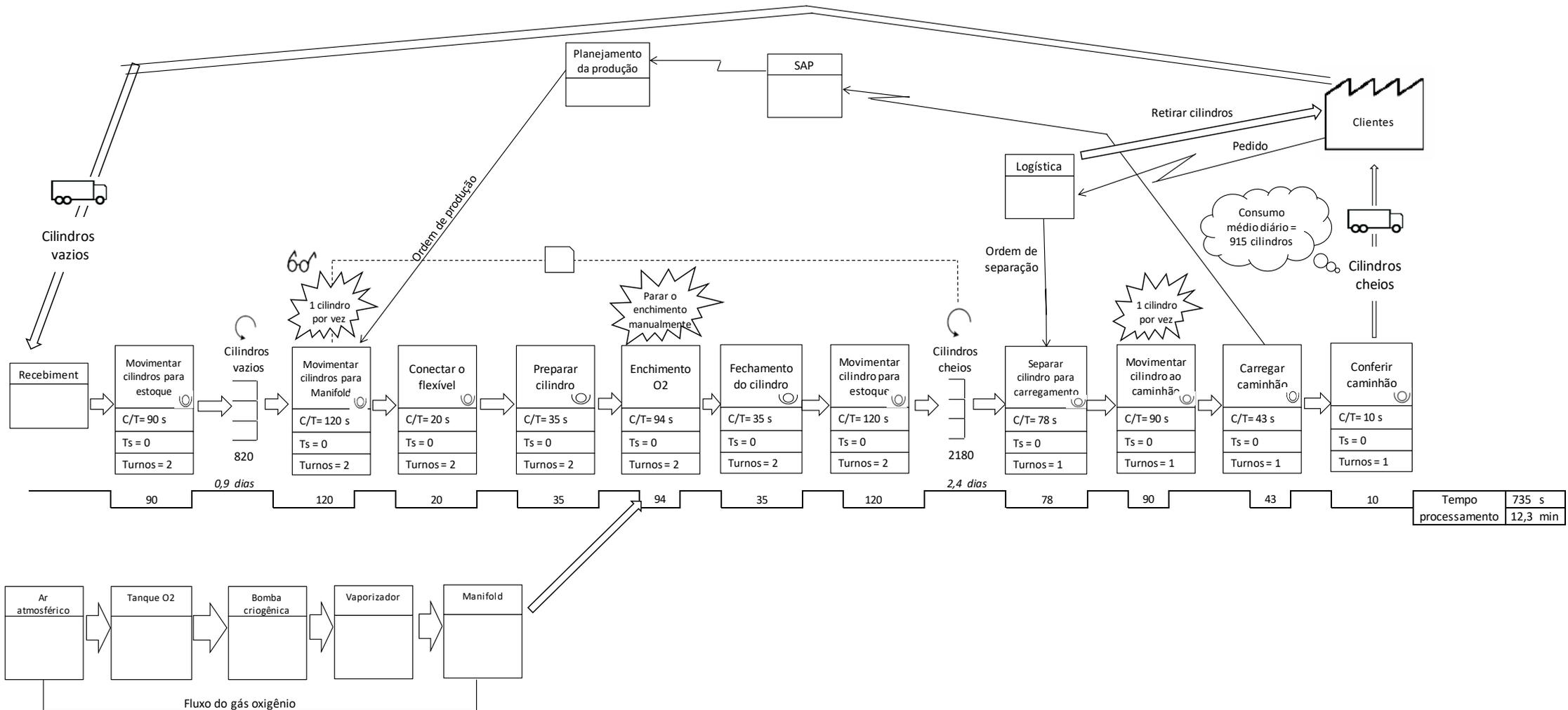
WYREBSKI, J. **Manutenção Produtiva Total - Um Modelo Adaptado**. Florianópolis: Universidade Federal de Santa Catarina, 1997.

X CONGRESSO NACIONAL DE EXCELÊNCIA EM GESTÃO. 2014, Niterói. **A Aplicação do Lean Manufacturing nas indústrias**. Niterói: [s.n.],2014.

APÊNDICE A – FLUXOGRAMA



APÊNDICE B – MAPA DE FLUXO DE VALOR DO ESTADO ATUAL



APÊNDICE C – MAPA DE FLUXO DE VALOR DO ESTADO FUTURO

