

UNIVERSIDADE FEDERAL DO RIO GRANDE – FURG
ESCOLA DE ENGENHARIA
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM ENGENHARIA MECÂNICA

**APLICAÇÃO DO *VALUE STREAM MAPPING* (VSM) PARA MELHORIA DO
PROCESSO DE FABRICAÇÃO E MONTAGEM EM PARADAS DE MANUTENÇÃO**
DISSERTAÇÃO DE MESTRADO

LEONARDO COFFERRI

RIO GRANDE, RS

2022

LEONARDO COFFERRI

**APLICAÇÃO DO *VALUE STREAM MAPPING* (VSM) PARA MELHORIA DO
PROCESSO DE FABRICAÇÃO E MONTAGEM EM PARADAS DE MANUTENÇÃO**

Dissertação de mestrado apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Engenharia Mecânica da Universidade Federal do Rio Grande - FURG como requisito para obtenção do título de Mestre em Engenharia Mecânica – Área de Concentração: Engenharia de Fabricação.

Orientador: Prof. Dr. Leonardo de Carvalho Gomes.

RIO GRANDE, RS

2022

Ficha Catalográfica

C675a Cofferi, Leonardo.

Aplicação do *Value Stream Mapping* (VSM) para melhoria do processo de fabricação e montagem em paradas de manutenção / Leonardo Cofferi. – 2022.

71 f.

Dissertação (mestrado) – Universidade Federal do Rio Grande – FURG, Programa de Pós-Graduação em Engenharia Mecânica, Rio Grande/RS, 2022.

Orientador: Dr. Leonardo de Carvalho Gomes.

1. Manutenção Enxuta 2. *Value Stream Mapping* (VSM) 3. MMLT
I. Gomes, Leonardo de Carvalho II. Título.

CDU 621

Catálogo na Fonte: Bibliotecário José Paulo dos Santos CRB 10/2344



UNIVERSIDADE FEDERAL DO RIO GRANDE - FURG
ESCOLA DE ENGENHARIA
Programa de Pós-Graduação em Engenharia Mecânica
PPMec



Ata nº **11/2022** da Defesa de Dissertação de Mestrado do Programa de Pós-Graduação em Engenharia Mecânica da Universidade Federal do Rio Grande - FURG. Aos vinte e quatro dias do mês de agosto de dois mil e vinte e dois, foi instalada a Banca de Defesa de Mestrado do Programa de Pós-Graduação em Engenharia Mecânica, às dez horas, online via web conferência, a que se submeteu o mestrando **Leonardo Coffferri**, nacionalidade brasileira, dissertação ligada a Linha de Pesquisa simulação e controle de processos de fabricação, com o seguinte título: **Aplicação Do Value Stream Mapping (VSM) Para Melhoria Do Processo De Fabricação E Montagem Em Paradas De Manutenção**. Referendada pela Câmara Assessora do Curso, os seguintes Professores Doutores: Leonardo De Carvalho Gomes, Luciano Volcanoglo Biehl, Ricardo Augusto Cassel, sob a presidência do Professor Leonardo De Carvalho Gomes. Analisando o trabalho, os Professores da Banca Examinadora o consideraram:

1. Leonardo de Carvalho Gomes: APROVADO _____
2. Luciano Volcanoglo Biehl: APROVADO _____
3. Ricardo Augusto Cassel: APROVADO _____

Foi concedido um prazo de 30 dias para o candidato efetuar as correções sugeridas pela Comissão Examinadora (anexo) e apresentar o trabalho em sua redação definitiva, sob pena de não expedição do Diploma. A ata foi lavrada e vai assinada pelos membros da Comissão.

Assinaturas:

1. _____
CPF: 885.669.350-04
 Documento assinado digitalmente
LEONARDO DE CARVALHO GOMES
Data: 24/08/2022 09:20:48-0300
Verifique em <https://verificador.iti.br>
2. _____
CPF: 575.195.100-00
 Documento assinado digitalmente
Luciano Volcanoglo Biehl
Data: 24/08/2022 10:38:16-0300
Verifique em <https://verificador.iti.br>
3. _____
CPF: 641.823.710-20
 Documento assinado digitalmente
RICARDO AUGUSTO CASSEL
Data: 24/08/2022 11:59:56-0300
Verifique em <https://verificador.iti.br>

Leonardo Coffferri: _____

DEDICATÓRIA

*Dedico este trabalho à minha família, que esteve
ao meu lado ao longo de toda esta jornada.*

AGRADECIMENTOS

Inicialmente, agradeço a Deus, por ser um guia durante esta trajetória e por me acompanhar de forma incondicional.

À minha esposa, Mariane; aos meus pais, Leonildo e Marini; às minhas irmãs, Natiele e Fernanda, e a toda a família, que esteve comigo nos momentos de maior dificuldade.

Aos professores do PPMec-FURG, que estiveram à disposição sempre que as dúvidas e as incertezas da pesquisa surgiram.

À Universidade Federal do Rio Grande (FURG), por oportunizar uma formação acadêmica, em nível de pós-graduação, de qualidade e gratuita.

RESUMO

A melhoria contínua e a otimização de processos têm sido perseguidas pelo setor industrial em todas as suas cadeias. A mentalidade enxuta e a filosofia *lean* tornaram-se uma alternativa estratégica para o aumento da satisfação dos clientes, a redução de perdas e o aumento da rentabilidade. Dessa forma, o presente trabalho apresenta a proposta de aplicação do *value stream mapping* (VSM) em um processo de fabricação e montagem de tubulação industrial dentro de uma grande parada de manutenção, com o objetivo de buscar oportunidades de melhoria nesse fluxo de valor. As atividades que agregam ou não valor a esse contexto são demonstradas e permitem ao leitor conhecer o método de construção de um mapa de fluxo de valor para um processo de manutenção. Além disso, a pesquisa apresenta a correlação dos parâmetros do tempo médio de ciclo de manutenção (MMLT) e os impactos dos indicadores MTTO, MTTE e MTTY no contexto analisado, demonstrando, em um estudo de caso, como a ação desses parâmetros impacta quantitativamente no fluxo analisado. Após a aplicação da metodologia, com a alteração de atividades classificadas como MTTO, foi possível obter uma evolução de 7,94% de valor agregado (VA) e um ganho de 118 horas no MMLT do fluxo de manutenção analisado, além de validar a metodologia como ferramenta de suporte ao planejamento de grandes paradas de manutenção.

Palavras-chave: manutenção enxuta; *value stream mapping* (VSM); MMLT.

ABSTRACT

The search for continuous improvement and process optimization has been pursued by the industrial sector in all its chains. The lean mentality and the lean philosophy have become a strategic alternative to increase customer satisfaction, reduce losses and increase profitability. In this way, the present work presents the proposal for the application of value stream mapping (VSM) in a process of manufacturing and assembly of industrial piping within a major maintenance stop in order to seek opportunities for improvement in this value stream. The definition of activities that add value or not in this context are demonstrated and allow the reader to know the method of how to build a value stream map for a maintenance process. Allied to this, the research presents the correlation of the parameters of the average maintenance cycle time (MMLT) and the respective impacts of the MTTO, MTTE and MTTY indicators in the analyzed context, demonstrating in a case study, how the action of these parameters quantitatively impacts the flow analyzed. After applying the methodology, with the change of activities classified as MTTO, it was possible to obtain an evolution of 7.94% of added value (VA) and gain of 118 hours in the MMLT of the analyzed maintenance flow, in addition to validating the methodology as tool to support the planning of turnarounds.

Keywords: lean maintenance; *value stream mapping* (VSM); MMLT.

LISTA DE FIGURAS

Figura 1 – Classificação dos tipos de estratégias de manutenção.	17
Figura 2 – Classificação dos tipos de tubulações industriais.	28
Figura 3 – Tubulação fabricada e montada no estudo de caso durante uma parada de manutenção.	35
Figura 4 – Cronograma de implementação do VSM.	36
Figura 5 – Fluxograma dos procedimentos metodológicos.	37
Figura 6 – Exemplo de VSM obtido após aplicação da metodologia.	43
Figura 7 – Abertura e fechamento de ordem de manutenção.	49
Figura 8 – Etapa de fabricação do estudo de caso – classificação de VA e NVA.	51
Figura 9 – Etapa de montagem do estudo de caso – classificação de VA e NVA.	52
Figura 10 – Mapa do estado atual obtido por VSM para o estudo de caso.	53
Figura 11 – Tubulação fabricada e montada em parada de manutenção – estado futuro.	56
Figura 12 – Etapa de fabricação do estudo de caso – classificação de VA e NVA para estado futuro.	57
Figura 13 – VSM para o estado futuro do estudo de caso.	58

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 – Resumo de etapas do VSM.....	43
Tabela 2 – Modelo de tabela para resultados do VSM após a conclusão das seis etapas.	43
Tabela 3 – Etapas do processo de fabricação – estudo de caso.....	54
Tabela 4 – Etapas do processo de montagem – estudo de caso.....	54
Tabela 5 – Resultados do mapa atual após a aplicação do VSM no estudo de caso.	54
Tabela 6 – Etapas do processo de fabricação – estudo de caso – mapa futuro.....	59
Tabela 7 – Resultados do VSM aplicado no estudo de caso – estado futuro.	59

LISTA DE QUADROS

Quadro 1 – Definição dos 7 tipos de desperdícios.....	21
Quadro 2 – Comparação dos objetivos do VSM e do TAM.....	32
Quadro 3 – Resumo de dados de paradas analisadas no estudo de caso.....	34
Quadro 4 – Classificação de VA, NNVA e NVA para o estudo de caso.....	45
Quadro 5 – Simbologia para construção do VSM para o estudo de caso.....	46

LISTA DE ABREVIATURAS

ASME	<i>American Society for Mechanical Engineering</i>
CBM	Manutenção Baseada na Condição
DOM	Manutenção de Design
ERP	<i>Enterprise Resource Planning</i>
FURG	Universidade Federal do Rio Grande
KPI	<i>Key Performance Indicators</i>
LM	<i>Lean Maintenance</i>
MMLT	<i>Mean Maintenance Lead-Time</i>
MTTE	<i>Mean Time To Execute</i>
MTTO	<i>Mean Time To Organize</i>
MTTY	<i>Mean Time To Yield</i>
NNVA	<i>Necessary but Non-Value Adding</i>
NVA	<i>Non-Value Adding</i>
OEE	<i>Overall Efficiency Equipment</i>
OS	Ordem de Serviço
PCM	Planejamento e Controle da Manutenção
PM	Manutenção Preventiva
SAP	<i>Systems, Applications and Products in Data Processing</i>
STP	Sistema Toyota de Produção
TAM	<i>Maintenance Turnarounds</i>
TBM	Manutenção Baseada no Tempo
TC	Tempo de Ciclo
TPM	Manutenção Produtiva Total
VA	<i>Value Adding</i>
VSM	<i>Value Stream Mapping</i>
WIP	<i>Work-in-process</i>

SUMÁRIO

1	INTRODUÇÃO	11
1.1	OBJETIVO GERAL.....	13
1.2	OBJETIVOS ESPECÍFICOS	13
2	REFERENCIAL TEÓRICO	14
2.1	A MENTALIDADE ENXUTA.....	14
2.2	A MANUTENÇÃO ENXUTA	16
2.3	VALOR AGREGADO	20
2.4	<i>VALUE STREAM MAPPING</i> (VSM).....	24
2.5	FABRICAÇÃO DE TUBULAÇÕES.....	28
2.6	PARADAS DE MANUTENÇÃO.....	30
3	PROCEDIMENTOS METODOLÓGICOS	33
3.1	CARACTERIZAÇÃO DA PESQUISA	33
3.2	CARACTERIZAÇÃO DO OBJETO DE ESTUDO	33
3.3	ETAPAS DA PESQUISA	37
3.3.1	Classificação de VA e NVA.....	38
3.3.2	Simbologia para aplicação do VSM.....	38
3.3.3	Aplicação do VSM	39
3.3.4	Projeção do estado futuro	44
4	RESULTADOS	45
4.1	RESULTADOS DA CLASSIFICAÇÃO DE VA E NVA	45
4.2	RESULTADOS DA SIMBOLOGIA PARA APLICAÇÃO DO VSM	46
4.3	RESULTADOS DA APLICAÇÃO DO VSM	48
4.4	RESULTADOS DA PROJEÇÃO DO ESTADO FUTURO.....	54
5	DISCUSSÕES	60
6	CONSIDERAÇÕES FINAIS E RECOMENDAÇÃO PARA TRABALHOS FUTUROS	63
7	REFERÊNCIAS	65
7.1	REFERÊNCIAS NOMINAIS	65
7.2	INFORMAÇÕES ADICIONAIS DAS REFERÊNCIAS	69

1 INTRODUÇÃO

A competitividade entre as empresas e o dinamismo do mercado tem aumentado significativamente ao longo dos anos. Porter (1999) afirma que nenhuma empresa pode ignorar a necessidade de competir diante do mercado atual, independentemente de seu país. Todas elas precisam envolver-se na tendência competitiva e buscar meios de se manterem na disputa. Dessa forma, novas metodologias e novos modelos organizacionais surgiram com o objetivo de proporcionarem soluções estratégicas para que tais negócios permaneçam competitivos e perdurem ao longo dos anos (BORCHARDT, 2005).

Neste contexto, Womack e Jones (1998) sugerem que ações organizacionais sejam direcionadas ao que realmente possui valor para o cliente final, ou seja, ações focadas na entrega de produtos e serviços que o cliente valoriza e pelos quais está disposto a pagar. Assim, surgiram metodologias cuja principal missão é encontrar o valor agregado do tipo de produto e de serviço em questão. Ainda segundo Womack e Jones (1998), na busca por valor agregado, emergiu a Mentalidade Enxuta, definida como uma maneira de especificar o valor e as ações que o criam. A partir desta mentalidade, são apresentadas formas de fazer mais com menos, isto é, de oferecer aos clientes exatamente o que eles buscam, com menos tempo, menos espaço, menos equipamentos, menos esforço humano. Esse ciclo de otimização é constante, sempre evoluindo na busca por melhoria contínua (BORCHARDT, 2005).

Uma das ferramentas da mentalidade enxuta, o *value stream mapping* (VSM) foi proposto por Rother e Shook (1999) como um meio de identificar, as atividades que agregam e não agregam valor. O resultado da aplicação dessa metodologia é um mapa de atividades que apresenta valor agregado ou não das respectivas atividades, mapa que posteriormente recebe uma análise crítica e alterações futuras que visam a otimização. O redesenho do mapa é feito com as propostas de melhoria e busca apresentar o desenho do estado futuro do processo/atividade analisado (ROTHER; SHOOK, 1999). O *value stream mapping* mapeia não apenas o fluxo de materiais e tarefas, mas também o fluxo da informação que percorre e controla o sequenciamento das atividades envolvidas (BRAGLIA; CARMIGNANI; ZAMMORI, 2006). Segundo Klotz *et al.* (2008), o VSM provou ser efetivo na expansão da visibilidade e da transparência dos processos, além da redução do tempo de entrega e do *lead-time*. Assim, a aplicação do VSM torna-se ampla no âmbito acadêmico e empresarial, visto que permite uma rápida visualização das principais perdas do processo analisado.

Nessa linha de pensamento, foi desenvolvida a construção do VSM no setor de manutenção, área para cujas atividades Sawhney *et al.* (2009) propuseram a adaptação da metodologia. Os autores identificaram oportunidades em processos de montagem, fabricação, reparos, instalações, dentre outros. Sawhney *et al.* (2009) igualmente apresentam o conceito de MMLT (*Mean Maintenance Lead Time*), que exhibe o tempo médio para um ciclo/processo de manutenção ser concluído. Dessa maneira, a presente correlaciona a aplicação do VSM (análise de agregação de valor) à análise do MMLT referente a um processo de manutenção em grandes paradas. Além disso, a metodologia é utilizada como subsídio para o planejamento de manutenção de grandes paradas.

Posto isso, a intenção deste estudo é aplicar o *value stream mapping* em um processo de fabricação e montagem de tubulação em uma parada de manutenção, visando à agregação de valor do processo, à redução de desperdícios e ao impacto no tempo médio de ciclo do processo. Além disso, até o presente momento de realização desta pesquisa e na literatura consultada, não foram encontradas discussões com sobre a correlação entre VSM e MMLT nos processos de fabricação e montagem, o que confere, de certa forma, um caráter precursor à pesquisa. À vista disso, percebe-se um *gap* para explorar mais detalhadamente a aplicação do VSM, analisando o impacto na variação dos parâmetros do MMLT frente aos tempos de fabricação e montagem no contexto analisado, e assim, surge o problema da pesquisa: como o VSM pode apresentar melhorias de valor agregado em um processo de fabricação e montagem?

Além da contribuição acadêmica oriunda da correlação entre o VSM e os parâmetros do MMLT, esta investigação justifica-se pelo impacto positivo que pode gerar no setor de manutenção de empresas que realizam processos de fabricação e montagem de tubulações em paradas de manutenção. Com a aplicação do método pode ser possível reduzir o tempo de manutenção, aumentar o OEE, diminuir custos de manutenção e ampliar a difusão de conceitos *lean* dentro dos processos internos.

O aumento do valor agregado em processos de manutenção é uma das buscas do mercado atual, com vistas a sistemas mais enxutos e produtivos. Investir na filosofia e formas *lean* tem sido um caminho trilhado pelas empresas, movimento com o qual esta pesquisa pode contribuir. Por fim, salienta-se que a difusão da ferramenta VSM, bem como do conceito de MMLT e de seus parâmetros, nos ambientes acadêmicos e industrial contribui de forma ativa para a redução de perdas e otimização de processos de manutenção.

Quanto à estrutura da dissertação, esta se organiza em seis capítulos, além da presente introdução. O capítulo 2 apresenta a revisão de literatura, a qual aborda o que se tem de mais

atual sobre os temas escolhidos para subsidiar a pesquisa, a saber: mentalidade enxuta, manutenção enxuta, valor agregado, *value stream mapping* (VSM), fabricação de tubulações e paradas de manutenção. Já o capítulo 3 demonstra os procedimentos metodológicos utilizados, bem como caracteriza a pesquisa e a aplicação do VSM. Por sua vez, o capítulo 4 expõe os resultados obtidos pelo estudo. O capítulo 5, por seu turno, discute os resultados apresentados no capítulo anterior. Por fim, além de apresentar as considerações finais, o capítulo 6 retoma os objetivos do presente trabalho e pontua recomendações para trabalhos futuros, com vistas à continuidade de estudos da temática em questão.

1.1 OBJETIVO GERAL

Aplicar o método do *value stream mapping* (VSM) no fluxo de valor da manutenção para melhoria de um processo de fabricação e montagem de tubulação em uma parada de manutenção, visando encontrar oportunidades para aumento de valor agregado do referido processo.

1.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS

- (a) Capacitar e tornar a equipe participante do projeto apta a construir um VSM em um fluxo de manutenção.
- (b) Aplicar o VSM como ferramenta de suporte ao planejamento de paradas de manutenção.
- (c) Analisar a influência da alteração de parâmetros do MMLT em um fluxo de manutenção.

2 REFERENCIAL TEÓRICO

O presente capítulo apresenta as contribuições teóricas disponíveis na literatura com relação aos temas considerados relevantes à realização desta pesquisa. Para tanto, foram selecionados artigos científicos, dissertações, teses e livros a fim de subsidiar o referencial teórico. Os principais autores serão apresentados no primeiro parágrafo de cada seção, o que possibilita ao leitor maior clareza no entendimento das fontes que nortearam esta investigação.

2.1 A MENTALIDADE ENXUTA

Nesta seção, são apresentados os referenciais teóricos que suportaram o entendimento do tema *mentalidade enxuta*, também conhecido como *lean thinking*. A esse respeito, os seguintes autores subsidiaram as discussões: Lacerda, Xambre e Alvelos (2015), Belekoukias, Garza-Reyes e Kumar (2014) e Yadav *et al.* (2019).

A mentalidade enxuta adquiriu uma reputação mundial com base em resultados relacionados à melhoria da produção e à redução de custos em várias empresas. Tal filosofia de gerenciamento concentra-se na identificação do que é valor para o cliente e na redução de desperdícios nos processos. Os métodos e as técnicas do *lean thinking* expandiram seu escopo, movendo-se da indústria automotiva para uma ampla gama de indústrias e serviços. Um dos exemplos de aplicação dessa filosofia vem acontecendo na Europa, após a sua crise econômica iniciada em 2010, quando as empresas tiveram grande impacto em suas receitas e foram impulsionadas a reinventarem tanto os seus negócios quanto as suas estruturas organizacionais, implementando filosofias de gerenciamento de perdas (LACERDA; XAMBRE; ALVELOS, 2015).

O mercado contemporâneo está cada vez mais competitivo, o que reflete nas buscas das organizações por excelência operacional, melhoria de desempenho e aumento de lucro. A fim de se reduzirem custos internos e de se fornecerem produtos/serviços de maior qualidade, em prazos mais curtos, os princípios e as técnicas da mentalidade enxuta têm sido amplamente utilizados como estratégia para se alcançarem os referidos indicadores. Considera-se o *lean thinking* uma estratégia de gestão que auxilia as organizações a serem mais enxutas, eficientes e com menores despesas operacionais (BELEKOUKIAS; GARZA-REYES; KUMAR, 2014).

De acordo com Belekoukias, Garza-Reyes e Kumar (2014), existem diversos métodos e ferramentas que visam a melhorar o desempenho operacional das organizações e que podem

ser utilizados para a otimização dos resultados. Estão compreendidos sob a base da mentalidade diversos conceitos/ferramentas, por exemplo: *just-in-time* (JIT), manutenção produtiva total (TPM), autonomia, kaizen (melhoria contínua) e *value stream mapping* (VSM). Evidências sugerem que métodos e ferramentas *lean* permitiram às empresas a qualificação de suas operações e de seus processos internos. No entanto, é importante salientar que os indicadores de desempenho (custo, velocidade de entrega, confiabilidade, qualidade e segurança) ainda estão em constante estudo, o que possibilita que mais pesquisas e validações científicas sejam desenvolvidas acerca da aplicabilidade de tais métodos e ferramentas na indústria. Isso porque ainda é um desafio para aqueles que buscam utilizar a mentalidade enxuta, cuja implementação depende de consentimentos da alta gestão e diretoria, o que causa transições culturais e choques de realidade com os processos atuais – os quais, na maioria das vezes, apresentam certa resistência para seu rompimento (BELEKOUKIAS; GARZA-REYES; KUMAR, 2014).

De acordo com Yadav *et al.* (2019), a mentalidade enxuta não está limitada a empresas de grande porte, na medida em que as organizações de pequeno e médio porte também buscam melhorias organizacionais e podem utilizar essa metodologia. Além disso, há registros de que tais organizações tiveram casos de sucesso ao aplicarem essa filosofia em suas dependências. Ainda segundo Yadav *et al.* (2019), acredita-se que as pequenas e médias empresas sejam a espinha dorsal de toda a indústria e economia de uma nação: além da importante contribuição na criação de empregos, elas apresentam uma boa participação na cadeia de suprimentos dos sistemas econômicos. O aumento da competitividade e a redução das margens de lucro tem estimulado as empresas de pequeno e médio porte a entregar produtos e serviços de qualidade e com entregas mais rápidas para permanecerem ativas no mercado. Quando empresas desse porte sofrem com baixa produtividade, baixa qualidade, longo *lead-time*, alto estoque e baixo desempenho organizacional, o desafio é real, de forma que o desenvolvimento de uma mentalidade enxuta no âmbito de seus processos organizacionais é imprescindível para a sobrevivência do empreendimento (YADAV *et al.*, 2019).

Ao analisar-se o contexto das empresas e o modo como os setores de atuação vem melhorando os seus serviços, percebe-se que a aplicação de um modelo de gestão com foco em recursos disponíveis é uma prática de gerenciamento estratégica, cuja aplicação é, porém, uma tarefa desafiadora. Conforme Dora *et al.* (2013) e Hu *et al.* (2015), a implementação da mentalidade enxuta no contexto desejado necessita de alguns pré-requisitos, a saber: boa capacidade de liderança operacional, conhecimento no ramo de atuação, capacidade financeira para novos investimentos e intenção de desenvolver diferentes habilidades dos colaboradores

da empresa. Embora a aplicação do *lean thinking* em empresas de pequeno e médio porte ainda esteja em um estágio de construção/divulgação, nota-se que alguns resultados obtidos estão sendo divulgados na literatura por meio de publicações científicas e tal aplicação é um movimento ascendente no ambiente empresarial (YADAV *et al.*, 2019).

Iniciado pelo Sistema Toyota de Produção (STP), que aborda a filosofia de fabricação da *Toyota Motor Corporation*, o sistema *lean* (enxuto) ganhou impulso em diferentes setores. Esse formato de gerenciamento tem sido estendido a setores de serviços como os de manutenção, bancos, companhias aéreas, restaurantes, setores públicos, educação, alimentação e hospitais (RESTA; POWELL; GAIARDELLI; DOTTI, 2015). Por exemplo, no setor de saúde, existem *cases* de hospitais que aplicaram conceitos e práticas *lean* e obtiveram níveis de atendimento de maior qualidade, inclusive reduções em indicadores de taxa de mortalidade. Assim, verifica-se, de um lado, que é verdadeira a possibilidade de implementar-se a filosofia da mentalidade enxuta para além dos setores de produção e, de outro lado, que é igualmente factível a hipótese levantada por Womack e Jones (2003) segundo a qual as ferramentas da filosofia *lean* podem ser transferidas para qualquer organização.

2.2 A MANUTENÇÃO ENXUTA

Nesta seção, é apresentada a fundamentação teórica subjacente aos conceitos e às contribuições sobre o tema *manutenção enxuta*. A esse propósito, os principais autores mobilizados neste trabalho foram Mostafa *et al.* (2015) e Shou *et al.* (2020).

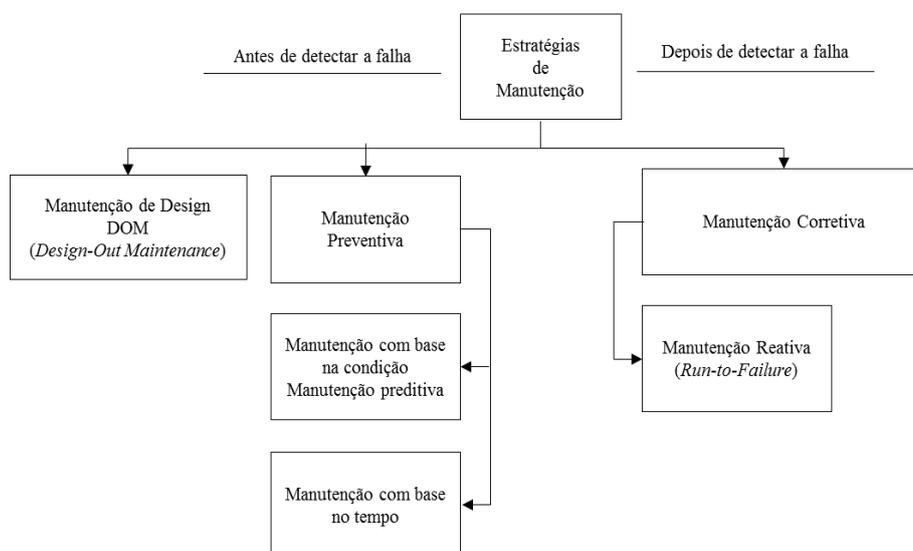
A manutenção inclui todas as atividades necessárias para manter-se um ativo de acordo com sua *performance* nominal de projeto. Essas atividades, geralmente, são realizadas de acordo com uma determinada estratégia de manutenção. As estratégias podem ser desenvolvidas de acordo com o plano de manutenção do equipamento, de acordo com um fluxo interno de gestão de manutenção ou, simplesmente, com um caráter reativo (corretiva) (SHAHIN; SHIROUYEHZAD; POURJAVAD, 2012).

Durante a evolução histórica, o processo de manutenção inicialmente convergia suas atividades no interior de um sistema corretivo, sem estratégias de otimização e com baixa importância aos impactos gerados ao ritmo de produção. Mais recentemente, a manutenção tornou-se um departamento tático nas empresas, tornando-se parte do negócio, com impacto direto no produto final. Hoje, a gestão de manutenção é uma sistemática complexa, que engloba

técnicas e metodologias diversas, embora ainda demande flexibilidade na lida com o dinamismo do ambiente industrial (LEE; WANG, 2008).

Essa caminhada do setor ocorreu de forma gradual, apresentando uma divisão que pode ser categorizada da seguinte forma: a manutenção preventiva (PM), contendo a manutenção baseada na condição (CBM) e no tempo de manutenção (TBM); a manutenção de *design* (DOM) e a manutenção produtiva total (TPM), conforme a Figura 1, a seguir. A classificação das estratégias de manutenção mostradas na Figura 1 é baseada no tempo das atividades de manutenção e no tipo de falha que é apresentada pelo equipamento (POTES RUIZ, KAMSU FOGUEM; GRABOT, 2014). Atividades de manutenção que são realizadas após a ocorrência da falha se caracterizam como manutenções corretivas. Em contrapartida, atividades de manutenção realizadas antes da ocorrência da falha são definidas como manutenções preventivas. Diferentes definições sobre os tipos de manutenção têm sido difundidas na literatura, porém, neste trabalho, será adotado o sistema de classificação apresentado na Figura 1, a seguir.

Figura 1 – Classificação dos tipos de estratégias de manutenção.



Fonte: Traduzido de Ruiz, Foguem e Grabot (2014).

Nos processos de melhoria contínua e mentalidade enxuta, o setor de manutenção desempenha função estratégica nos objetivos de uma organização. Em sua concepção, a manutenção visa a atender as instalações de manufatura com alta produtividade, envolvendo ações planejadas e não planejadas para manter um ativo físico em um nível aceitável de entrega

(FRASER, 2014). A manutenção busca confiabilidade, segurança, disponibilidade e qualidade de um ativo, com custos econômicos aceitáveis. Nas últimas décadas, a manutenção foi considerada um mal necessário da gestão organizacional, pois a execução de algumas manutenções acontecia em caráter corretivo, após a quebra não planejada de um determinado equipamento. No entanto, o formato de manutenção corretiva perdeu espaço dentre as organizações que permanecem competitivas no mercado, uma vez que a função de manutenção passou a ser reconhecida como um elemento pontual na geração de receita e na diminuição de custos operacionais para as organizações. Ademais, o setor é considerado um fator-chave devido à possibilidade de criar impacto significativo em alguns elementos críticos do processo produtivo, como segurança, qualidade e volume (KHAZRAEI; DEUSE, 2011).

Com relação aos custos operacionais, é importante lembrar que as atividades de manutenção podem variar de 15% a 70% do custo total de produção, perdendo apenas para os custos com energia (FRASER, 2014). Nos Estados Unidos, o custo estimado com manutenção aumentou de \$ 200 bilhões em 1989 para \$ 600 bilhões em 1999. As atividades de manutenção são responsáveis por uma média de 28% do custo total dos produtos manufaturados. Uma das razões para que essa parcela de custo seja tão significativa é o maquinário cada vez mais tecnológico, o qual utiliza meios de automação e mecatrônica para reduzir tempos de ciclo e procedimentos manuais. Por exemplo, geralmente, os sistemas operacionais modernos dependem de acionamentos via sensores e válvulas remotas que fornecem alertas em um determinado painel, bem como alarmes e indicadores de vibração e temperatura, que, conseqüentemente, aumentam os custos para a manutenção (BEVILACQUA; BRAGLIA, 2004).

Percebe-se que os custos com manutenção e o impacto no processo produtivo apresentam correlação com o tempo de inatividade dos equipamentos ou com o fato de eles operarem abaixo de sua capacidade nominal de projeto. Quanto maior a inatividade, maiores serão as perdas no OEE (*Overall Equipment Effectiveness*), podendo também termos impacto na qualidade no produto final, retrabalho e estoques intermediários (MOSTAFA *et al.*, 2015)

Uma das estratégias para a eliminação de desperdícios pode ser a aplicação de ferramentas do *lean thinking* nos processos de manutenção, promovendo-se, assim, a difusão de uma cultura de melhoria contínua no gerenciamento da manutenção. Essa estratégia é também conhecida como *lean maintenance* (LM) ou manutenção enxuta. Baluch, Abdullah e Mohtar (2012) enfatizam que a manutenção enxuta é um pré-requisito para o sucesso de um fabricante que busca se tornar *lean*, pois permite uma abordagem integrada no controle e no

gerenciamento da manutenção. Em linhas gerais, o primeiro passo nessa integração de conceitos, *lean thinking* e *lean maintenance*, ocorre com a definição do que é valor para o cliente e o que tal valor representa na organização (MOSTAFA *et al.*, 2015)

No contexto da manutenção, a entrega de determinados serviços pode ser considerado um produto final, sob uma dada visão, é um produto entregue a um cliente. Portanto, é essencial identificar o valor na perspectiva do cliente e o que pode ser melhorado para aumentar tanto a disponibilidade quanto a confiabilidade das máquinas. Dessa forma, o *value stream mapping* (VSM) aparece como uma ferramenta que auxilia a manutenção e a avaliação de todas as atividades, com vistas à entrega do serviço de aperfeiçoamento pelo qual o cliente interno está disposto a pagar. Após o levantamento do estado atual por meio de um mapa, o fluxo pode ser otimizado, ter os seus desperdícios reduzidos e promover ações para aumento do valor agregado do processo (MOSTAFA *et al.*, 2015).

Segundo Davies e Greenough (2010) as pesquisas que apresentam aplicações dos princípios *lean* na manutenção ainda são poucas, de maneira que mais pesquisas sobre o tema são necessárias e importantes para estimular o uso dessas metodologias nas rotinas de gerenciamento da manutenção. Com base nessa proposta, o exemplo de Ghayebloo e Shahanaghi (2010) torna-se interessante por mostrar como pode ser formulada uma metodologia de tomada de decisão. Na pesquisa desses autores, é possível visualizar os requisitos mínimos necessários a um determinado fluxo de manutenção para satisfazer o nível de confiabilidade esperada. Soltan e Mostafa (2014) também apresentam uma linha de trabalho que visa a estruturar as medições da manutenção por intermédio de metodologias enxutas e ágeis, voltadas à remoção de desperdícios e diminuição do tempo de resposta.

O estudo de McCarthy e Rich (2004) discute a aplicação da manutenção produtiva total, igualmente conhecida como *total productive maintenance* (TPM), que conceitualiza a aplicação de técnicas específicas de *lean* na manutenção. Nesse caso, o fluxo de aperfeiçoamento está focado em manter o equipamento em seu melhor estado de funcionamento e em constante aumento de produtividade. Contudo, para que a metodologia do TPM possa ser aplicada, faz-se necessário que a empresa ou o setor apresente uma estrutura integrada de pensamento enxuto já instalada e com elevado nível de maturidade. Os métodos para a identificação de desperdícios no processo devem estar rodando, assim como o *value stream mapping* (VSM) nas atividades de manutenção deve ser uma rotina frequente, de forma que a cultura *lean* possa ser mantida na organização (MOSTAFA *et al.*, 2015).

2.3 VALOR AGREGADO

Nesta seção, é apresentada a fundamentação teórica que suportou os conceitos sobre o tema *valor agregado*. Acerca disso, os principais autores mobilizados foram: Lacerda, Xambre e Alvelos (2015), Shou *et al.* (2020), Mostafa *et al.* (2015), Womack e Jones (1996) e Rother e Shook (2003).

De acordo com Lacerda, Xambre e Alvelos (2015), o conceito de *valor* desempenha papel fundamental no âmbito da filosofia *lean*, pois é a primeira etapa do processo de difusão dessa cultura:

A especificação de valor é considerada o primeiro dos cinco princípios da filosofia *lean*. O segundo é a identificação do fluxo de valor, que consiste em todas as ações necessárias para desenvolver e fabricar um produto ou entregar um serviço. O terceiro princípio da filosofia é construir um mapa para visualizar como é o fluxo, onde o valor agregado daquele determinado produto/serviço é verificado nas respectivas etapas do processo. O próximo princípio é puxar este fluxo por meio da demanda do cliente, ao invés de empurrar o processo produtivo para estocagem e posterior venda. Finalmente, o quinto princípio é busca por perfeição, que nos mostra que não há fim na busca por redução de desperdícios, a mentalidade de promover a melhoria é contínua. (LACERDA; XAMBRE; ALVELOS, 2015, p. 2).

O pensamento *lean* originou-se na indústria automobilística e foi desenvolvido a partir da filosofia *lean* de Taiichi Ohno para reduzir custos por meio da redução perdas no processo (HOLWEG, 2007). Vale salientar que as definições de *valor* e *desperdício* se desenvolveram ao longo do tempo; como afirma Ohno (2019), a definição inicial de valor depende das entradas (*inputs*) e das saídas (*outputs*) do sistema. Ou seja, caracteriza-se como “desperdício” qualquer custo adicional que ocorre durante a transformação de um determinado produto/serviço e que impacta o cliente final. Outro estudo, proposto por Shou *et al.* (2020), demonstra a eficiência e a melhoria do processo de produção, quantificando a relação entre a entrada com valor e o produto final. Essa possibilidade é interessante, visto que podem ser mensurados dados percentuais referentes à entrega final de um *input* de qualidade. Além disso, estabelece-se que, na cultura de valor agregado, todas as atividades que apresentam custo ao cliente final, mas que ele não está disposto a pagar, são conhecidas como desperdícios.

Após a publicação de Womack e Jones (1996), a definição de *valor* mudou, sendo este entendido, hoje, como um conjunto que importa ao cliente e não mais apenas como um processo de reduzir custos. Existem diversas formas de aumentar o valor agregado de produtos/serviços, uma das quais é a eliminação de atividades desnecessárias. A esse respeito, Womack e Jones (1996) focam no desenvolvimento de uma metodologia de eliminação de desperdícios e de

aumento de valor agregado a processos produtivos, classificando e quantificando as atividades sob a perspectiva dos clientes. Além disso, os autores definem valor e perdas da seguinte maneira:

- Valor: trata-se da capacidade de entregar exatamente o que o cliente precisa em forma de produto ou serviço, com tempo mínimo e com preço que ele está disposto a pagar. O cliente passa a ter desejo e torna-se satisfeito com o produto final.
- Perdas: trata-se de qualquer atividade que absorve recurso, mas não cria valor ao consumidor.

Os desperdícios são comumente chamados de *muda* (termo japonês para se referir a perda ou ao esforço desnecessário) e podem ser apresentados em sete categorias, conforme o Quadro 1, a seguir.

Quadro 1 – Definição dos 7 tipos de desperdícios.

Tipo de Desperdício	Womack; Jones (1996)	Ohno (1988)
Superprodução	Nível de produção antecipado e acima do que os clientes finais podem absorver/necessitar. Custo com armazenamento aumenta.	Produzir muito Manufaturar sem necessidade
Defeitos	Retrabalho e rearranjo, com perda de tempo e energia.	Retrabalho, produtos com defeitos e baixa qualidade.
Inventário	Armazenamento que não será utilizado em um curto período de tempo, além de aumentar o custo com inventario e o risco de tornar-se obsoleto.	WIP (<i>work-in-process</i>) e produtos acabados armazenados.
Superprocessamento	Processos com custo de dinheiro e energia que não agregam ao cliente. Esses processos incluem: retrabalho, reprocessamento, superprodução e excesso de inventário.	Atividades extras sem necessidade no processo produtivo.
Transporte	Materiais, <i>work-in-process</i> ou produtos prontos movimentados sem agregar valor e aumentando o <i>lead-time</i> .	Materiais, WIP e produtos acabados movimentados sem valor agregado.

Espera	Pessoas aguardando (ociosas) aguardando a próxima etapa do processo	<i>Delay</i> em ações necessárias para concluir o processo de transformação.
Movimentação	Qualquer atividade de movimentação que os trabalhadores precisam fazer ao longo de sua jornada sem agregar valor ao consumidor.	Qualquer ação que não agrega valor ao produto/serviço final.

Fonte: Adaptado e traduzido de Thurer, Tomasevic e Stevenson (2016).

Com base nesses aspectos, o valor esperado pelo cliente, interno ou externo, torna-se o princípio-chave do pensamento enxuto. A busca pela definição de valor agregado para o consumidor, em termos de produto/serviço específico, é considerada o início da aplicação do *lean thinking* (WOMACK; JONES 1996). Em tal definição de valor, o *value stream mapping* (VSM) é uma metodologia que contém um conjunto de etapas específicas utilizadas para mapear o valor agregado e quais são os causadores dos desperdícios nas organizações.

Segundo Womack e Jones (1996), incorporadas a esse conjunto de etapas, há três classificações de valor para atividades em geral:

- VA (*value adding*) – valor agregado: qualquer atividade que contribua com a forma, o ajuste ou a função para o fluxo do produto/serviço final solicitado pelo cliente;
- NNVA (*necessary but non-value adding*) – necessárias, mas sem valor agregado: qualquer atividade que não cria valor, mas é uma forma de agilizar o processo de produção com vistas ao aumento do valor do produto/processo final;
- NVA (*non-value adding*) – sem valor agregado: qualquer atividade pela qual o cliente não está disposto a pagar.

A partir da definição de valor agregado, pode-se entender o *value stream mapping* (VSM) como uma técnica essencial no âmbito do *framework* de implementação *lean*, técnica proposta por Rother e Shook (2003) a fim de compreenderem as atividades de VA e NVA dos processos. Alinhadas às ideias de Womack e Jones (1996), as definições de VA e NVA foram organizadas na perspectiva dos clientes, em que se considera o VSM uma etapa inicial na caminhada *lean* rumo à descoberta de desperdícios, ineficiências e etapas sem valor agregado. Shou *et al.* (2020) listam alguns exemplos de VA e NVA na indústria automotiva: VA –

usinagem, pintura, montagens, instalações de dispositivos e NVA – demolição, classificação, armazenamento, contagem, movimentação e documentação.

A definição do valor para o cliente permite uma perspectiva útil ao ajuste da compreensão de todo o processo de desenvolvimento do produto. Portanto, o valor centrado no cliente, a definição de valor e a identificação de desperdício, associados a VA, NNVA e NVA, tornam-se fundamentais na contemplação das premissas de manufatura em sistemas atuais de produção e manutenção (SHOU *et al.*, 2020). Ainda segundo Shou *et al.* (2020), o valor agregado se concentra na confiabilidade de máquinas, segurança, produtividade e qualidade. O serviço de manutenção é considerado um ativo de dois níveis: executar atividades específicas de manutenção e gerenciar a operação da manutenção. No que se refere aos serviços de manutenção, geralmente, os desperdícios consistem em procedimentos desatualizados, grandes estoques, subutilização, inventário de equipamentos, materiais, trabalho com baixa produtividade, tempo e transporte (SHOU *et al.*, 2020).

De acordo com Davies e Greenough (2010), são as seguintes as perdas em fabricações mecânicas:

- (a) Trabalho improdutivo: atividade que não precisa ser feita.
- (b) Atrasos em movimento: tempos de espera de peças, máquinas, pessoas etc.
- (c) Movimento desnecessário: transporte desnecessário de ferramentas ou procura de itens, movendo equipes de trabalho sem bons motivos.
- (d) Má gestão de estoque: não há capacidade para entregar as peças certas na hora certa.
- (e) Retrabalho: repetição de tarefas ou inclusão de tarefas extras, como um resultado de mão de obra deficiente.
- (f) Subutilização de pessoas: quando as competências das pessoas não são utilizadas de forma eficaz.
- (g) Gerenciamento de dados ineficazes: coleta de dados que não tenham valor ou agregam muito pouco à tomada de decisão.
- (h) Uso indevido de máquinas: utilização e manutenção de máquinas de forma desnecessária.

Alguns pesquisadores perceberam que é possível definir, para esse contexto de trabalho, uma estrutura padrão *framework*, por meio dos conceitos de *valor agregado* (VA) e *não agregado* (NVA) (WOMACK; JONES, 1996; ROTHER; SHOOK, 2003).

Nessa direção, Shou *et al.* (2020) apresentam uma proposta de classificação de atividades de fabricação e montagem, em paradas de manutenção, classificação pautada em quatro tipos:

- Tempo de ferramenta (valor agregado – VA).
- Atividades de suporte essenciais (NNVA).
- Atividades não essenciais (valor não agregado – NVA).
- Atividade de execução sem tempo de manutenção (NNVA).

O tempo de ferramenta é a operação física, ou seja, o que agrega valor ao cliente e aquilo pelo que ele está disposto a pagar. Já atividades de apoio essenciais são as que permitem que as operações de VA sejam realizadas de forma segura. Em contrapartida, atividades não essenciais são consideradas desperdícios que não agregam valor à operação de manutenção, como tempo de espera e retrabalho. Por fim, atividades de execução sem manutenção são as atividades que não estão incluídas no trabalho da lista de atividades (*task-list* padrão) e que não agregam valor, mas que são necessárias.

2.4 VALUE STREAM MAPPING (VSM)

Nesta seção, são abordadas as fundamentações teóricas sobre o tema *value stream mapping* (VSM), abordagem baseada nos seguintes autores: Lacerda, Xambre e Alvelos (2015) e Shou *et al.*, (2017).

O VSM é uma ferramenta poderosa que permite a visualização e a compreensão do fluxo de material, além de apresentar informações sobre a cadeia de valor do processo/produto analisado. É utilizado para fornecer uma visão global das atividades envolvidas no processo produtivo e, portanto, possibilita a identificação das fontes de desperdícios. Menores custos de produção, diminuição do tempo de resposta ao cliente e mais qualidade do produto final são, pois, alguns resultados que podem ser esperados ao aplicar-se o VSM a um processo (ROTHER; SHOOK, 2003).

De acordo com Shou *et al.* (2017), o conceito de VSM foi introduzido pela primeira vez na filosofia enxuta em 1995, quando *value stream mapping* foi definido como um grupo de técnicas para identificar desperdícios em um fluxo de valor individual e aplicar uma rota de contingência apropriada à remoção de resíduos (HINES; RICH, 1997). Hines e Rich (1997)

apresentam sete técnicas para montar um mapa de fluxo de valor, sendo elas resumidas da seguinte forma:

1. Mapeamento de atividades do processo.
2. Matriz de resposta da cadeia de suprimentos.
3. Funil de variedade de produção.
4. Mapeamento por filtro de qualidade.
5. Mapa de amplificação da demanda.
6. Pontos para tomada de decisão.
7. Mapa da estrutura física.

No entanto, essas técnicas pareceram superficiais em revelar e visualizar a ligação das informações e os fluxos físicos na perspectiva do fluxo de valor (SHOU *et al.*, 2017). Por isso, em 1999, uma versão diferente do VSM foi proposta por Rother e Shook (1999), com o intuito de estratificar-se os fluxos físicos, de materiais e de informações, permitindo-se, assim, definir o que é uma atividade agregadora de valor.

Dessa forma, Rother e Shook (1999) elaboraram um procedimento de quatro etapas para análise de valor e desperdícios em um determinado processo:

1. Selecionar uma família de produtos/serviços.
2. Desenhar o mapa do estado atual. Trata-se de uma lista de dados do processo que deve ser coletada para representar as atividades de VA, NNVA e NVA.
3. Desenhar o mapa do estado futuro. Trata-se de um procedimento sistemático de futuras diretrizes para melhoria do estado atual.
4. Alcançar o estado futuro. Trata-se de um plano de ação que considera as diretrizes da etapa 3, desenvolvidas para alcançar o estado futuro.

Conforme Rother e Shook (2003), definir os KPIs (*key performance indicators*) do VSM é um passo importante ao analisar-se o fluxo de valor e tomar-se decisões relativas a um sistema de produção. O uso dessas métricas no VSM é essencial para nortear o objetivo e a aplicação da metodologia. Estudos recentes sugerem o uso dos seguintes KPIs na análise do VSM (ROTHER; SHOOK, 2003):

- *Lead-time*: trata-se do tempo que um produto leva para fluir através do processo analisado, do início ao fim.
- Valor agregado: refere-se ao tempo das operações que, segundo o cliente, agregam valor ao produto e pelo qual ele está disposto a pagar.
- Tempo por atividade: define-se pelo período de tempo de cada uma das etapas do processo, sendo apresentado individualmente. Por meio desse KPI, identifica-se a atividade mais lenta do processo, também conhecida como *gargalo*.
- *Takt-time*: consiste na frequência com que um produto deve ser produzido para atender à demanda do cliente. No exemplo de um processo produtivo, essa métrica é usada para sincronizar-se a produção e o ritmo das vendas. A equação proposta pelos autores para definir o *takt-time* é a seguinte:

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

Além disso, uma das formas ilustrativas para entender-se o conceito subjacente ao VSM diz respeito aos fluxogramas construídos durante a aplicação da metodologia, em que, de acordo com Meyers e Stewart (2002), um fluxograma pode ser definido como uma ferramenta usada para estudar o movimento de pessoas e materiais em uma fábrica. Geralmente, o fluxograma é em forma de *layouts* de plantas e nos permite identificar as seguintes perdas:

- Transporte: pontos de interseção entre caminhos que causam congestionamento e atrasos.
- Defeitos e Movimentação (*backtracking*): material que se move para trás no processo produtivo devido especialmente aos retrabalhos.
- Movimentação (distância percorrida): longas distâncias que os materiais e as pessoas devem percorrer. Os deslocamentos devem ser os menores possíveis para economizar-se tempo, de maneira que as máquinas e os departamentos devem ser organizados de acordo com um layout enxuto e objetivo.
- Procedimentos: o *layout* deve adequar-se à sequência de operações; caso contrário; pode originar retrocesso e cruzamento de tráfego. Quando a sequência não pode ser alterada, a reorganização da localização do equipamento deve ser considerada.

Ainda segundo Meyers e Stewart (2002), o objetivo da utilização de fluxogramas (mapas) é encontrar soluções para tornar as estações de trabalho mais eficientes, encurtando as distâncias percorridas por pessoas e materiais.

Igualmente sobre o VSM, Sawhney *et al.* (2009) apresentam métricas para o VSM no âmbito da manutenção, apresentando conceitos de *lead time* no processo de manutenção, nomeado de tempo médio de ciclo de manutenção, em inglês, *Mean Maintenance Lead Time (MMLT)*. Ele pode ser definido como o tempo entre o reconhecimento da necessidade de manutenção em um determinado equipamento e o desempenho na capacidade nominal deste. O MMLT eleva as atividades de manutenção a um nível operacional e pode ser considerado como uma poderosa ferramenta para medir-se o valor agregado no próprio setor (SAWHNEY *et al.*, 2009). Para entender-se o conceito global de MMLT, é preciso definir outros três indicadores que fazem parte da composição desse KPI, quais sejam:

- MTTO (*Mean Time to Organize*): tempo médio para organizar – necessário para coordenar tarefas no início do ciclo de manutenção.
- MTTE (*Mean Time to Execute*): tempo médio de execução - necessário para reparo e manutenção do equipamento.
- MTTY (*Mean Time to Yield*): tempo médio para atingir a nominal do equipamento ou entrega total do processo de manutenção.

Dentre tais conceitos, conforme Sawhney *et al.* (2009), o único componente de tempo que agrega valor à manutenção é o MTTE, uma vez que este é o único componente que envolve o desempenho real da tarefa de reparo de manutenção. Os outros componentes de tempo (MTTO e MTTY) consistem em tempos sem valor agregado. Desta forma, é composta à equação de cálculo do tempo médio de ciclo de manutenção (MMLT):

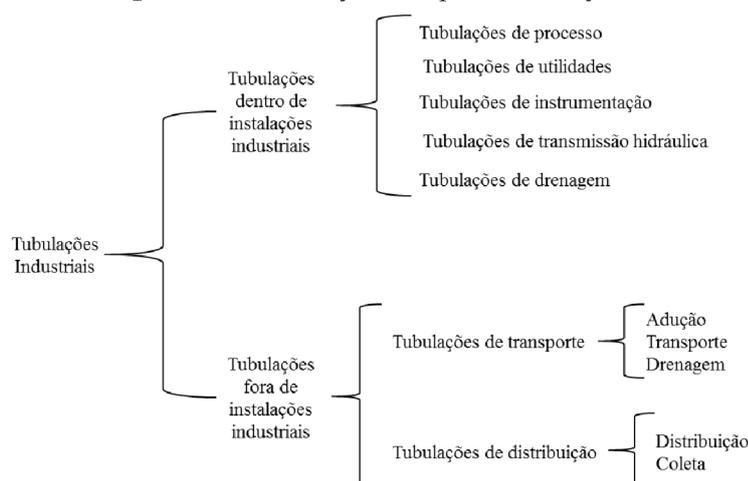
$$MMLT = MTTO + MTTE + MTTY \quad (2)$$

2.5 FABRICAÇÃO DE TUBULAÇÕES

Esta seção aborda os principais conceitos sobre o processo de fabricação de tubulações. Sabe-se que a gama de conceitos envolvidos nos processos de fabricação mecânica é muito ampla; entretanto, este trabalho focalizará a conformação mecânica e a soldagem para obtenção de tubulações aplicadas à indústria de fertilizantes. Dessa forma, foram escolhidos os seguintes autores para subsidiar o referencial da presente seção: Silva Telles (2001), Winston Revie (2015), ASME B 31.3 (2021).

De acordo com Silva Telles (2001), existe uma grande variedade na utilização de tubulações na indústria. Embora a classificação de todas essas aplicações não seja uma tarefa simples, o autor propôs a caracterização apresentada na Figura 2, a seguir:

Figura 2 – Classificação dos tipos de tubulações industriais.



Fonte: Silva Telles (2001).

Para o estudo de caso em questão, referimo-nos às tubulações de processo, as quais fazem parte dessa classe por transportarem e armazenarem fluidos líquidos ou gasosos (SILVA TELLES, 2001). Alguns exemplos propostos pelo autor são: tubulações de óleo em petroquímicas, tubulações de vapor em termelétricas, tubulações de ar quente em indústria de fertilizantes. Ainda na esteira de Silva Telles (2001), neste trabalho, serão avaliadas tubulações internas, por estarem contidas nas unidades de produção. Essa definição de condição de contorno é importante para o correto dimensionamento dos arranjos físicos, dos sistemas de suporte, do controle de inspeções, da qualidade etc. (SILVA TELLES, 2001). A classificação das tubulações quanto ao fluido empregado também deve ser conhecida, uma vez que pode haver mais de 34 diferentes aplicações para tubulações no ambiente industrial.

No que se refere aos processos industriais de fabricação de tubos, pode-se citar quatro grupos:

- (a) extrusão
- (b) tubos sem costura por laminação
- (c) fundição
- (d) tubos com costura por fabricação com solda

A fabricação com solda é o objeto de estudo deste trabalho, sendo apresentada em dois tipos: solda longitudinal e solda helicoidal. Para tubulações de diâmetro acima de 1 m ou 1000 mm, geralmente, são utilizadas prensas ou calandras com chapas avulsas no sentido transversal, visto que a largura comercial máxima é de 2440 mm. O processo de conformação é feito em duas partes: a primeira transforma a chapa em “U” e depois em “O”; em seguida, o processo de soldagem é realizado a fim de finalizar-se o processo de fabricação. Na etapa de união por meio da soldagem, com base nas normativas vigentes, a solda deve ser de topo, com no mínimo dois passes, feita interna e externamente (SILVA TELLES, 2001; ASME B 31.3, 2021).

A maioria dos gases, do petróleo bruto e dos produtos petrolíferos são transportados via tubulações. Em comparação com os transportes rodoviário e ferroviário, as tubulações ou dutos são o meio mais seguro para o transporte de combustíveis fósseis, especialmente em longas distâncias. A fim de garantir-se uma eficaz margem de segurança, o foco principal para o desenvolvimento e a produção dessas fabricações mecânicas reside nas propriedades dos materiais de aplicação. Ou seja, a matéria-prima da fabricação deve apresentar alta qualidade, particularmente no que diz respeito a geometria, resistência, ductilidade, tenacidade e resistência à corrosão (WINSTON REVIE, 2015).

De acordo com algumas tendências da fabricação de tubulações apresentadas por Winston Revie (2015), existe um grande interesse mundial em transportar fluidos líquidos e gasosos de áreas remotas e ambientes hostis até os grandes centros de manufatura. Nesse contexto, surgem desafios para a engenharia de construção que precisam ser superados, como as baixas temperaturas de operação em áreas árticas (abaixo de 40°C, por exemplo) e como a capacidade de resistência às elevadas vibrações causadas por atividade sísmica em regiões nas quais tal fenômeno natural é frequente. Além disso, as operações industriais demandam um crescente aumento dos níveis de pressão e velocidade interna no transporte desses fluidos, seja por questões do processo produtivo, seja por fatores econômicos (WINSTON REVIE, 2015).

Com relação à evolução no desenvolvimento de materiais para fabricação de tubulações, Winston Revie (2015) pontua que o foco no aumento da resistência mecânica do aço foi alcançado através da otimização do projeto das ligas metálicas e do processo de tratamento termomecânico controlado – TMCP (*Thermomechanically Controlled Processing*). A aplicação desses métodos proporcionou a melhoria da produção de chapas grossas e finas, utilizadas como base na fabricação das tubulações (WINSTON REVIE, 2015).

Segundo Hillenbrand *et al.* (2005), a melhoria dos processos de fabricação para as tubulações tem como principal objetivo mudar as limitações de projeto atuais. Tais pesquisas ocorrem na área da fabricação mecânica, como em processos de conformação e soldagem, e na área do *lean manufacturing*, com propostas de aumento de produtividade e qualidade final, utilizando-se os mesmos recursos disponíveis atualmente. Conforme Hillenbrand *et al.* (2005), as propostas de melhoria das propriedades mecânicas dos materiais, juntamente com a redução dos custos de fabricação, têm grande visibilidade no mercado atual. As empresas e as universidades buscam, através de suas pesquisas, diminuir os custos de fabricação, reduzindo a quantidade de aço necessária, as distâncias entre ponto de fabricação e aplicação e o custo de montagem dessas tubulações (HILLENBRAND *et al.*, 2005).

2.6 PARADAS DE MANUTENÇÃO

A discussão do tema *paradas de manutenção* foi, nesta pesquisa, subsidiada pelos seguintes referenciais teóricos: Wenchi *et al.* (2015) e Cui, Hayakawa e Obiajunwa (2013) e Shou *et al.* (2020).

De acordo com Wenchi *et al.* (2015), paradas de manutenção, também conhecidas como *turnaround maintenance* (TAM), concentram significativos esforços e grande parcela dos recursos do setor de manutenção, com o objetivo de entregarem a confiabilidade operacional que as unidades produtivas necessitam para seguirem os planos de disponibilidade definidos anualmente. Serviços de inspeções, limpezas programadas, ajustes, reparos, instalação de novas fabricações, melhorias e substituições de componentes são as principais atividades realizadas nessas paradas programadas. Nesse sentido, o principal objetivo da parada anual é melhorar e/ou manter o desempenho dos equipamentos com vistas ao alcance das metas de produção. Na indústria de óleo e gás, por exemplo, a parada anual desempenha um papel importante na sustentação de longo prazo e na produção contínua da planta.

As intervenções, em geral anuais, são necessárias para evitar-se quebras não programadas e manutenções corretivas, as quais impactam de forma significativa a lucratividade das unidades produtivas. Uma parada de manutenção bem executada tende a entregar maior previsibilidade aos equipamentos, confiabilidade e integridade técnica, o que resulta em uma carga de trabalho constante e permite um planejamento de manutenção de melhor qualidade. No entanto, esse tipo de projeto é geralmente muito caro, exigindo um grande número de pessoas, materiais e recursos de apoio em um curto período (WENCHI *et al.*, 2015).

Os estudos propostos por Cui, Hayakawa e Obiajunwa (2013) sobre paradas de manutenção tem concentrado suas análises na estrutura de gestão das paradas em suas diferentes fases, propondo algumas estratégias para garantir-se o sucesso do projeto. Nesses casos, o sucesso do *turnaround maintenance* (TAM) é avaliado a partir das percepções das partes interessadas (*stakeholders*) e dos benefícios resultantes para o negócio após o retorno da parada. No que concerne a técnicas de gerenciamento de projetos, há, ainda, oportunidades de boas práticas para melhorar-se a eficiência do TAM. A esse respeito, pode-se perceber que o gerenciamento tradicional de projetos é a estratégia mais usada para conduzir as paradas de manutenção na prática atual, em que o sucesso e a eficiência de um projeto são medidos por custo, tempo, segurança, qualidade (SHOU *et al.*, 2020). No entanto, esse formato de gerenciamento apresenta algumas oportunidades de melhoria, pois o elevado nível de desperdícios, custos extras e atrasos nas entregas pode ser presenciado no contexto atual de gerenciamento de projetos (WENCHI *et al.*, 2015)

Nesse cenário, ainda conforme Cui, Hayakawa e Obiajunwa (2013), pelo fato de as grandes paradas envolverem elevados investimentos, em um curto espaço de tempo, o contexto torna-se ideal para aplicação das ferramentas *lean*, como o VSM (WENCHI *et al.*, 2015). Para as empresas se manterem competitivas no mercado, é essencial que o gerenciamento das paradas de manutenção seja um processo bem organizado, com foco na redução de desperdícios e, conseqüentemente, na redução de custos também. Sendo assim, a mentalidade enxuta, em conjunto com as metodologias propostas por essa filosofia, tem recebido atenção na indústria de gerenciamento de projetos, com vistas ao aumento da eficiência em paradas de manutenção, desde o planejamento até a etapa de conclusão do projeto (CUI; HAYAKAWA; OBIAJUNWA, 2013).

Portanto, percebe-se que novos métodos para o gerenciamento de paradas são necessários. Nesse contexto, a aplicação do *value stream mapping* (VSM) pode ser uma das oportunidades que a filosofia *lean thinking* nos proporciona. Embora o VSM tenha uma difusão

maior em outros setores, Pavnaskar e Gershenson (2004) identificaram as diferenças e as semelhanças entre um processo produtivo e um processo de engenharia que permite a adaptação do VSM para uso nos processos de engenharia. No Quadro 2, a seguir, são comparados os objetivos do *value stream mapping* (VSM) e do *turnaround maintenance* (TAM), comparação que dá a ver conceitos com sinergia. Portanto, aplicar o VSM para melhorar a eficiência do TAM pode ser uma estratégia interessante para as indústrias que estão à procura de melhoria contínua em suas rotinas de manutenção (PAVNASKAR; GERSHENSON, 2004).

Quadro 2 – Comparação dos objetivos do VSM e do TAM.

Objetivos do VSM	Objetivos de TAM
Visualizar o fluxo de manutenção, materiais e informações	Aumentar a confiabilidade dos equipamentos
Otimizar o processo aplicando ferramentas <i>lean</i> para reduzir o <i>lead-time</i>	Melhorar a eficiência por meio de melhorias e modificações durante a parada
Atingir a meta de zero defeitos por identificação da causa raiz	Reduzir custos e rotinas de manutenção, bem como aumentar a qualidade de operação das máquinas
Introduzir as demandas do cliente nos processos	Introduzir novos equipamentos e técnicas visando ao aumento de tecnologia Manter os requisitos legais e de meio ambiente em dia

Fonte: Adaptado e traduzido de Pavnaskar e Gershenson (2004).

3 PROCEDIMENTOS METODOLÓGICOS

Neste capítulo, são apresentados os procedimentos metodológicos utilizados, dentre os quais a caracterização da pesquisa, a caracterização do objeto de estudo e a demonstração do fluxograma do método. Como estratégia de simplificação, a Figura 4 expõe um fluxograma-resumo do método, com o intuito de proporcionar ao leitor melhor compreensão deste.

3.1 CARACTERIZAÇÃO DA PESQUISA

Quanto à sua natureza, esta pesquisa deve ser classificada como aplicada. De acordo com Prodanov e de Freitas (2013), a pesquisa aplicada tem o intuito de propor soluções para problemas específicos – neste caso, a perda de recursos no processo de fabricação de tubulações. O presente trabalho apresenta a aplicação do VSM em processos rotineiros da manutenção industrial, como a fabricação e a montagem. Com relação aos objetivos, esta investigação é considerada exploratória, uma vez que tem a intenção de investigar a aplicação de um método em um ambiente específico. A respeito dos procedimentos técnicos, o estudo ora apresentado se caracteriza como uma pesquisa-ação, pois consiste na participação ativa e planejada do pesquisador na situação problema a ser investigada, gerando uma investigação social e de base empírica no qual os participantes atuam de forma coletiva para resolução do problema. Além disso, de acordo com a abordagem do problema, este trabalho é classificado como qualitativo, devido ao fato de ser focado em um aprofundamento de conceitos e aplicação de uma metodologia por um grupo social em uma determinada organização, além do pesquisador manter contato direto com o ambiente e com o objeto de estudo, no qual é possível gerar certas subjetividades (PRODANOV; DE FREITAS, 2013).

3.2 CARACTERIZAÇÃO DO OBJETO DE ESTUDO

Uma indústria de fertilizantes, localizada na cidade de Rio Grande, no estado do Rio Grande do Sul, Brasil, foi o objeto de estudo escolhido para a realização desta pesquisa. O estudo centrou-se, mais especificamente, no setor de manutenção da referida indústria, que conta com aproximadamente 325 colaboradores. As rotinas do setor dividem-se em alguns tipos de manutenção, como manutenção corretiva, manutenção preventiva e paradas de manutenção. A gestão da manutenção é centralizada sob uma gerência, dividida em quatro coordenações e

supervisionada por quinze profissionais de diferentes categorias. O setor de PCM (Planejamento e Controle da Manutenção) é responsável por organizar as rotinas de manutenção preventiva e paradas de manutenção.

A programação das paradas de manutenção, geralmente, é complexa e envolve diferentes áreas de intervenção, além de valores monetários do orçamento da manutenção que chegam a 40 milhões de reais por ano. Em virtude da multiplicidade de fatores relativos às atribuições do setor de manutenção, para este estudo de caso, foram consideradas atividades de fabricação e montagem de uma tubulação durante a parada anual de uma das unidades de granulação. O Quadro 3, a seguir, apresenta alguns dados referentes ao porte dessas paradas e às suas respectivas atividades. Além disso, a fim de situar-se o leitor, o quadro também registra o trabalho de mão de obra direta envolvida no evento.

Quadro 3 – Resumo de dados de paradas analisadas no estudo de caso.

Descrição do Evento	Quantidade de equipamentos	Principais atividades	Trabalho envolvido (h)
TA 2020 – Unidade de Granulação	350	Preventiva do sistema de lavagem de gases	42.350
		Preventiva do sistema de moagem e peneiramento	
		Preventiva do sistema de despoeiramento	
		Preventiva de transportadores de cavaco, produto intermediário e acabado	
TA 2021 – Unidade de Granulação	260	Preventiva do sistema de secagem, resfriamento e recobrimento de produto	35.560
		Revisão de tambores rotativos	
		Revisão de caldeiras, desaerador, tubulações de água industrial e vapor	
		ETEL	

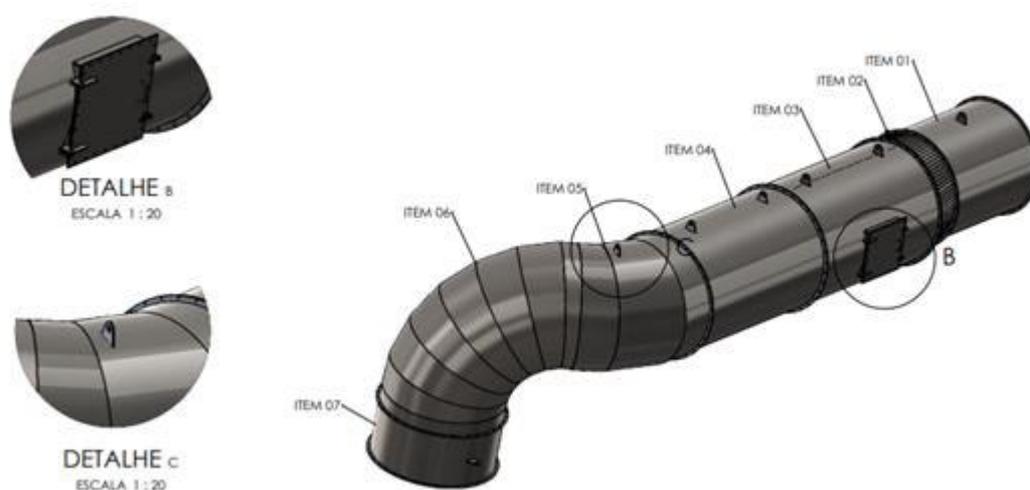
Fonte: O autor.

O processo de fabricação e montagem de uma tubulação industrial, em uma parada de manutenção, foi escolhido como processo de análise desta pesquisa, por contar com grande investimento financeiro (média de R\$ 90/kg de tubulações de AISI316L) e por contribuir diretamente com a disponibilidade da unidade de granulação. Além disso, considerou-se a busca por otimizações, o valor agregado e a redução de desperdícios, pois tais elementos têm correlação com o OEE (*Overall Efficiency Equipment*) das unidades produtivas e, conseqüentemente, com o aumento dos volumes de produção. O planejamento dessas atividades

também envolve elevado número de profissionais, além do uso de recursos para içamento, como guindastes e caminhão munck, assim como andaimes e plataformas elevatórias.

O processo de fabricação e montagem refere-se a uma tubulação do sistema de exaustão de gases de uma unidade de granulação de fertilizantes. O formato da tubulação é apresentado na Figura 3, a seguir. As referências dimensionais da tubulação construída foi de: diâmetro de 1800 mm, comprimento de 9.200 mm, material de fabricação - aço inoxidável 316L, espessura ¼” e peso total de 4.169 kg.

Figura 3 – Tubulação fabricada e montada no estudo de caso durante uma parada de manutenção.



Fonte: O autor.

Para esclarecer ao leitor o fluxo no qual o estudo foi desenvolvido, o processo de planejamento tem sua origem via setor de PCM, através de um laudo elaborado pela equipe de inspeção da empresa. A verificação da condição da tubulação ocorre por meio de ultrassom e inspeção visual, visando medir a espessura e identificar possíveis trincas e/ou desgastes por corrosão. Quando os parâmetros de desgaste (espessura e condição) atingem o limite mínimo (< 3 mm), uma nota de manutenção é gerada para dar início ao fluxo de planejamento. Na sequência, a nota é priorizada por uma matriz de *gatekeeping* e pela ordem de manutenção gerada. A partir disso, inicia-se o planejamento da atividade, trabalho que contém as seguintes etapas: elaboração de escopo, abertura de requisição de compras e validação técnica de fornecedores (caso já não exista um contrato de fabricação com empresas com aptidão técnica e comercial para atender). Após, o pedido de compras é enviado ao fornecedor e é iniciada a fabricação (no caso deste estudo, trata-se de uma fabricação contratada e não de fabricação

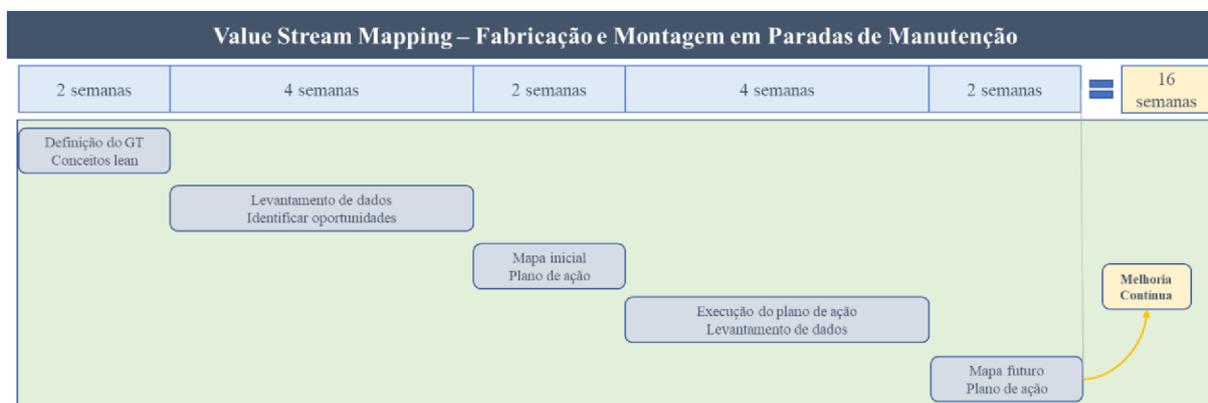
própria). Por fim, após o recebimento da fabricação, o setor de planejamento retoma suas atividades e elabora um cronograma de execução para a montagem.

No que se refere à aplicação da metodologia do VSM, à construção do mapa atual, ao plano de ação e à posterior projeção do estado futuro, foi composta uma equipe multidisciplinar com colaboradores da empresa, visando-se contribuir com a análise de valor agregado do processo. O grupo de trabalho foi composto por sete participantes, encarregados das seguintes funções:

- (a) supervisor de PCM e paradas
- (b) supervisor de manutenção preventiva
- (c) supervisor de operações
- (d) analista de manutenção
- (e) analista de processos
- (f) analista de produtividade
- (g) planejador de manutenção sênior

A aplicação do método foi realizada por meio de encontros quinzenais de uma hora e trinta minutos cada um, com duração total de implementação de projeto de 16 semanas, considerando-se o início do grupo de trabalho e o resultado do estado futuro. Nesse grupo de trabalho, foram discutidos desde os conceitos básicos da filosofia *lean* e mentalidade enxuta até a projeção do estado futuro. A Figura 4, a seguir, apresenta o cronograma das etapas vivenciadas pelo time que construiu o VSM no estudo de caso.

Figura 4 – Cronograma de implementação do VSM.

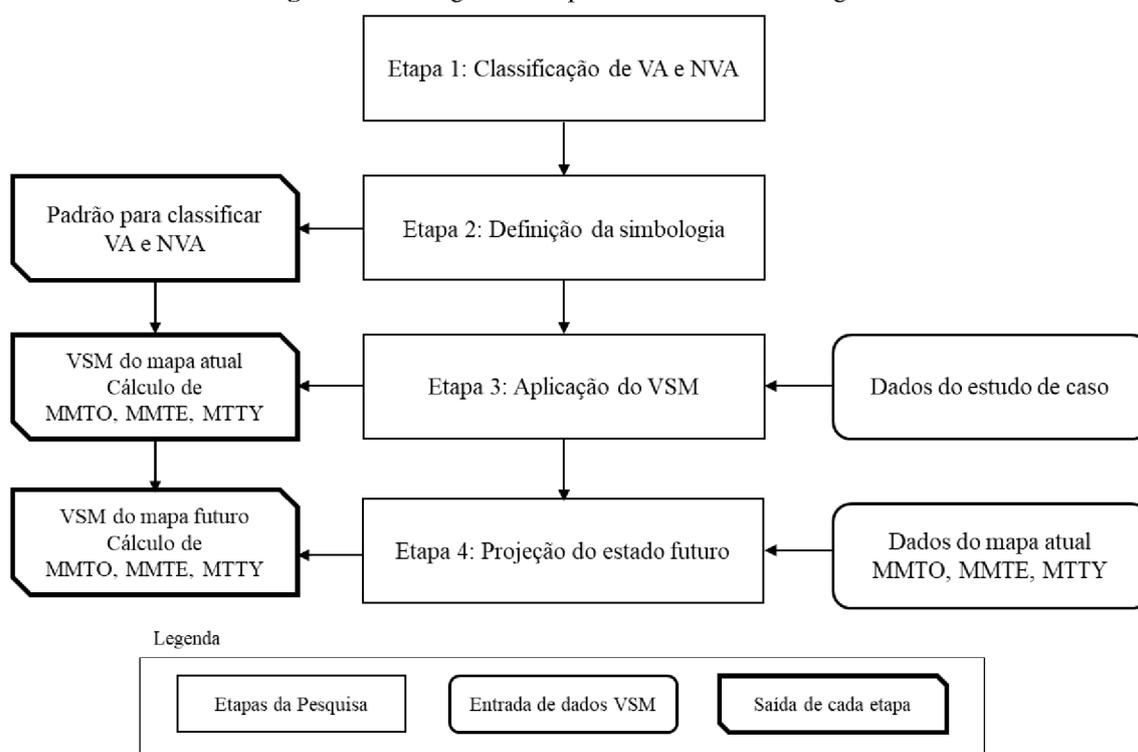


Fonte: O autor.

3.3 ETAPAS DA PESQUISA

Nesta seção, são detalhadas as etapas do modelo integrado, detalhamento embasado metodologicamente em três autores: Rother e Shook (1999), Sawhney *et al.* (2009) e Shou *et al.* (2020). Os estudos de tais pesquisadores são considerados referências validadas cientificamente por meio de indicadores quantitativos e qualitativos, em virtude das aplicabilidades e do aprofundamento do VSM em diferentes contextos. A partir disso, o fluxograma demonstrado na Figura 5, a seguir, representa as quatro principais etapas da pesquisa:

Figura 5 – Fluxograma dos procedimentos metodológicos.



Fonte: Adaptado de Shou *et al.* (2020).

É importante destacar que os desafios apresentados na revisão teórica evidenciam a necessidade de definir o que são “valor agregado” e “desperdícios” nos processos de fabricação e montagem do contexto do estudo de caso. Nesse sentido, adaptou-se o padrão de simbologia proposto por Shou *et al.* (2020), cujo estudo demonstra uma linha de trabalho do VSM no âmbito de processos de manutenção, direcionadas com paradas anuais – também conhecidas como *turnarounds*. Ainda nessa linha, entende-se que o método foi adaptado para esta pesquisa

de mestrado, com vistas à aplicação e à avaliação dos aspectos do método em uma empresa multinacional que tem desafios e investimentos relevantes nos processos de fabricação e montagem, especialmente no âmbito das manutenções realizadas anualmente.

3.3.1 Classificação de VA e NVA

Segundo Womack e Jones (1996), nas atividades de manutenção, o cliente final do processo (equipe de produção) define quais atividades apresentam o valor agregado (caso seja um produto, seria o valor que o cliente está disposto a pagar). No contexto de paradas de manutenção, de acordo com Tommelein, Riley e Howell (1999), o fluxo de valor está contido em atividades que são executadas com recursos, ferramentas, materiais e informações estruturadas através de um planejamento prévio. Assim, no estudo de caso, o valor agregado (VA) estará vinculado diretamente às atividades que, de fato, representam a manutenção, com impacto na disponibilidade da unidade fabril. Atividades necessárias, mas sem valor agregado (NNVA) são aquelas também chamadas de incidentais, como esclarecido anteriormente, e são um meio para a atividade principal, por exemplo: montagem de andaimes para acesso à uma tubulação. Já as atividades que não agregam valor (NVA) são aquelas relacionadas às perdas operacionais, ou seja, o que gera impacto na capacidade nominal de produção configura uma perda/desperdício.

De posse dessas informações, foi adaptado o quadro proposto por Shou *et al.* (2020), no qual são abordadas todas as possíveis atividades de um fluxo de valor em um contexto de manutenção. Foram definidas as categorias de cada uma das atividades, segregando-se estas em atividades de manutenção e atividades administrativas. Essa proposta de classificação proporciona a continuidade da análise do fluxo de valor e a aplicação do VSM, além de apresentar a classificação de cada atividade do processo analisado referente aos indicadores de MMLT, MTTO, MTTE e MTTY.

3.3.2 Simbologia para aplicação do VSM

Esta etapa da metodologia consiste em retomar os conceitos estudados na seção 2.3, com um viés de aplicação ao estudo de caso. Aqui, explica-se o que é considerado valor agregado ou não na área de estudo. Para esta pesquisa verificou-se que atividades de “mão na ferramenta” (fabricar e montar) são as que, de fato, proporcionam o valor agregado do processo

de manutenção. As demais atividades do fluxo de manutenção enquadram-se como atividades incidentais e/ou desperdícios, com baixo impacto para o ciclo completo de manutenção.

Sendo assim, adaptou-se de Shou *et al.* (2019) a simbologia que apresenta visualmente cada uma das etapas do processo analisado, no qual posteriormente é utilizada para a construção do mapa do VSM. Como o mapa é uma ilustração do fluxo analisado, foi definido alguns símbolos específicos para este processo de manutenção, de modo que a simbologia deve ser adaptada ao contexto da pesquisa, respeitando-se as premissas da construção de um VSM delimitadas na seção 2.4.

Desta forma, o objetivo é construir um quadro de simbologia que apresente os ícones para aplicação do passo a passo e que permita a elaboração do mapa. Tal quadro mesmo deve ser elaborada com seis colunas, atinentes às seguintes informações: categoria (processo, fluxo de materiais ou informação), subcategoria (à qual etapa o símbolo se refere), símbolo (representação gráfica/ilustrativa da etapa), nome do símbolo, definição (breve descrição da etapa), MMLT (enquadramento do símbolo no ciclo de manutenção e sua classificação em MTTO, MTTE e MTTY). A simbologia utilizada para a construção desse VSM é uma adaptação dos trabalhos apresentados por Sawhney *et al.* (2009) e Shou *et al.* (2020), os quais são direcionados aos processos de manutenção – no caso desta dissertação, um processo de fabricação e montagem de tubulação em uma parada de manutenção.

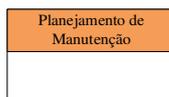
3.3.3 Aplicação do VSM

Com base na classificação das atividades e na simbologia para a construção do mapa, partiu-se para a aplicação das etapas do VSM. A proposta foi baseada no estudo de Sawhney *et al.* (2009) e consiste basicamente na organização cronológica dos símbolos, cada um dos quais representa uma etapa do processo, em um sequenciamento lógico que representa o fluxo de manutenção analisado. Algumas propostas de simbologia padrão para o VSM são compartilhadas em livros e artigos, assim como *softwares* para desenho de fluxogramas, como o Microsoft Visio, por exemplo. Entretanto, nesta pesquisa, a simbologia foi adaptada para um fluxo de valor de manutenção, conforme comentado na etapa anterior. Considerando-se as pesquisas de Rother e Shook (1999) e Sawhney *et al.* (2009), a aplicação do VSM foi definida em seis etapas, quais sejam:

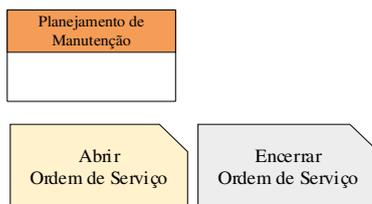
- **Etapa 1:** Iniciar a construção do mapa com o símbolo que representa o início do processo analisado. É basicamente um símbolo que define o marco inicial do processo. Para a realização desse estudo de caso, o símbolo escolhido foi o processo de planejamento de manutenção. Esse é o fluxo responsável pela tratativa desse tipo de atividade no setor de manutenção;
- **Etapa 2:** Apresentar de forma sequencial as etapas necessárias para atender à demanda final (*output* final do processo), correspondente a uma tubulação nova montada na unidade de granulação. Neste trabalho, o cliente final é o time de produção, o qual espera receber um equipamento mantido e que atinja a sua capacidade nominal de operação. A manutenção atua no planejamento da fabricação e montagem de uma nova tubulação que será instalada em uma parada anual de manutenção. A representação sequencial em forma de mapa desse fluxo é o que foi apresentado na construção do mapa.
- **Etapa 3:** Inserir todos os processos intermediários com a necessidade de substituir uma tubulação até o comissionamento da nova tubulação instalada. Essa etapa 3 foi utilizada para detalhar algumas etapas importantes do mapa, como a fabricação e a montagem, que apresentam maior contribuição ao valor agregado do fluxo.
- **Etapa 4:** Calcular o tempo para cada uma das etapas do processo de manutenção. Sobre essa medição, deve ser cronometrado o atraso (*delay*) que pode ocorrer na troca de uma etapa para outra. Por exemplo, tempo de processamento de dados, falta de mão de obra, ferramentas, tempo de espera para chegada de materiais, dentre outros obstáculos.
- **Etapa 5:** Integrar os processos por meio de linhas indicativas de fluxo físico e de fluxo da informação. Nessa etapa, foi construída a linha cronológica do processo, sendo interligadas as etapas do fluxo por meio de flechas indicativas, conforme o quadro da simbologia definida na etapa anterior.
- **Etapa 6:** Calcular os valores de MTTO, MTTE, MTTY, MTTL. Nessa etapa, foram calculados os valores de cada um dos indicadores, conforme a equação 2. Os indicadores MTTO, MTTE e MTTY foram mensurados pela soma de seus valores encontrados em cada uma das etapas; por exemplo: abertura de ordem – MTTO = 15 min e abertura de requisição de compras – MTTO = 45 min, MTTO final é de 60 min. Essa mesma métrica funciona para os casos de MTTE e MTTY também.

A partir destas etapas, foi possível desenvolver o mapa via VSM, com o sequenciamento das seis etapas para o caso de fabricação e montagem. Os seis passos a seguir ilustram a sequência cronológica que deve ser adotada de acordo com o método do VSM:

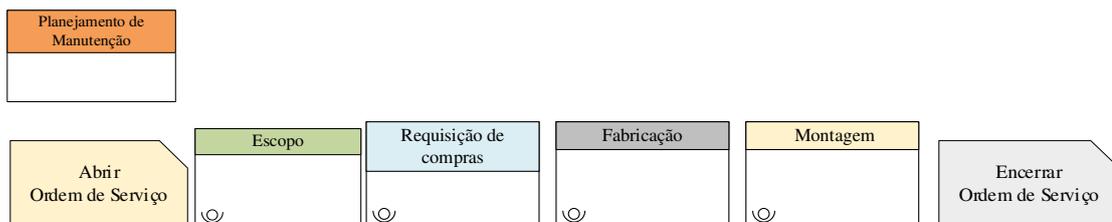
- **Passo 1:** Desenhar a etapa do processo em que é criado o primeiro processo analisado – neste caso, o fluxo inicia pelo planejamento de manutenção. Sendo assim, deve-se posicionar o símbolo no canto superior esquerdo da página de desenho.



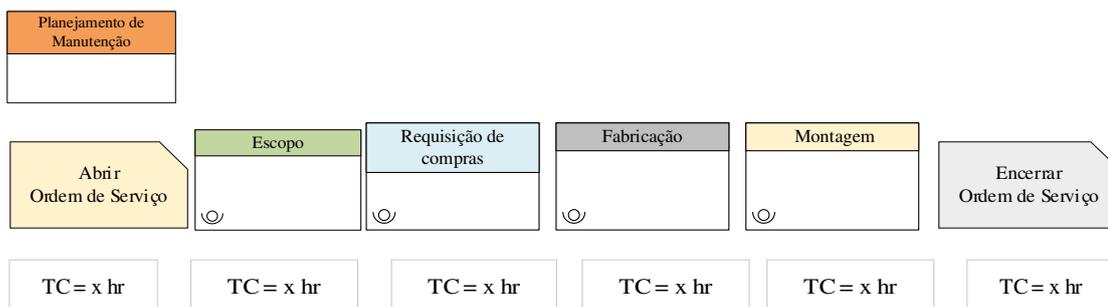
- **Passo 2:** Apresentar as etapas que definem o começo e o término do ciclo de manutenção. Esse passo refere-se às extremidades do mapa, inicia pela abertura de uma ordem de manutenção e conclui com o encerramento da mesma.



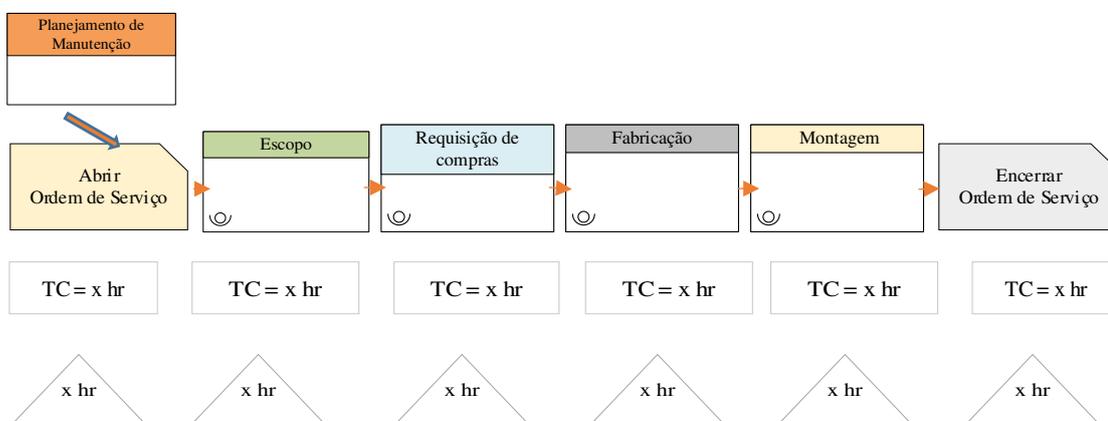
- **Passo 3:** Incluir entre as extremidades do mapa, as etapas/atividades intermediárias. Todas as atividades que têm impacto no MMLT devem ser incluídas de forma sequencial.



- **Passo 4:** Incluir abaixo dos símbolos de processo a caixa de dados (*data box*) com as informações cronometradas para cada etapa. Essa etapa contém duas fases: na primeira, são incluídos os tempos de ciclos e, na segunda, são apresentados os tempos de atraso (*delay*) cronometrados. Pode ocorrer mais de um tempo de atraso em uma determinada atividade, como, por exemplo, o aguardo de material por x horas e o aguardo de veículo para içamento de peças por mais x horas. Os tempos devem ser representados no interior do triângulo, ao lado de cada processo.



- Passo 5:** Conectar todos os processos por meio das linhas de fluxo e informação. A imagem a seguir é ilustrativa, varia de acordo com a complexidade e a correlação das etapas do ciclo analisado e proporciona ao leitor uma visão do modo como deve ser elaborada uma interligação de processos em um VSM.



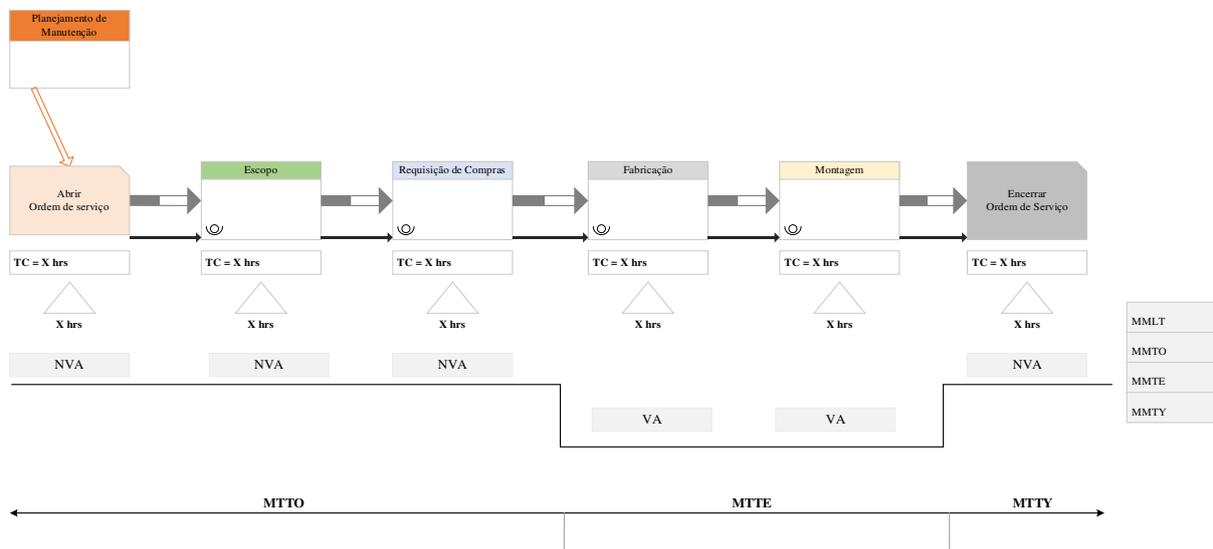
- Passo 6:** Construir uma linha do tempo embaixo dos processos analisados, sinalizado a classificação em VA, NNVA e NVA de cada atividade/processo. Dessa forma, é possível calcular dos valores de MTTO, MTTE, MTTY, MMLT. Os somatórios devem ser dispostos abaixo de cada processo e, ao fim do mapa, uma tabela-resumo deve ser apresentada com o somatório de cada um dos indicadores. A sequência utilizada para a linha do tempo foi a seguinte:

- Linha do tempo embaixo de cada etapa;
- Valores de NNVA e NVA ficam acima da linha do tempo;
- Valores de VA devem estar rebaixados na *timeline* para destaque;
- Calcular o tempo de cada processo MTTO, MTTE e MTTY, conforme classificação da simbologia e Tabela 1;
- Calcular o MMLT, utilizando equação 2, percentual de valor agregado e percentual sem valor agregado do processo.

$$MMLT = MTTO + MTTE + MTTY \quad (2)$$

(f) Elaborar tabela-resumo conforme Tabela 2.

Figura 6 – Exemplo de VSM obtido após aplicação da metodologia.



Fonte: O autor.

Tabela 1 – Resumo de etapas do VSM.

Etapas	Classificação	Tempo (h) (Duração + Delay)
Abertura da ordem de serviço	MTTO	X
Escopo	MTTO	X
Requisição de compras	MTTO	X
Fabricação	MTTE	X
Montagem	MTTE	X
Encerramento da ordem de serviço	MTTO	X

Fonte: Adaptado de Shou *et al.* (2009).

Tabela 2 – Modelo de tabela para resultados do VSM após a conclusão das seis etapas.

Métricas	Tempo (h)
MMLT	X
MTTO	X
MTTE	X
MTTY	X
Tempo que não agrega valor	X
Tempo que agrega valor	X
Eficiência do processo analisado	X%

Fonte: Adaptado de Shou *et al.* (2019).

3.3.4 Projeção do estado futuro

Segundo as informações do mapa do estado atual construído e de suas respectivas medições, é possível enxergar as oportunidades de melhoria do fluxo. Sendo assim, nessa etapa, foi definido um plano de ação junto ao time participante do VSM, com foco no aumento do valor agregado do processo, visto que são conhecidas as suas principais perdas. A etapa de projeção do estado futuro permite o uso de diversas estratégias e metodologias para a evolução da atividade analisada, as quais variam de acordo com a complexidade e a energia envolvida para mudanças nos processos.

Já que são conhecidos os processos de um fluxo de manutenção ineficiente, a definição dos próximos passos varia de acordo com a urgência em aumento de valor e possibilidade de investimento de cada empresa, visto que o plano de ação necessita de continuidade e envolvimento do grupo de trabalho do VSM, alteração de processos internos, aumento e/ou redução de equipes e revisão de procedimentos internos. No presente trabalho, focalizou-se a redução de perdas e o aumento de valor agregado. Para tanto, foram realizados os procedimentos de melhoria em algumas atividades classificadas como MTTO, sendo elas: requisição de compras, aquisição de matéria-prima e elaboração de desenho técnico. Assim, o grupo de trabalho foi direcionado à buscar melhorias nessas atividades. Nesse sentido, as oportunidades são diversas e variam de acordo com quais setores/atividades pretendem ser otimizados. Para o grupo de trabalho as três atividades acima foram as escolhidas e partiram como premissas da projeção do estado futuro.

4 RESULTADOS

Este capítulo expõe os resultados obtidos através da aplicação da metodologia no contexto do estudo. Faz-se importante salientar ao leitor que o presente capítulo foi construído com base no fluxograma da Figura 5 e é apresentado de acordo com as quatro principais etapas desse fluxograma.

4.1 RESULTADOS DA CLASSIFICAÇÃO DE VA E NVA

Conforme Shou *et al.* (2020), a classificação dos aspectos que agregam ou não valor ao fluxo analisado é o primeiro passo na construção deste. Além disso, pode-se verificar que o *output* esperado dessa etapa é uma padronização do VA e NVA para o processo. Posto isso, tem-se a proposta de classificação para o fluxo de valor de uma fabricação e montagem em uma parada de manutenção. O delineamento de MTTO, MTTE, MTTY e MMLT também foi realizado e é apresentado no Quadro 4, a seguir.

Quadro 4 – Classificação de VA, NNVA e NVA para o estudo de caso.

Categoria	Visão Macro	Visão Micro	
		Atividades de Manutenção	Atividades Administrativas
Valor agregado (VA)	Execução (MTTE)	<ul style="list-style-type: none"> Montar, desmontar, cortar, lixar, dobrar, apertar, parafusar, etc. 	<ul style="list-style-type: none"> Validação de escopo Elaboração de curvas de avanços <i>Reports</i> de avanço diários
Importante, mas sem VA (NNVA)	Atividades de suporte à execução (MTTO)	<ul style="list-style-type: none"> Montagem de estruturas intermediárias, andaimes e içamentos 	<ul style="list-style-type: none"> Comunicação entre montador e supervisor Comunicação entre operador, sinaleiro e supervisor
Importantes, mas sem VA (NNVA)	Atividades de suporte a recursos críticos (MTTO)	<ul style="list-style-type: none"> Logística de mão de obra direta (MOD) Logística de ferramentas e materiais de aplicação 	<ul style="list-style-type: none"> Comunicação entre supervisão e time de <i>supply chain</i> <i>Back-up</i> de dados e informações da atividade/evento
Importantes, mas sem VA (NNVA)	Atividades de segurança (MTTO)	<ul style="list-style-type: none"> <i>Check-list</i> de segurança, permissão de trabalho (PT), análise preliminar de risco (APR) 	<ul style="list-style-type: none"> Coleta de dados de segurança <i>Reports</i> diários de segurança Coleta de dados e comunicação entre as lideranças sobre o tema
Importantes, mas sem VA (NNVA)	Atividades de qualidade (MTTO)	<ul style="list-style-type: none"> Relatórios de qualidade Inspeção e validação da execução 	<ul style="list-style-type: none"> Comunicação entre supervisão e time de qualidade

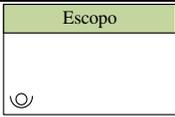
		<ul style="list-style-type: none"> • ENDS 	<ul style="list-style-type: none"> • Coleta de dados para elaboração de <i>databook</i>
Perdas (NVA)	Superprocessamento Defeitos Inventário Trabalho improdutivo Falha na gestão de dados Espera Movimentação	<ul style="list-style-type: none"> • Atividades concluídas antes do tempo previsto, sem uma atividade seguinte, causando atividades não planejadas durante tempo de espera • Retrabalho ou reprocessamento, causando <i>delay</i> nas atividades sucessoras • Falha da entrega do material correto, no tempo certo • Falta de materiais, ferramentas e equipamentos • Atividades desnecessárias devido ao planejamento superficial da atividade • Executantes não familiarizados com a natureza do trabalho • Falha na coleta de dados • Tempo de espera devido a falhas de comunicação • Movimentações desnecessárias • Atividades realizadas fora do cronograma de trabalho 	

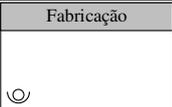
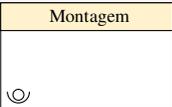
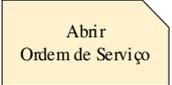
Fonte: Adaptado de Shou et al. (2009).

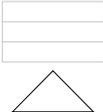
4.2 RESULTADOS DA SIMBOLOGIA PARA APLICAÇÃO DO VSM

O Quadro 5 representa a definição da simbologia para aplicação do VSM, sintetizando os resultados obtidos para a simbologia de um fluxo que envolve fabricação e montagem dentro de uma parada de manutenção.

Quadro 5 – Simbologia de construção do VSM para o estudo de caso.

Categoria	Subcategoria	Símbolo	Nome do Símbolo	Definição	MMLT
Processo	Início do fluxo		Planejamento de manutenção	Este processo é o início do fluxo de fabricação e montagem, no qual se identifica, por meio de inspeção/plano de manutenção, que um determinado componente precisa ser substituído.	MMTO, MTTE, MTTY
	Elaborar escopo de fabricação		Escopo de fabricação	Este processo consiste na definição do que se espera da fabricação: material de construção, condições de aplicação, geometria, ensaios de validação etc. O projeto de fabricação está contido nesta etapa (todos os desenhos técnicos para a execução da fabricação).	MMTO

	Requisitar a compra		Requisição de compras	Este processo consiste na requisição de compras que será enviada ao mercado para cotação e, após a conclusão da mesma, um fornecedor estará validado para execução do escopo contratado.	MMTO
	Fabricar itens do escopo		Fabricação de tubulações	Este processo consiste na aquisição de materiais, corte, calandragem, soldagem, inspeção de qualidade, expedição ao cliente.	MMTO, MTTE, MTTY
	Planejar montagem		Planejamento de montagem	Este processo consiste na definição do <i>task-list</i> necessário para a remoção, a preparação e a instalação da nova fabricação recebida.	MMTO, MTTE, MTTY
Processo	Ordem de serviço		Criação de serviço	Este processo envolve a criação da ordem de serviço pelo respectivo ERP utilizado. Para este estudo, de caso será o ERP – SAP.	MTTO
	Criar ordem de serviço		Encerramento de serviço	Este processo envolve o encerramento da ordem de serviço pelo respectivo ERP utilizado. Para este estudo de caso, será o ERP – SAP.	
Fluxo de materiais/ pessoas	Flecha de etapas seguintes		Flecha de fluxo	Representa o fluxo de materiais e pessoas ao longo do processo. Os processos são conectados através desta flecha.	MTTO, MTTE, MTTY
	<i>First-in first-out</i>		FIFO	Simboliza o processo de que o primeiro material que entra é o primeiro a sair. É utilizado para a otimização dos processos e a melhoria na linha cronológica dos processos.	MTTO, MTTE

	Reportar problemas		Explosão Kaizen	Representa pontos do mapa nos quais pode existir grande espaço para melhoria.	MTTO, MTTE, MTTY
Fluxo de informação	Flecha para fluxo de informação		Flecha de informação	Representa o fluxo manual de informações, reportes, conversações ao longo do processo.	MTTO, MTTE, MTTY
	Reporte de informações		Caixa de dados Triângulo de atraso	Apresenta o resumo dos indicadores avaliados em cada uma das etapas do processo.	MTTO, MTTE, MTTY

Fonte: Adaptado de Shou *et al.* (2019).

4.3 RESULTADOS DA APLICAÇÃO DO VSM

A metodologia de aplicação do VSM no estudo de caso apresentado iniciou-se na etapa 1 e seguiu até a etapa 6, conforme demonstrado na seção 3.3.4, fundamentada nos estudos propostos por Rother e Shook (1999) e Sawhney *et al.* (2009), e conforme validado pelas contribuições teóricas do capítulo 2. Como resultado da aplicação da metodologia, observa-se a real aplicação da etapa em uma empresa de fertilizantes, conforme caracterização detalhada na seção 3.2.

Como esclarecido no capítulo metodológico, na primeira etapa da construção do mapa, são definidos o início e o término do fluxo de valor analisado – trata-se, neste caso, da abertura e do encerramento de uma ordem de manutenção. A ordem de manutenção é aberta e fechada dentro do ERP (*Enterprise Resource Planning*) da empresa, o qual, neste caso, é o SAP (*Systems, Applications and Products in Data Processing*). A Figura 7, na página seguinte, exemplifica o processo de abertura e fechamento de ordem para este estudo de caso.

Figura 7 – Abertura e fechamento de ordem de manutenção.

The screenshot displays a software application window titled "Ordem". The menu bar includes "Processar", "Ir para", "Suplementos", "Ambiente(U)", "Sistema", and "Ajuda". The main content area is titled "Criar Serviço de terceiros : cabeçalho central". At the top, there is a toolbar with various icons. Below the toolbar, the "Ordem" field is populated with "ZTHR" and a long alphanumeric string. The "Stat.sist." field shows "ABER DMNV DNAT" and "ABER". A tabbed interface is visible with tabs for "DdsCabec.", "Operações", "Componentes", "Custos", "Parceiro", "Objetos", "Dados adic.", "Localiz.", "Planej.", and "Controle". The "DdsCabec." tab is active, showing a form with several sections: "Responsáveis" (with checkboxes for "Gr.planej." and "CenTrabRes"), "Datas" (with "InícioBase", "Fim-base", "Prioridade" set to "Baixo", and "Revisão"), and "Objeto de referência" (with "LocInstal." and "Equipam."). A "Parceiro" field is also visible with the value "UNIDADE DE RIO GRANDE".

Fonte: O autor.

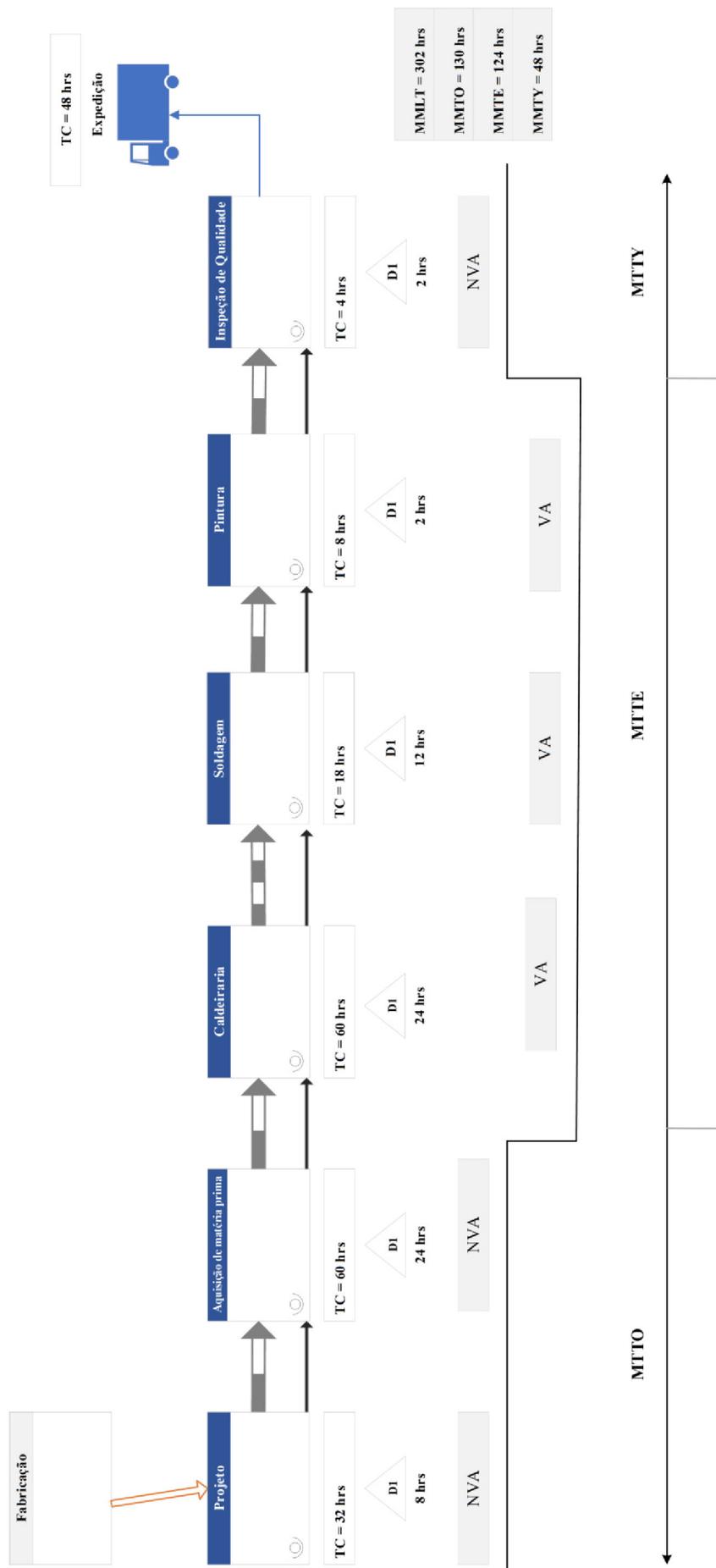
Com o início e o término do mapa de fluxo definidos, os processos intermediários são apresentados, sendo eles os seguintes: escopo, requisição de compra, fabricação e montagem. Cada uma das etapas intermediárias constitui uma contribuição para o mapa; entretanto, este trabalho focalizou as etapas de fabricação e montagem, visto que estas são responsáveis por todo o valor agregado do ciclo de manutenção. A construção do escopo e a requisição de compras são atividades essenciais à correta execução da fabricação, mas consideradas processos incidentais de organização (MTTO), diferentemente, por exemplo, do processo de fabricação e montagem, cujos tempos de VA foram evidenciados anteriormente. A etapa de fabricação, por sua vez, apresenta maior detalhamento relativamente às demais, pois é composta pelas seguintes atividades: desenho técnico, aquisição de matéria-prima, caldeiraria, soldagem, pintura, inspeção de qualidade e expedição. A Figura 8 e a Tabela 3 resumem os resultados encontrados para a etapa de fabricação e os seus respectivos tempos obtidos após a cronometragem do processo.

A etapa de montagem também contribui significativamente com o mapa, sendo classificada em: inspeção de recebimento, planejamento para montagem, disponibilidade de recursos

especiais (andaimes, munck, guindaste, PTAs), montagem da tubulação, ajuste de campo e comissionamento. A exemplo da etapa superior, apresenta-se, em relação a esta, um resumo das etapas e dos tempos cronometrados na Figura 9 e na Tabela 4.

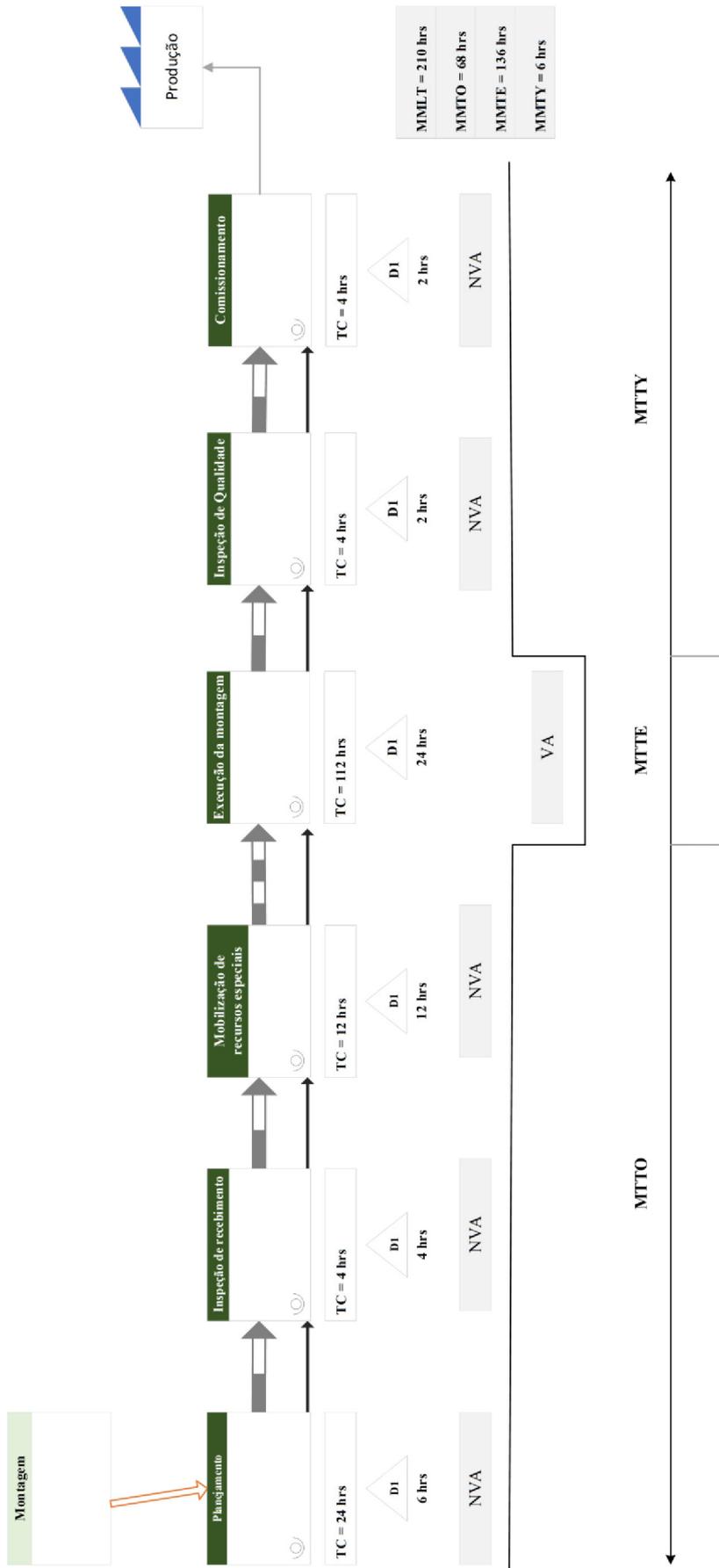
Dessa forma, foi consolidada a construção do mapa do estado atual do fluxo de manutenção de fabricação e montagem em uma parada de manutenção através do VSM. A aplicação dessa metodologia, em um estudo de caso do setor de manutenção, visa a expandir o uso das ferramentas *lean* em outros setores, aliando a busca por melhoria contínua à eficiência operacional (SHOU *et al.*, 2019). Com base no mapa do estado atual desenhado, obtêm-se os tempos das atividades do fluxo analisado, separando-se o que agrega ou não valor ao cliente final.

Figura 8 – Etapa de fabricação do estudo de caso – classificação de VA e NVA.



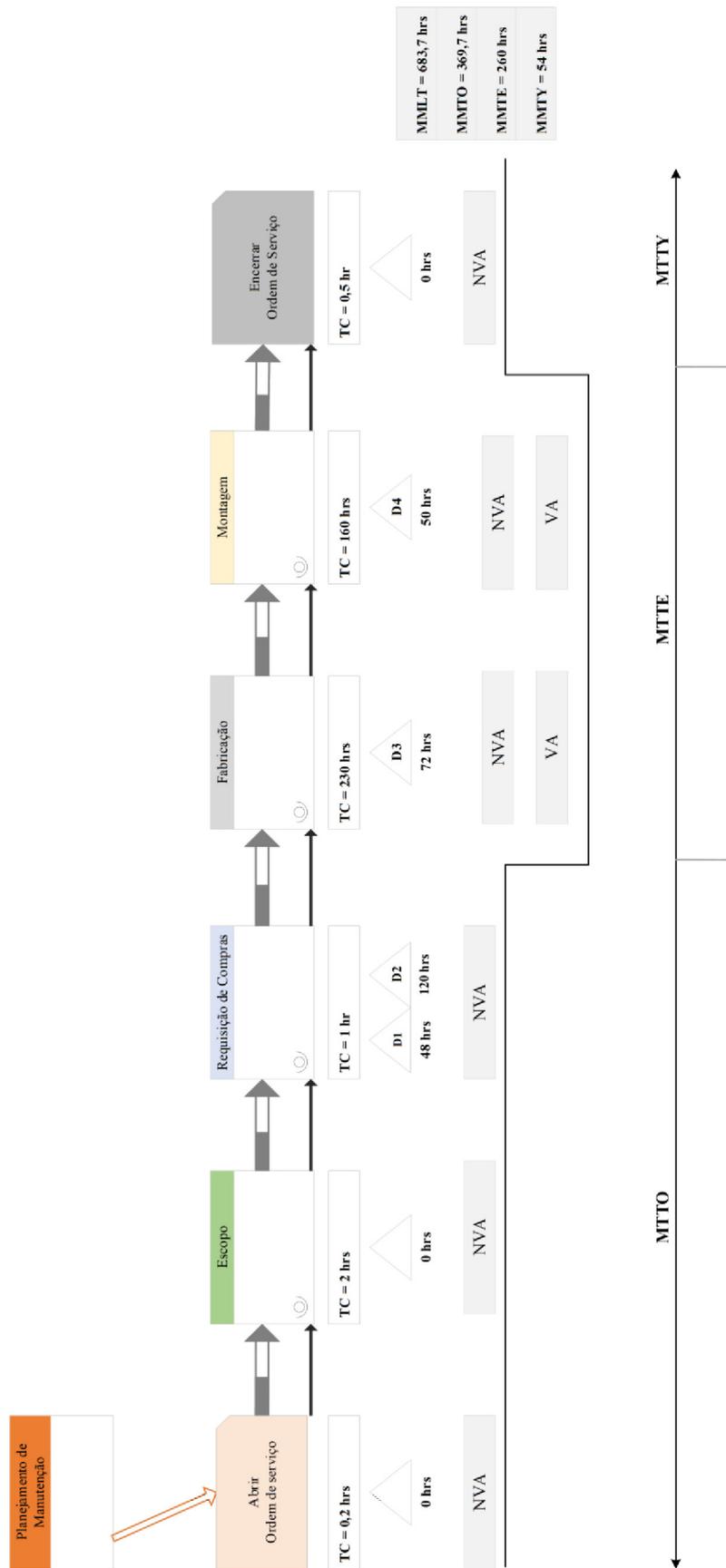
Fonte: O autor.

Figura 9 – Etapa de montagem do estudo de caso – classificação de VA e NVA.



Fonte: O autor.

Figura 10 – Mapa do estado atual obtido por VSM para o estudo de caso.



Fonte: O autor.

Tabela 3 – Etapas do processo de fabricação – estudo de caso.

Etapas	Classificação	Tempo (hrs)
Desenho técnico / Projeto	MTTO	40
Aquisição de matéria prima	MTTO	84
Caldeiraria	MTTE	84
Soldagem	MTTE	30
Pintura	MTTE	10
Inspeção de qualidade	MTTO	6
Expedição	MTTY	48

Fonte: O autor.

Tabela 4 – Etapas do processo de montagem – estudo de caso.

Etapas	Classificação	Tempo (hrs)
Planejamento	MTTO	30
Inspeção de recebimento	MTTO	8
Mobilização de recursos especiais	MTTO	24
Execução da montagem	MTTE	136
Inspeção de qualidade	MTTO	6
Comissionamento	MTTY	6

Fonte: O autor.

Tabela 5 – Resultados do mapa atual após a aplicação do VSM no estudo de caso.

Métricas	Tempo (h)
MMLT	683,7
MTTO	369,7
MTTE	260
MTTY	54
Tempo que não agrega valor	423,7
Tempo que agrega valor	260
Valor agregado do processo analisado	38,02%

Fonte: O autor.

4.4 RESULTADOS DA PROJEÇÃO DO ESTADO FUTURO

A etapa 4.4 faz referência à seção 3.3.4, na qual se busca realizar ações a partir dos resultados obtidos no mapa atual. À vista disso, para a construção do estado futuro, foram realizadas algumas ações de melhoria do processo de planejamento. A partir das ações, percebe-se, na Tabela 5 que 61,98% das atividades que envolveram o processo de fabricação e

montagem de uma tubulação em paradas de manutenção foram representadas por ações que se enquadram como perdas em um fluxo de manutenção.

Dessa maneira, buscando os principais responsáveis pela não agregação de valor e utilizando o princípio de Pareto¹, temos as seguintes etapas: requisição de compras (24,71% do MMLT), aquisição de matéria-prima (12,28% do MMLT) e desenho técnico/projeto (5,85% do MMLT). Sendo assim, a equipe responsável pela construção do VSM percebeu grande oportunidade de melhoria no que concerne a esses três processos. Com relação à proposta de aumento do valor agregado, o time apresentou algumas ações e atuou para que sua implementação ocorresse até a execução da parada anual de manutenção seguinte (a execução do trabalho teve duração de 180 dias). Após as tratativas de revisão de processos internos, alteração de rotinas e desenvolvimento de novos fornecedores, as seguintes ações foram pontuadas como ações de melhoria para o processo de requisição de compras, aquisição de matérias-primas do fornecedor e elaboração de desenho técnico/projeto:

- Realizar reuniões semanais junto à equipe comercial com vistas à priorização de requisições feitas para paradas de manutenção (redução do tempo médio de tratativa).
- Validar tecnicamente os fornecedores via *scorecard* para desenvolvimento de fornecedores mais robustos e com maior capacidade produtiva.
- Desenvolver contratos por kg de fabricação a fim de otimizar a precificação da fabricação.
- Elaborar lista de fornecedores de matéria-prima para reduzir tempo de aquisição, evitando bitributação durante compras pontuais de fabricações de grande porte.
- Realizar análise de engenharia para aumento de estoque mínimo de chapas de aço carbono e inoxidável com vistas a absorver possíveis faltas de estoque na cadeia de suprimentos.
- Estruturar, junto ao time de engenharia, a execução de desenhos técnicos de equipamentos criticidade “A”, evitando a necessidade de desenvolvimento de projeto no momento da fabricação de tubulações industriais.

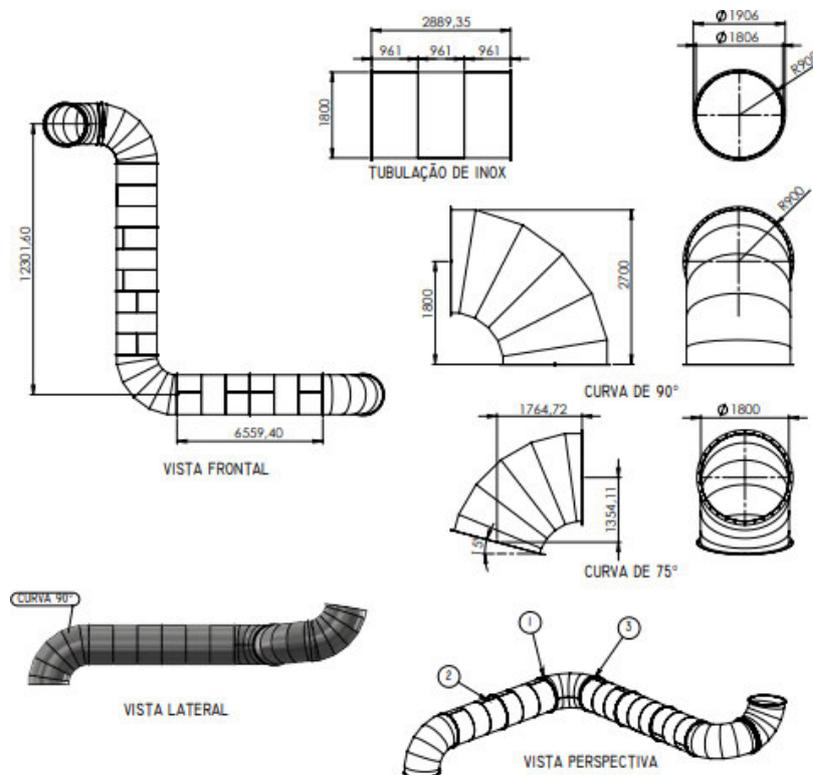
¹ O princípio de Pareto é conhecido por considerar que 80% dos efeitos advêm de 20% das causas. Estabelecendo uma analogia com este caso, 80% do desperdício vem de 20% das atividades de MTTO e MTTY.

Implementadas tais ações, foi possível reprojeter o mapa do estado atual para uma nova fabricação, de mesmo porte da anterior, além de fabricada e montada em uma parada de manutenção na mesma unidade de granulação, porém em outro ano, conforme Figura 11, a seguir.

Como forma de inserir uma condição de contorno à análise e também mensurar a eficiência das ações, a análise foi direcionada apenas para os três principais impactos no valor agregado do processo de fabricação da tubulação (projeto, aquisição de matéria e expedição – grifados com linhas tracejadas em vermelho na Figura 12). Entende-se que existem inúmeras oportunidades dentro do MTTO, MTTE e MTTY no qual não foram abortadas e que podem ser melhoradas e demonstradas em trabalhos futuros.

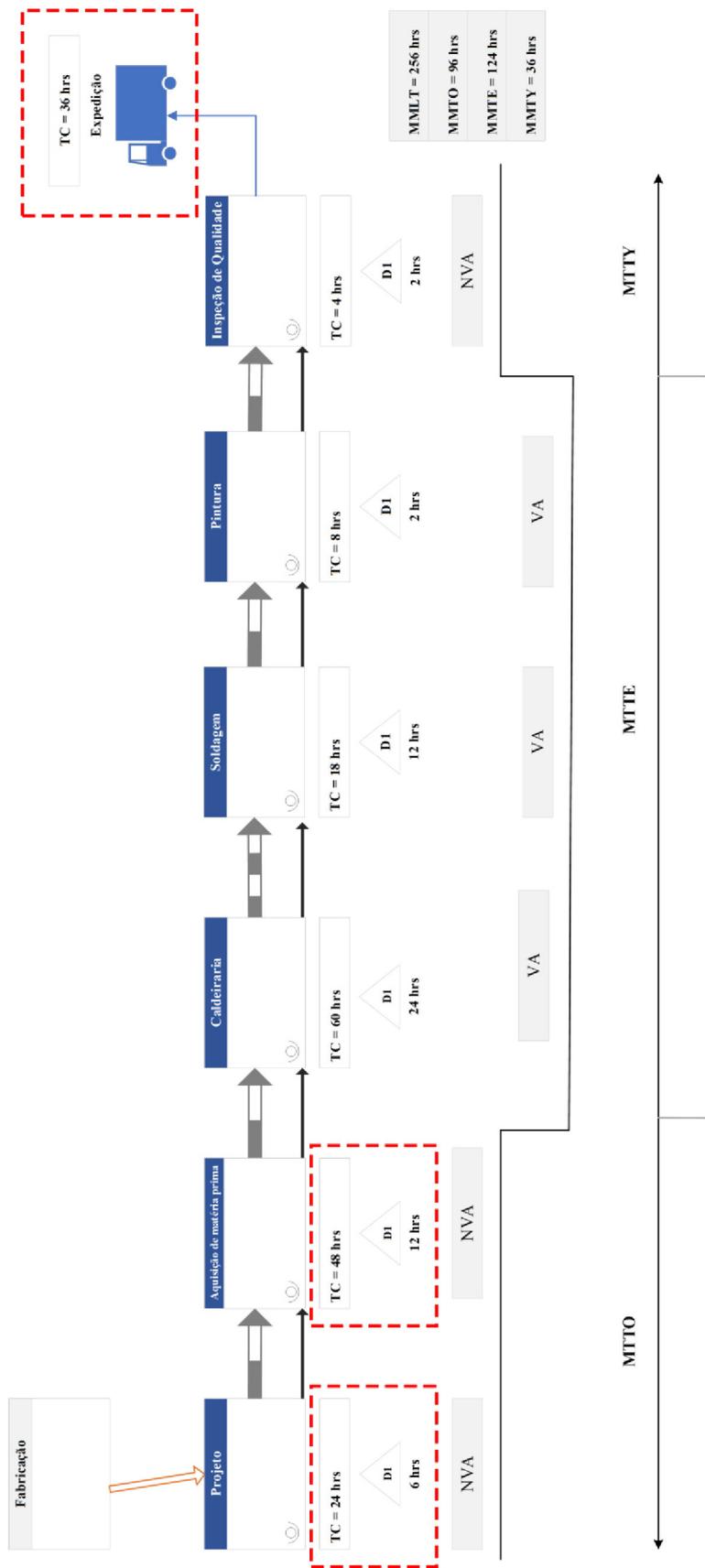
Para a projeção do mapa do estado, futuro não foram alterados os parâmetros de montagem por escolha do autor e por entendimento de que o processo de fabricação conta com mais detalhes para exploração. A Figura 12 apresenta o mapa do estado futuro para o caso de fabricação da nova tubulação, ao passo que a Figura 13 demonstra o resultado do processo analisado após a implementação de melhorias.

Figura 11 – Tubulação fabricada e montada em parada de manutenção – estado futuro.



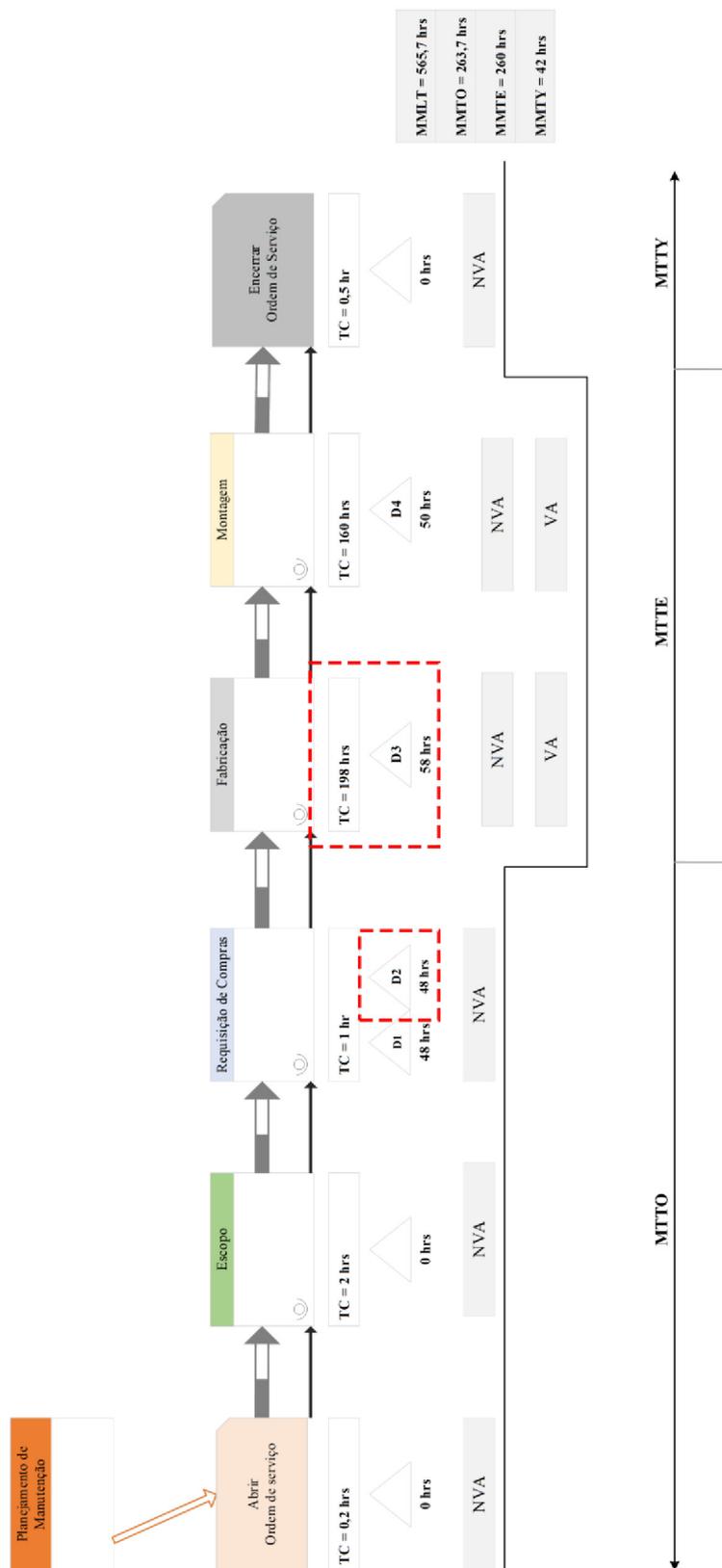
Fonte: O autor.

Figura 12 – Etapa de fabricação do estudo de caso – classificação de VA e NVA para estado futuro.



Fonte: O autor.

Figura 13 – VSM para o estado futuro do estudo de caso.



MMLT = 565,7 hrs
MMTO = 263,7 hrs
MMTE = 260 hrs
MMTY = 42 hrs

Fonte: O autor.

Tabela 6 – Etapas do processo de fabricação – estudo de caso – mapa futuro.

Etapas	Classificação	Tempo (hrs)
Desenho técnico/Projeto	MTTO	30
Aquisição de matéria-prima	MTTO	60
Caldeiraria	MTTE	84
Soldagem	MTTE	30
Pintura	MTTE	10
Inspeção de qualidade	MTTO	6
Expedição	MTTY	36

Fonte: O autor.

Tabela 7 – Resultados do VSM aplicado no estudo de caso – estado futuro.

Métricas	Tempo (hrs)
MMLT	565,7
MTTO	263,7
MTTE	260
MTTY	42
Tempo que não agrega valor	305,7
Tempo que agrega valor	260
Valor agregado do processo analisado	45,96%

Fonte: O autor.

5 DISCUSSÕES

Após a explanação da metodologia e dos resultados obtidos por meio da aplicação do VSM, realiza-se aqui, algumas análises e reflexões. A fundamentação teórica do capítulo 2 é resgatada para discutir-se os resultados obtidos, em especial a comparação destes com os trabalhos propostos por Rother e Shook (1999), Sawhney *et al.* (2009) e Shou *et al.* (2020).

Conforme Shawney *et al.* (2009), esta dissertação avalia sistematicamente as atividades com valor agregado e sem valor agregado em atividades de fabricação e montagem em paradas de manutenção que usam VSM. Em primeiro lugar, o Quadro 5 fornece uma lista de símbolos para VSM que pode ser utilizada universalmente em avaliações de processos da manutenção, fabricação e montagem em projetos ou em paradas de manutenção. Também de acordo com Sawhney *et al.* (2009), esses símbolos igualmente fornecem, à comunidade de manutenção, uma simbologia comum com vistas à abordagem de outros fluxos de manutenção com viés de fabricação e montagem.

Em segundo lugar, são sugeridos pontos de atenção na coleta dos dados, especialmente nos tempos de ciclos, uma vez que a precisão da medição pode ter grandes impactos nos indicadores finais do mapeamento de fluxo. Sendo assim, quando for definido um time para elaboração do VSM, sugere-se escolher e/ou dar prioridade a profissionais de nível pleno a sênior que consigam absorver o detalhamento do método e atuar de forma responsável na coleta de dados. Esta percepção é correlacionando as contribuições de Sawhney *et al.* (2009) que também aborda a importância da fase de coleta de dados para a validação dos resultados finais.

Como pontuado na introdução do presente trabalho, a intenção deste foi buscar a aplicação do VSM em um fluxo de manutenção que envolvia fabricação e montagem no âmbito de uma parada de manutenção. Após a realização disso, pode-se perceber alguns dos principais ofensores no que tange ao valor agregado desses processos. As atividades de preparação e organização (MTTO) apresentam grande parcela de desperdícios em uma análise de valor agregado para os processos de manutenção, sendo de 52,14% já no estado futuro (melhorado). Isso nos mostra que os procedimentos prévios à execução precisam ser eficientes, mas também simplificados, visto que estão contabilizando perdas em uma entrega que o cliente final não está disposto a pagar.

Ainda sobre o impacto dos parâmetros do MMLT no resultado de valor agregado, constata-se que, em casos nos quais as atividades que agregam valor (MTTE) são melhoradas e a execução se torna mais rápida, o MMLT tende a reduzir seu tempo total, podendo, até

mesmo, reduzir o percentual de valor agregado. Entretanto, um ciclo de manutenção que leva menos tempo, pode gerar uma redução de parada de planta, ganho em OEE e aumento de volume final. Dessa forma, ao variar-se esses parâmetros de um ciclo de manutenção, verificou-se que é preciso desenhar bem o que se busca no início, se é uma redução de MMLT ou aumento de valor agregado em um ciclo do qual já se conhece o tempo total (caso de paradas de manutenção cuja duração é já acordada com a empresa).

Para complementar-se as discussões e buscar-se mensurar o possível impacto financeiro desta análise de valor agregado, considera-se que uma parada de manutenção de granulação apresenta em média 39000 horas de execução, conforme Quadro 3, valor agregado inicial de 38,02%, conforme Tabela 5, e valor agregado futuro de 45,96% (aumento de 7,94%), conforme Tabela 7. De posse dessas informações, verifica-se que o MMLT do cenário inicial para o futuro reduziu em 118 h, equivalente a 17,4% de redução no tempo do ciclo médio de manutenção. Ampliando-se a análise e considerando-se que a mesma redução de tempo pode ser obtida nas demais atividades de manutenção de uma parada, verificamos que para a amostra de 39000 horas, o ganho potencial é de 6786 h. Quando é realizada a precificação dessas 6786 h, a um custo médio de R\$ 80/h, temos um ganho potencial de R\$ 542.880. Esse valor representa 10% do investimento médio anual para uma parada de granulação, de acordo com os dados históricos da empresa.

De posse dos resultados da capítulo 4, é possível dissertar um pouco mais sobre o impacto dos resultados no âmbito do planejamento de paradas de manutenção de grande porte. Entende-se que esses eventos absorvem grande parte dos investimentos anuais das empresas, visto que são considerados fator-chave para o OEE das unidades produtivas e, também, fator de segurança aos colaboradores, visto que algumas inspeções mais criteriosas só são realizadas nesse tipo de parada (WENCHI *et al.*, 2015). De posse dos resultados, percebeu-se que o VSM também demonstrou ser uma excelente ferramenta de suporte ao planejamento de paradas, haja vista que evidenciou os principais desperdícios nas visões *macro* e *micro*. Foi possível identificar as oportunidades de melhoria do plano e, via plano de ação, melhorar para os próximos eventos, gerando um fluxo de melhoria contínua e uma evolução de uma parada para a outra.

Sabe-se que os princípios de manutenção enxuta e *lean thinking* são considerados como estratégias de gestão e suporte às organizações, de modo que estas se tornem mais assertivas e eficientes em suas decisões (BELEKOUKIAS; GARZA-REYES; KUMAR, 2014). Contudo, a horas aplicação dos princípios enxutos à rotina dos colaboradores, como o neste estudo de caso,

proporcionou uma difusão ainda mais intensa dessa visão enxuta nos participantes do grupo de trabalho. Estes (as) serão replicadores e agirão de forma proativa frente a outras rotinas que não estão diretamente ligadas ao seu setor, simplesmente por terem compreendido que a redução das perdas é um ganho direto à empresa e a sua respectiva saúde financeira. Evidenciou-se que o investimento na aplicação de ferramentas *lean* gera um impacto significativo no *mindset* dos colaboradores, proporcionando uma bela evolução no âmbito cultural da organização.

Pesquisas futuras relacionadas ao *lean* e à manutenção devem considerar a combinação de modelos de confiabilidade bem estabelecidos com o VSM. Especificamente, seria interessante aplicar-se as técnicas de modelagem e otimização estatística a fim de analisar-se cada operação do VSM para validar-se e verificar-se seu resultado, proporcionando assim uma projeção de estado futuro mais acertiva (SAWHNEY *et al.*, 2009).

6 CONSIDERAÇÕES FINAIS E RECOMENDAÇÃO PARA TRABALHOS FUTUROS

Este estudo teve por objetivo aplicar o método do *value stream mapping* (VSM) no fluxo de valor da manutenção para melhoria de um processo de fabricação e montagem de tubulação em uma parada de manutenção, visando encontrar oportunidades para aumento de valor agregado do referido processo. Além disso, retoma-se a questão da pesquisa, a saber: como o *value stream mapping* (VSM) e a alteração de parâmetros do MMLT podem auxiliar no fluxo de valor dos processos de manutenção?

De posse dos resultados obtidos, conclui-se que a pesquisa atingiu o objetivo de forma plena, uma vez que a aplicação VSM no fluxo de manutenção apresentou melhoras no valor agregado desse processo, além de proporcionar a capacitação da equipe participante, validar o método como ferramenta suporte do planejamento de grandes paradas e, por fim, demonstrar como a variação dos parâmetros MTTO, MTTE, MTTY influencia o tempo médio de ciclo de manutenção (MTTL).

Com base no estudo do método e na aplicabilidade deste em uma empresa brasileira, pode-se perceber que o VSM é uma ferramenta capaz de destacar oportunidades no âmbito dos fluxos de manutenção das empresas – no caso desta dissertação, no âmbito das paradas de manutenção. Os pontos positivos do processo são identificados, mas também os que estão gerando perdas à empresa. A partir dessa identificação, as ações de correção podem ser realizadas e um fluxo melhorado pode ser projetado para um estado futuro. Ademais, é possível verificar o impacto que a alteração de parâmetros de MTTO, MTTE e MTTY pode gerar em uma análise de ciclo de manutenção, como nesta dissertação, no qual a variação de atividades de MTTO alterou o % final de valor agregado de um processo de fabricação e montagem. Ainda nessa linha, percebeu-se que a aplicação do VSM no setor de manutenção é uma realidade e pode ser ponto de partida de uma implementação de mentalidade enxuta nas empresas, além de ferramenta de suporte ao planejamento de paradas de manutenção de grande porte. Sendo assim, são comparados os resultados obtidos com a pesquisa de Shou *et al.* (2020) e classificados como satisfatórios. Também nessa direção, o time participante do VSM e a alta gestão da empresa entenderam que o método é uma ferramenta de suporte à tomada de decisões, proporcionando uma gestão de manutenção mais assertiva e estratégica. Conforme citação do Gerente Sênior de Manutenção e Projetos da unidade fabril: “O método é fantástico! Precisamos manter a aplicação do mesmo para nossas rotinas de manutenção e, também, para os grandes projetos

conduzidos pela manutenção. Teremos diversas oportunidades dentro dos nossos processos que podem gerar retorno financeiro à empresa”.

O contexto de paradas de manutenção que foi vivenciado através desse fluxo de manutenção, em especial a fabricação e a montagem, apresentou-se com um campo de vasta aceitação das metodologias *lean*, em especial o VSM, que permitiu verificar as principais perdas em ambos os processos comuns do setor. Por fim, entende-se que a aplicação da metodologia VSM em processos manutenção vai ao encontro da agregação direta de valor aos processos produtivos, sendo o seu impacto observado após a melhoria de algumas rotinas do fluxo de manutenção, otimização de caminho crítico, redução de paradas de máquinas, gargalos, desperdícios e perdas produtivas.

No balanço final, a empresa tende a “ganhar” mesmo tendo variações em um processo que não é considerado como principal, visto que é uma manutenção para possibilitar a fabricação do produto fim – neste caso, o fertilizante. O processo metodológico apresentado, em formato de passo a passo, também possibilitará, aos profissionais de manutenção, o estabelecimento de uma linha de base na avaliação de valor agregado em paradas de manutenção, por meio de indicadores quantitativos (como o MMLT, MTTO, MTTE, MTTY) poderão tomar decisões de como conduzir o planejamento e a execução de montagens desse porte.

Como sugestão de trabalhos futuros, registra-se, aqui, o desafio de aprofundar o estudo do VSM no fluxo de valor de processos de manutenção, como, por exemplo, o planejamento e o controle da manutenção em atividades de rotina (com a planta rodando). Além disso, sugere-se alterar os valores de MTTE e MTTY para outros estudos de caso e examinar qual deles apresenta maior impacto no MMLT, permitindo, assim, um complemento e uma expansão da metodologia aplicada, visto que, neste estudo de caso, o único parâmetro otimizado foi o MTTO. Com base nisso, pode-se construir um método que indicará qual parâmetro deve ser alterado para o determinado contexto de manutenção, direcionando o uso do método com a maior taxa de assertividade x tempo empregado. Ainda como sugestão, seria interessante aplicar o VSM em outros fluxos de manutenção, como corretiva e preditiva, e descobrir os principais desperdícios e impactos de cada indicador no MMLT de cada tipo de manutenção.

7 REFERÊNCIAS

7.1 REFERÊNCIAS NOMINAIS

ABDULMALEK, F. A.; RAJGOPAL, J. Analyzing the benefits of lean manufacturing and value stream mapping via simulation: A process sector case study. **International Journal of Production Economics (98% - Scopus)**, v. 107, n. 1, p. 223–236, 2007. DOI: 10.1016/j.ijpe.2006.09.009

ASSOCIAÇÃO NACIONAL DE TRANSPORTES PÚBLICOS. **Transporte por Fretamento**. 9. ed. São Paulo: ANTP/FRESP, 106 p., 2012. Disponível em: http://files-server.antp.org.br/_5dotSystem/download/dcmDocument/2013/03/11/2C71B08A-6A12-4356-AA3F-F5A0F0DFB717.pdf. Acesso em: 31 jul. 2022.

BELEKOUKIAS, I.; GARZA-REYES, J. A.; KUMAR, V. The impact of lean methods and tools on the operational performance of manufacturing organisations. **International Journal of Production Research (90% - Scopus)**, v. 52, n. 18, p. 5346-5366, 2014.

BERTOLINI, M. *et al.* An analytical method for maintenance outsourcing service selection. **International Journal of Quality & Reliability Management (83% - Scopus)**, 2004.

BORCHARDT, M. **Diretrizes para a implementação dos princípios da Mentalidade Enxuta: o caso das empresas de transporte coletivo rodoviário urbano**. 2005. 295 f. Tese (Doutorado em Engenharia de Produção) – Programa de Pós-graduação em Engenharia de Produção, Universidade Federal de Santa Catarina (UFSC), Florianópolis, 2005.

BRAGLIA, M.; CARMIGNANI, G.; ZAMMORI, F. A New Value Stream Mapping Approach for Complex Production Systems. **International Journal of Production Research (90% - Scopus)**, v. 44, n 18-19, p. 3929-3952, 2006. DOI:10.1080/00207540600690545.

DAVIES, C.; GREENOUGH, R. M. Measuring the effectiveness of lean thinking activities within maintenance. **Retrieved June**, v. 24, p. 2013, 2010. Disponível em: https://www.plant-maintenance.com/articles/Lean_Maintenance.pdf. Acesso em 31 jul.2022.

DAVIS, M. **Fundamentos da Administração da Produção**. Porto Alegre: Ed. Bookman, 2001.

DORA, M.; KUMAR, M.; GELLYNCK, X. Determinants and barriers to lean implementation in food-processing SMEs—a multiple case analysis. **Production Planning & Control (90% - Scopus)**, v. 27, n. 1, p. 1-23, 2016.

GARZA-REYES, J. A. *et al.* A PDCA-based approach to environmental value stream mapping (E-VSM). **Journal of Cleaner Production (98% - Scopus)**, v. 180, p. 335-348, 2018.

- GHAYEBLOO, S.; SHAHANAGHI, K. Determining maintenance system requirements by viewpoint of reliability and lean thinking: a MODM approach. **Journal of Quality in Maintenance Engineering (54% - Scopus)**, 2010.
- HINES, P.; RICH N. The Seven Value Stream Mapping Tools. **International Journal of Operations & Production Management (95% - Scopus)**, v. 17, n. 1, p. 46–64, 2017.
- HU, Q. *et al.* Lean implementation within SMEs: a literature review. **Journal of Manufacturing Technology Management (88% - Scopus)**, v. 26, n. 7, p. 980-1012, 2015.
- JONES, D. T.; WOMACK, J. P. **Seeing the Whole: Mapping the Extended Value Stream**. 1st ed. Brookline, MA: The Lean Enterprise Institute, 2002.
- KHAZRAEI, K.; DEUSE, J. A strategic standpoint on maintenance taxonomy. **Journal of Facilities Management (60% - Scopus)**, 2011.
- KHISTY, C.; ARSLAN, T. Possibilities of steering the transportation planning process in the face of bounded rationality and unbounded uncertainty. **Transportation Research Part C: Emerging Technologies (99% - Scopus)**, v. 13, n. 2, p. 77-92, 2005.
- KLOTZ, L.; MICHAEL H.; HENRY, H. B.; JOHN, B. The Impact of Process Mapping on Transparency. **International Journal of Productivity and Performance Management (88% - Scopus)**, v. 57, n. 8, p. 623–636, 2008.
- LACERDA, A. P.; XAMBRE, A. R.; ALVELOS, H. M. Applying Value Stream Mapping to eliminate waste: a case study of an original equipment manufacturer for the automotive industry. **International Journal of Production Research (90% - Scopus)**, v. 54, n.6, p. 1708–1720, 2015. DOI:10.1080/00207543.2015.1055349
- LEE, J.; WANG, H. New technologies for maintenance. In: **Complex system maintenance handbook**. Springer, London, 2008. p. 49-78.
- MCCARTHY, D.; RICH, N. Lean Tpm. **Book of Elsevier Publication**, 2004.
- MEYERS, F. E.; STEWART, J. R. **Motion and time study for lean manufacturing**. Pearson College Division, 2002.
- MOSTAFA, S.; DUMRAK, J.; SOLTAN, H. Lean maintenance roadmap. **Procedia Manufacturing (67% - Scopus)**, v. 2, p. 434-444, 2015.
- OBIJUNWA, C. C. Skills for the management of turnaround maintenance projects. **Journal of Quality in Maintenance Engineering (54% - Scopus)**, 2013.
- OHNO, T.; BODEK, N. Toyota production system: beyond large-scale production. **Productivity press**, 2019.
- PACIAROTTI, C.; CIATTEO, V.; GIACCHETTA, G. Value stream mapping implementation in the third sector. **Operations Management Research (95% - Scopus)**, v. 4, n. 3-4, p. 99, 2011.

- PAVNASKAR, S. J.; GERSHENSON, J. K.; JAMBEKAR, A. B. Classification scheme for lean manufacturing tools. **International Journal of Production Research (90% - Scopus)**, v. 41, n. 13, p. 3075-3090, 2003.
- PAVNASKAR, S. J.; GERSHENSON, J. K. The application of value stream mapping to lean engineering. In: **International Design Engineering Technical Conferences and Computers and Information in Engineering Conference**, 2004, p. 833-842.
- PIPING, P. ASME B31. 3. **The American Society of Mechanical Engineers**: New York, NY, USA, 2021.
- PORTER, M. **Vantagem competitiva: criando e sustentando um desempenho superior**. Rio de Janeiro: Campus, 1999.
- POTES RUIZ, P. A.; KAMSU-FOGUEM, B.; GRABOT, B. An Interactive Approach for the Post-processing in a KDD Process. In: **IFIP International Conference on Advances in Production Management Systems (57% - Scopus)**. Springer, Berlin, Heidelberg, 2014. p. 93-100.
- PRODANOV, C. C.; de FREITAS, E. C. **Metodologia do trabalho científico: métodos e técnicas da pesquisa e do trabalho acadêmico**. 2. ed. Novo Hamburgo: Feevale, 2013.
- REICHHART, A.; HOLWEG, M. Lean distribution: concepts, contributions, conflicts. **International Journal of Production Research (99% - Scopus)**, v. 45, n. 16, p. 3699-3722, 2007.
- RESTA, B. *et al.* Towards a framework for lean operations in product-oriented product service systems. **CIRP Journal of Manufacturing Science and Technology (73% - Scopus)**, v. 9, p. 12-22, 2015.
- REVIE, R. Winston (Ed.). **Oil and gas pipelines: Integrity and safety handbook**. John Wiley & Sons, 2015.
- ROTHER, M.; SHOOK, J. **Aprendendo a enxergar: mapeando o fluxo de valor para agregar valor e eliminar o desperdício**. São Paulo: Lean Institute Brasil, 1999.
- SAWHNEY, R.; KANNAN, S; LI, X. Developing a value stream map to evaluate breakdown maintenance operations', **Int. J. Industrial and Systems Engineering (49% - Scopus)**, v. 4, n. 3, p. 229-240, 2009.
- SELLITTO, M. A.; BORCHARDT, M.; PEREIRA, G. M. Presença dos princípios da mentalidade enxuta e como introduzi-los nas práticas de gestão das empresas de transporte coletivo de Porto Alegre. **Revista Produção (38% - Scopus)**, São Paulo, v. 20, n. 1, p. 15-29, 2010.
- SHAHIN, A.; SHIROUYEHZAD, H.; POURJAVAD, E. Optimum maintenance strategy: a case study in the mining industry. **International Journal of Services and Operations Management (37% - Scopus)**, v. 12, n. 3, p. 368-386, 2012.

SHOU, W. *et al.* Value adding and non-value adding activities in turnaround maintenance process: classification, validation, and benefits. **Production Planning & Control (98% - Scopus)**, v. 31, n. 1, p. 60-77, 2020.

SOLTAN, H.; MOSTAFA, S. **Leanness and agility within maintenance process**. Research India Publications, 2014.

TELLES, P. C. da S. Tubulações industriais. Rio de Janeiro:LTC – **Livros Técnicos e Científicos Editora S.A.**, 2001.

TOMMELEIN, I. D.; RILEY, D. R.; HOWELL, G. A. Parade game: Impact of work flow variability on trade performance. **Journal of Construction Engineering and Management (86% - Scopus)**, v. 125, n. 5, p. 304-310, 1999.

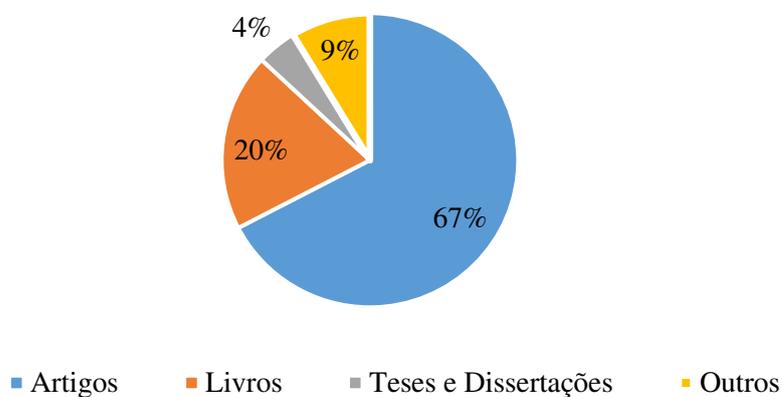
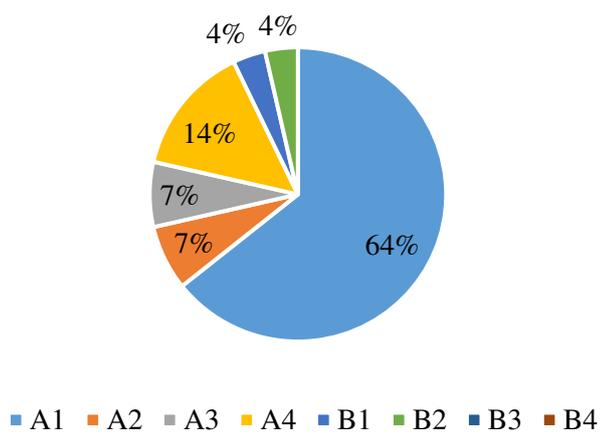
WENCHI, S.; JUN, W.; PENG, W.; XIANGYU, W; HEAP-YIH, C. A cross-sector review on the use of value stream mapping, **International Journal of Production Research (90% - Scopus)**. 2017. DOI: 10.1080/00207543.2017.1311031.

WENCHI, S. *et al.* An application of value stream mapping for turnaround maintenance in oil and gas industry: Case study and lessons learned. In: **Proceedings of 31st Annual ARCOM Conference**. 2015. p. 7-9.

WOMACK, J.; JONES, D. **A Mentalidade enxuta nas empresas: elimine o desperdício e crie riquezas**. Rio de Janeiro: Campus, 1998.

YADAV, V., JAIN, R., MITTAL, M. L., PANWAR, A.; LYONS, A. C. The propagation of lean thinking in SMEs. **Production Planning & Control (90% - Scopus)**, v. 30, n. 10-12, p. 854-865, 2019.

7.2 INFORMAÇÕES ADICIONAIS DAS REFERÊNCIAS

Distribuição de referências por estrato**Distribuição por artigos Qualis****Distribuição por data dos artigos**