



UNIVERSIDADE FEDERAL DE SANTA CATARINA
CENTRO DE TECNOLOGIA
CURSO DE ENGENHARIA DE PRODUÇÃO CIVIL

Henrique Rodrigues Salles Rita

**Aplicação do Mapeamento do Fluxo de Valor em Manutenções Pesadas de
Aeronaves para Identificação de Restrições do Sistema**

Florianópolis
2024

Henrique Rodrigues Salles Rita

Aplicação do Mapeamento do Fluxo de Valor em Manutenções Pesadas de Aeronaves para Identificação de Restrições do Sistema

Trabalho de Conclusão de Curso submetida ao curso de Engenharia de Produção Civil da Universidade Federal de Santa Catarina para a obtenção do título de bacharel em Engenharia Civil, habilitação para Engenharia de Produção.
Orientador: Prof^ª. Caroline Rodrigues Vaz, Dra.

Florianópolis
2024

Rita, Henrique

Aplicação do Mapeamento do Fluxo de Valor em
Manutenções Pesadas de Aeronaves para Identificação de
Restrições do Sistema / Henrique Rita ; orientadora,
Caroline Vaz, 2024.

80 p.

Trabalho de Conclusão de Curso (graduação) -
Universidade Federal de Santa Catarina, Centro
Tecnológico, Graduação em Engenharia de Produção Civil,
Florianópolis, 2024.

Inclui referências.

1. Engenharia de Produção Civil. 2. Mapeamento do Fluxo
de Valor. 3. Teoria das Restrições. 4. Manutenções pesadas
de aeronaves. 5. Pensamento Enxuto. I. Vaz, Caroline. II.
Universidade Federal de Santa Catarina. Graduação em
Engenharia de Produção Civil. III. Título.

Henrique Rodrigues Salles Rita

Aplicação do Mapeamento do Fluxo de Valor em Manutenções Pesadas de Aeronaves para Identificação de Restrições do Sistema

Local Auditório João E. E. Castro – EPS/CTC, 01 de julho de 2024.

Este Trabalho de Conclusão de Curso foi avaliado e aprovado por banca examinadora composta pelos seguintes membros:

Prof.(a) Caroline Rodrigues Vaz, Dr(a).
Orientadora

Prof. Paulo Augusto Cauchick Miguel, Dr.
Instituição UFSC

Prof. Glauco Garcia Martins Pereira da Silva, Dr.
Instituição UFSC

Certifico que esta é a **versão original e final** do Trabalho de Conclusão de Curso apresentado pelo autor que foi julgado adequado por mim e pelos demais membros da banca para obtenção do título de bacharel em Engenharia Civil, habilitação para Engenharia de Produção.



Documento assinado digitalmente
Monica Maria Mendes Luna
Data: 19/07/2024 14:33:33-0300
CPF: ***.104.993-**
Verifique as assinaturas em <https://v.ufsc.br>

Prof^a Mônica Mendes Luna, Dra.
Coordenador do Programa



Documento assinado digitalmente
Caroline Rodrigues Vaz
Data: 19/07/2024 14:50:08-0300
CPF: ***.381.109-**
Verifique as assinaturas em <https://v.ufsc.br>

Prof^a. Caroline Rodrigues Vaz, Dra.
Orientador

Florianópolis, 2024.

AGRADECIMENTOS

Primeiramente gostaria de agradecer minha família, especialmente minha mãe, Kelen, por todo o suporte durante o período do TCC. Meu pai, Renato, que possibilitou a vivência deste estágio incrível. E minha tia, Karen, que também me ajudou neste período do TCC.

Gostaria de agradecer a UFSC por ter me oferecido experiências incríveis nestes anos. Quem eu me tornei hoje, com certeza foi devido as vivências que tive nas entidades A7 (Atlética Edvaldo de Souza), EJEP (Empresa Júnior de Engenharia de Produção) e GLean (Grupo de Estudos em Lean), especialmente pelo impacto proporcionado por todos os aprendizados e amizades formadas.

Quero agradecer toda a paciência, e dedicação da minha orientadora, Carol, que me deu todo suporte durante a jornada do TCC.

Também gostaria também de agradecer a equipe de melhoria continua da empresa que e incentivou a desbravar novos horizontes e realizar estudo de caso, me ensinando sobre a aplicação Filosofia Lean no ambiente caótico do MRO.

RESUMO

O setor de Manutenção, Reparo e Revisão (MRO) de aeronaves é caracterizado pela alta variabilidade na demanda e nos processos, o que impacta diretamente o tempo de entrega, conhecido como Turnaround Time (TAT). No contexto da produção, o Mapeamento do Fluxo de Valor (MFV) é uma ferramenta amplamente utilizada para melhorar o TAT, identificando e resolvendo gargalos produtivos para assegurar um fluxo contínuo e eficiente de valor. Embora a metodologia Lean e o MFV tenham sido adaptados para diversos contextos, a aplicação e a eficácia dessas práticas em setores de alta variabilidade, como o MRO de aeronaves, ainda requerem investigação mais aprofundada. Por outro lado, a Teoria das Restrições (TOC) oferece uma abordagem focada no aumento do fluxo por meio da identificação e gestão das restrições sistêmicas, mostrando-se mais adequada para cenários incertos típicos do MRO. Dessa forma, o objetivo central desta pesquisa foi aplicar o Mapeamento do Fluxo de Valor combinado com a Teoria das Restrições para apoiar a melhoria contínua nas manutenções pesadas de aeronaves. O estudo foi realizado em uma empresa de grande porte no setor aeronáutico, localizada no Brasil. Para isso, foram realizados a definição da família de produtos, o mapeamento do estado atual seguindo a Filosofia Lean, a identificação das restrições e a proposição de soluções de acordo com a TOC. A aplicação desse método identificou uma restrição física e uma gerencial: o processo de reparo e a falta de controle de tempo das tarefas. Este estudo evidenciou que, embora o mapeamento do fluxo de valor tenha sido projetado para ambientes estáveis, ele pode, quando reinterpretado e adaptado adequadamente, contribuir para o entendimento geral do MRO. A utilização da Teoria das Restrições se mostrou crucial para guiar as soluções de forma estratégica e elevar o desempenho geral do sistema. A maior contribuição deste estudo foi demonstrar a viabilidade de uma abordagem híbrida, combinando MFV e TOC, para melhorar o TAT em ambientes de alta variabilidade como o MRO de aeronaves. A aplicação conjunta dessas metodologias não só identificou gargalos e restrições, mas também proporcionou soluções práticas para mitigá-los. Recomenda-se que pesquisas futuras explorem a aplicação dessa abordagem híbrida em outras áreas do MRO e em diferentes contextos industriais, para validar sua eficácia e adaptabilidade. Além disso, a incorporação de tecnologias digitais e de automação no MFV e na TOC pode potencialmente aumentar ainda mais a eficiência e a precisão na identificação e resolução de gargalos e restrições.

Palavras-chave: Manutenção, Reparo e Revisão; Mapeamento do fluxo de Valor; Teoria das Restrições; Aeronáutica.

ABSTRACT

The aircraft Maintenance, Repair, and Overhaul (MRO) sector is characterized by high variability in demand and processes, which directly impacts delivery time, known as Turnaround Time (TAT). In the production context, Value Stream Mapping (VSM) is a widely used tool to improve TAT by identifying and resolving production bottlenecks to ensure a continuous and efficient value flow. Although the Lean methodology and VSM have been adapted to various contexts, the application and effectiveness of these practices in high-variability sectors, such as aircraft MRO, still require further investigation. On the other hand, the Theory of Constraints (TOC) offers an approach focused on increasing flow by identifying and managing systemic constraints, proving to be more suitable for uncertain scenarios typical of MRO. Thus, the central objective of this research was to apply Value Stream Mapping combined with the Theory of Constraints to support continuous improvement in heavy aircraft maintenance. The study was conducted in a large company in the aeronautical sector, located in Brazil. For this, the definition of the product family, the mapping of the current state following Lean Philosophy, the identification of constraints, and the proposition of solutions according to TOC were carried out. The application of this method identified one physical and one managerial constraint: the repair process and the lack of time control of tasks. This study demonstrated that, although Value Stream Mapping was designed for stable environments, it can, when properly reinterpreted and adapted, contribute to the overall understanding of MRO. The use of the Theory of Constraints proved crucial to strategically guiding solutions and improving the overall system performance. The major contribution of this study was demonstrating the feasibility of a hybrid approach, combining VSM and TOC, to improve TAT in high-variability environments such as aircraft MRO. The joint application of these methodologies not only identified bottlenecks and constraints but also provided practical solutions to mitigate them. It is recommended that future research explores the application of this hybrid approach in other MRO areas and different industrial contexts to validate its effectiveness and adaptability. Additionally, incorporating digital and automation technologies into VSM and TOC could potentially further enhance efficiency and accuracy in identifying and resolving bottlenecks and constraints.

Keywords: Maintenance, Repair, and Overhaul; Value Stream Mapping; Theory of Constraints; Aeronautics.

LISTA DE FIGURAS

Figura 1 – 5 Princípios da Filosofia Lean	20
Figura 2 – Casa do Sistema Toyota de Produção	21
Figura 3 – Matriz Família de Produtos	25
Figura 4 – Simbologia do fluxo de materiais	26
Figura 5 – Simbologia do fluxo de informação	28
Figura 6 – Mapeamento do Estado Atual	28
Figura 7 – Exemplo Mapa do Estado Futuro	29
Figura 8 – <i>Loops</i> de Implementação	30
Figura 9 – Exemplo Árvore da Realidade Atual	33
Figura 10 – Fórmula Desvio Padrão	37
Figura 11 – Fórmula Coeficiente de Variação	38
Figura 12 – Gráfico de Caixa	38
Figura 13 – Fórmula Correlação Ponto Bisserial	40
Figura 14 – Exemplo de Diagrama de Causa-Efeito	41
Figura 15 – Estruturação da Condução do Estudo de Caso	45
Figura 16 – Cadência dos pacotes de manutenção	47
Figura 17 – Etapas da metodologia	48
Figura 18 – Família de Produtos análise entre fases	54
Figura 19 – Família de Produtos análise de Lead Time	54
Figura 20 – Demanda vs Atrasos	55
Figura 21 – Variabilidade no Recebimento	58
Figura 22 – Variabilidade nas Inspeções	58
Figura 23 – Variabilidade na Pré-Entrega	59
Figura 24 – Mapeamento do Fluxo de Valor do MRO	60
Figura 25 – Macroprocesso de Inspeção	62
Figura 26 – Diagrama de Ishikawa do Alto Tempo de Execução	62
Figura 27 – Registro de Paradas nas amostras que extrapolaram o <i>buffer</i> proporcional	64
Figura 28 – Gráfico amostragem de tempo	65
Figura 29 – Tabela amostragem de tempo	65
Figura 30 – Árvore da Realidade Atual	67

LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

ABEPRO	Associação Brasileira de Engenharia de Produção
AMM	<i>Aircraft Maintenance Manual</i>
CEP	Controle Estatístico de Processo
CRT	<i>Current Reality Tree</i>
CV	Coeficiente de Variância
DBR	<i>Drum-Buffer-Rope</i>
FIFO	<i>First in First out</i>
MFV	Mapeamento do Fluxo de Valor
MRO	<i>Maintenance Repair and Overhaul</i>
MTO	<i>Make to Order</i>
STP	Sistema Toyota de Produção
TAT	<i>Turnaround Time</i>
TOC	Teoria das Restrições
WIP	<i>Work in Progress</i>

SUMÁRIO

1	INTRODUÇÃO	11
1.1	CONTEXTUALIZAÇÃO DA PESQUISA	11
1.2	OBJETIVOS	12
1.3	JUSTIFICATIVA	13
1.4	DELIMITAÇÕES DO ESTUDO	14
1.5	ESTRUTURA DA PESQUISA	14
2	FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA	16
2.1	MANUTENÇÃO, REPARO E REVISÃO DE AERONAVES	16
2.2	A FILOSOFIA LEAN	18
2.3	MAPEAMENTO DO FLUXO DE VALOR	23
2.4	TEORIA DAS RESTRIÇÕES	30
2.5	RELAÇÃO ENTRE LEAN E TOC	34
2.6	MÉTODOS DE ANÁLISE	37
2.6.1	Análises Estatísticas	37
2.6.2	Diagrama de Causa-Efeito	40
2.6.3	Técnica de Amostragem de Trabalho	42
3	METODOLOGIA	44
3.1	CLASSIFICAÇÃO DA PESQUISA	44
3.2	PROCEDIMENTO DA PESQUISA	45
3.3	AMBIENTE DE ESTUDO	46
3.4	IMPLEMENTAÇÃO DA METODOLOGIA	48
3.4.1	Família de Produtos	48
3.4.2	Mapeamento do Fluxo de Valor	49
3.4.3	Identificação das Restrições	50
3.4.4	Gerenciamento das Restrições	52
4	RESULTADOS	53
4.1	DEFINIÇÃO DA FAMÍLIA DE PRODUTOS	53
4.2	MAPEAMENTO DO ESTADO ATUAL	55
4.3	IDENTIFICAÇÃO DAS RESTRIÇÕES	61
4.3.1	Definição do Problema	61
4.3.2	Análise dos Matéria-Prima	62
4.3.3	Análise das Máquinas	63
4.3.4	Análise Mão-de-Obra	64
4.3.5	Análise Método	65
4.3.6	Análise Comunicação	66
4.3.7	Árvore da Realidade Atual	66
4.4	GERENCIAMENTO DAS RESTRIÇÕES DO SISTEMA	67

5	CONSIDERAÇÕES FINAIS	71
5.1	ATINGIMENTO DOS OBJETIVOS DE PESQUISA	71
5.2	LIMITAÇÕES DO TRABALHO E RECOMENDAÇÕES	72
6	REFERÊNCIAS	74
	APÊNDICE A – ENTREVISTAS SEMIESTRUTURADA	79
A.1	ROTEIRO DA ENTREVISTA COM COMERCIAL	79
A.2	ROTEIRO DA ENTREVISTA COM PLANEJAMENTO	79
A.3	ROTEIRO DA ENTREVISTA DE ANÁLISE DE CAUSA	80

1 INTRODUÇÃO

Neste capítulo é realizada uma contextualização do tema abordado no trabalho, além de expor a problemática de pesquisa. Também são apresentados o objetivo geral e os específicos, assim como justificativa e a estrutura da do estudo.

1.1 CONTEXTUALIZAÇÃO DA PESQUISA

Nas últimas décadas, o mercado da aviação vem expandindo devido a fatores como o crescimento da renda per capita, turismo e *e-commerce*, os quais impulsionam a demanda por transporte aéreo de carga e passageiros (Smith Jr, 2002; Vhalpern; Graham, 2018). Para garantir os estritos requisitos de segurança de voo e viabilizar a maximização da longevidade das aeronaves, é obrigatório o cumprimento das rotinas periódicas de Manutenção Reparo e Revisão, do inglês *Maintenance Repair and Overhaul* (MRO). Nesse contexto de crescente demanda, onde as companhias aéreas sofrem a pressão de um mercado competitivo para cortar seus custos, é um desafio cumprir as rotinas de manutenção. Por outro lado, para as prestadoras de serviço é uma oportunidade de aumentar sua margem de lucro, pois o MRO tende a representar apenas 24% das receitas do setor aeronáutico, enquanto representa 45% dos lucros brutos (KAMAL, 2021; LIANGROKAPART; SITTIWATETHANASIRI, 2022; SRINIVASAN, 2014).

Todos os MROs precisam seguir protocolos de segurança e são auditados para entregar a aeronave sem nenhum defeito, partindo desta premissa, Ayeni (2011) e Srinivasan et al. (2014) apontam como principal indicador de competitividade o tempo de serviço de manutenção, no contexto aeronáutico chamado de *Turnaround Time* TAT. Os dois maiores desafios que impedem as empresas de MRO de serem mais eficientes reduzindo seu tempo de serviço são a variabilidade dos processos, uma vez que os métodos e etapas usados na manutenção de aeronaves variam muito de uma situação para outra, e o alto nível de variação de escopo de trabalho, pois cada componente da aeronave pode estar em um estado diferente de desgaste (SRINIVASAN, 2014). Estes fatores só aumentam ao longo do ciclo de vida do produto (RAINER, 2012).

A busca pela eficiência operacional está intrinsecamente conectada ao conceito de eliminação de desperdícios do Sistema Toyota de Produção (STP). Essa abordagem foi estabelecida por Taichii Ohno em 1978 visando a maximização da produtividade e redução custos, a qual foi posteriormente formalizada como pensamento enxuto ou Filosofia Lean. A filosofia destaca a importância da definição clara de valor, preconiza a realização de atividades de forma sequencial para gerar esse valor, a adaptação ágil às demandas do mercado e o aprimoramento contínuo da eficiência de forma progressiva (WOMACK; JONES, 1997).

A ferramenta do Lean que está ligada a redução do tempo de serviço, ou *Lead*

Time no contexto da manufatura, é o Mapeamento do Fluxo de Valor (MFV). Essa ferramenta analisa o fluxo de materiais e informações, abrangido desde o recebimento do pedido até a entrega do produto final ao cliente, proporcionando a identificação de gargalos e desperdícios, assim direcionando a implementação de melhorias significativas para os processos (SHOOK; ROTHER, 2003). A literatura sobre o Mapeamento do fluxo de valor foi originalmente desenvolvida para aplicação na manufatura (SHOOK; ROTHER, 2003) e de acordo com Rainer et al. (2012), o MRO tem diversas semelhanças com a manufatura, contudo a grande diferença entre as duas realidades é a grande variabilidade e incerteza inerente ao serviço de manutenção. Em virtude disso, deve-se realizar adaptações na metodologia do MFV visando resultados concretos provindos da sua aplicação no setor do MRO aeronáutico (ÖZTÜRK, 2017).

Srinivasan et al (2014) aponta a conexão direta: para aumentar o lucro é necessário reduzir o TAT e para esta redução do TAT é crucial buscar eficiência. Nesse contexto, autor propõe de forma complementar ao Lean, a adoção da Teoria das Restrições (TOC), filosofia de gestão que identifica e melhora o fator limitante de um sistema para otimizar seu desempenho global. Desta forma, surge a seguinte pergunta de pesquisa: Como o mapeamento do Fluxo de Valor pode ser complementado pela Teoria das Restrições para guiar a melhoria no ambiente de manutenção de aeronaves?

1.2 OBJETIVOS

Nesse tópico, são apresentados o objetivo geral e os objetivos específicos relacionados ao problema de pesquisa desta monografia.

1.2.1 Objetivo Geral

De acordo com o contexto apresentado, o objetivo geral deste trabalho é aplicar o Mapeamento do Fluxo de Valor combinado com a Teoria das Restrições para apoiar a melhoria contínua nas manutenções pesadas de aeronave.

1.2.2 Objetivos Específicos

O objetivo geral do trabalho foi desdobrado nos seguintes objetivos específicos:

- a) Identificar as especificidades necessárias para adaptar o MFV de forma que este possa ser aplicado para o MRO;
- b) Diagnosticar as principais restrições no processo de manutenção de aeronaves;
- c) Desenvolver propostas de melhorias para eliminar as restrições identificadas, visando otimizar o desempenho do sistema do MRO.

1.3 JUSTIFICATIVA

O pesquisador no momento da realização da pesquisa no ano de 2024 estava realizando um estágio em uma empresa do setor aeronáutico na área de melhoria contínua. Embora a empresa já tenha implementado práticas provenientes da filosofia Lean (como os 5 Sentidos, Gestão Visual, *Poka-Yokes*) e utilize técnicas tradicionais de mapeamento de processos (SIPOC e Fluxogramas em BPMN), a empresa reconhece a necessidade de adotar o Mapeamento do Fluxo de Valor (MFV) para otimizar as operações de manutenção de forma sistêmica.

A motivação da empresa está alinhada com o contexto apontado por Liangro-kapart e Sittiwatethanasiri (2022), que salientam a importância da adoção de práticas para elevar a eficiência operacional em empresas aeronáuticas. Ainda que a implementação do Lean esteja ganhando popularidade no setor da indústria aeroespacial, Ayeni 2011 aponta a falta de literatura disponível sobre a aplicação de princípios Lean no MRO.

O autor Öztürk (2017) utilizou o MFV em uma manutenção de aeronave de linha seguindo a metodologia do livro *Aprendendo a Enxergar* de Shook e Rother (2003). Nenhuma adaptação foi realizada para aplicação levando em conta as diferenças entre a manufatura e o MRO. Frente a esse cenário, o autor concluiu que a complexidade e limitações na manutenção de linha dificultam a identificação de oportunidades de melhoria, tornando muito difícil implementar o MFV padrão sem nenhuma modificação para a manutenção. Mesmo assim o autor avalia seus resultados como oportunos e encoraja novas pesquisas modificando a metodologia original do MFV de acordo com as particularidades do MRO.

Frente as adaptações necessárias, Srinivasan et al. (2014) traz a Teoria das Restrições como uma possível solução, pois diferente do Lean, a TOC apresenta aplicabilidade em ambientes os quais naturalmente possuem alta variabilidade (GOLDRATT, 2008). O MRO sofre com flutuações na demanda e incerteza do escopo de trabalho, que ocorre, porque na maioria das vezes os conteúdos que precisam de reparo e também qual será a sequência de atividades, são descobertos durante a própria inspeção. Ademais, ao contrário do processo geral em manufatura e produção, os processos na operação de manutenção são independentes e não seguem uma ordem de fluxo contínuo. (ÖZTÜRK, 2017)

Portanto, diante do cenário constatado por (AYENI, 2011) a respeito da falta de uma metodologia sólida e sustentável para apoiar a adoção de princípios Lean na indústria de MRO o pesquisador foi encorajado pela empresa a explorar as propostas de Srinivasan et al. (2014) neste estudo de caso como uma contribuição acadêmica.

1.4 DELIMITAÇÕES DO ESTUDO

A pesquisa consiste em um estudo de caso focado apenas na parte de manutenções programadas de aeronaves executivas de uma empresa específica, deixando fora do escopo outros processos como oficinas de reparo de componentes, manutenções não programadas, manutenções fora de base, entre outros serviços. A ênfase do estudo consiste na aplicação da ferramenta, originalmente projetada para ambientes produtivos, Mapeamento do Fluxo de Valor, na Manutenção, Reparo e Revisão de aeronaves e como a Teoria das Restrições pode auxiliar na adaptação metodologia para indústria aeronáutica.

Devido a quantidade de horas necessárias para acompanhar todas as etapas da manutenção de uma aeronave, não foi possível acompanhar presencialmente todos os processos do início ao fim da manutenção. As análises de causas foram restrita aos dados de possível obtenção nas fontes existentes, o que pode não capturar a totalidade de detalhes e profundidade.

A pesquisa é de cunho quantitativo e qualitativo, contudo foi limitada pela falta de registro de dados pela empresa, contando com o apoio qualitativo nestes casos. Ademais, como a empresa não liberou a divulgação dos dados oficiais utilizados no estudo de caso, os valores forem substituídos por aproximações que não alterassem a natureza do procedimento e dos resultados.

O presente trabalho, não envolver a implementação ativa e a realização de mudanças dentro da organização por meio da intervenção direta, este estudo se limita à análise detalhada e à proposição de mudanças. Focando-se na observação, coleta e interpretação de dados relevantes, o trabalho busca compreender profundamente a situação atual da empresa e oferecer recomendações baseadas em suas descobertas. Portanto, a ausência de ações interventivas e a ênfase na elaboração de sugestões fundamentadas sem aplicá-las no ambiente organizacional caracterizam a abordagem deste trabalho. A responsabilidade de implementação de melhorias sugeridas pelo estudo foram distribuídas para respectiva área, o que pode afetar a viabilidade e o tempo necessário para a implementação efetiva das melhorias identificadas. A adoção de práticas ou ferramentas específicas recomendadas pelo estudo pode estar sujeita a restrições internas da organização, como regulamentos específicos do setor, ou limitações de recursos, que podem influenciar a capacidade da organização de implementar integralmente as melhorias sugeridas.

1.5 ESTRUTURA DA PESQUISA

Foi adotada uma abordagem em que a estrutura deste estudo foi dividida em cinco capítulos distintos. O capítulo inicial engloba elementos como Introdução, Contextualização do Tema, Objetivos Gerais e Específicos, Justificativa, Limitações da

Pesquisa e a Estrutura da Pesquisa de maneira detalhada.

No segundo capítulo, encontra-se a Fundamentação Teórica, que abrange descrição das principais referências teóricas das especificidades sobre o MRO na Aviação, da Filosofia *Lean*, adentrando principalmente na sua ferramenta Mapeamento do Fluxo de Valor, e complementando com a Teoria das Restrições e outras ferramentas de análise.

No terceiro capítulo, encontra-se a descrição da Metodologia adotada neste trabalho. Nesse sentido, é apresentado o método empregado e a forma pela qual a pesquisa é caracterizada. Ainda, são delineados os procedimentos relacionados à coleta dos dados, sua organização e interpretação, fornecendo uma visão do processo metodológico adotado.

Seguindo para o quarto capítulo que apresenta os resultados obtidos através da metodologia utilizada, os dados obtidos são discutidos e analisados seu impacto no objetivos da empresa. No quinto capítulo são apresentadas as considerações e conclusões finais, assim como recomendações para trabalhos futuros.

2 FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA

Nesta seção, serão fundamentados, de forma teórica, os tópicos relevantes para a compreensão do trabalho, sendo estes Filosofia Lean, a ferramenta Mapeamento do Fluxo de Valor (MFV), a Teoria das Restrições, métodos de análise e como funciona a operação do Manutenção Reparo e Revisão (MRO) de aeronaves

2.1 MANUTENÇÃO, REPARO E REVISÃO DE AERONAVES

Manutenção pode ser definida como o processo de garantir que um sistema continue a desempenhar suas funções no seu nível original de confiabilidade e segurança (AYENI, 2016). A manutenção preventiva ou programada acontece periodicamente e tem o objetivo de garantir que a aeronave funcione sem falhas inesperadas, enquanto a manutenção não programada é necessária quando um item para de funcionar nos padrões esperados de qualidade. O reparo é a prática dentro da manutenção de corrigir um problema em um sistema para restaurar sua funcionalidade, podendo ser na estrutura ou nos componentes. Enquanto Revisão (Overhaul) é o termo utilizado para se referenciar a prática de manutenção profunda onde a aeronave ou componente desmontado por completo par inspeção (VIEIRA; LOURES, 2016).

Kasava et al (2015) e Korchagina (2022) explicam que a operação de restauração executada pelo MRO abrange uma série de procedimentos essenciais para assegurar a eficiência e segurança das aeronaves, e dependendo da sua complexidade estas podem ser classificadas entre manutenção em linha e manutenção de base. A manutenção de linha é um processo que permite a manutenção de aeronaves sem a necessidade de retirá-las do serviço ativo por tempos extensos. Realizada por mecânicos habilitados, que têm a autoridade para liberar a aeronave com um Certificado de Operações, essa manutenção engloba a identificação e correção de defeitos, troca de peças, manutenção preventiva e inspeções visuais. Também inclui reparos menores e ajustes que não requerem uma grande desmontagem da aeronave. Por outro lado a manutenção de base precisa retirar a aeronave do serviço, quando é atingido uma certa contagem de horas de voo pre estabelecida no calendário a aeronave é para um hangar onde ocorrem verificações programadas, modificações por boletins de serviço, inspeções especiais, pintura e modificações internas, além de atividades que se mostrarem necessárias a partir das inspeções (SRINIVASAN, 2014).

Além dessa caracterização, Atli e Kahraman (2012) e Ayeni et al. (2011), trazem quatro categorias mais aprofundadas para classificação de inspeções MRO: A, B, C e D onde A e B são manutenções em linha, enquanto C e D são manutenções de base ou manutenções pesadas.

- a) A inspeção tipo A é uma manutenção básica que costuma ser finalizada em 12 horas dentro do aeroporto, inclui verificações de fluidos, óleos e compo-

mentes vitais como o trem de pouso, realizada em média após cada 500 horas de voo dependendo do tipo de aeronave.

- b) A inspeção tipo B, realizada trimestralmente ou a cada 2000 horas de voo, pode variar de um a quatro dias, comumente suas atividades são diluídas nas inspeções A.
- c) A inspeção C soma as duas inspeções anteriores e acrescenta avaliações detalhadas nos componentes e também nos sistemas. Ela ocorre em média anualmente e requer ferramental específico e certificações especiais dos técnicos, costuma levar algumas semanas.
- d) A inspeção D, também conhecida como *overhaul*, realizada geralmente a cada cinco anos, envolve uma avaliação estrutural profunda, a aeronave é completamente desmontada e reconstruída, que pode resultar em até dois meses de inatividade para a mesma.

Do ponto de vista do cliente, com base em pesquisas realizadas por Shirinfar et al. (2021), as maiores vantagens competitivas que uma companhia aérea procura na prestação de serviços do MRO são a qualidade e o tempo de serviço, concomitantemente o desafio das prestadoras de serviço é manter o balanço entre estes indicadores e sua eficiência operacional para controle de custo (SRINIVASAN, 2014). Visto que os padrões de qualidade são altos entre todos os concorrentes, Ayeni et al. (2011) destaca a redução do tempo de serviço, representado por *Turnaround Time* (TAT), como a principal entre os indicadores de competitividade. Em relação a eficiência operacional o autor pontua a importância da maximização da utilização da capacidade física de ocupação dos hangares (ambiente onde acontecem as manutenções é chamado de hangar, estrutura fechada semelhante a um grande galpão onde são realizadas e manutenção de aeronaves).

De acordo com Aslan (2022) o Planejamento, equivalente ao Planejamento e Controle da Produção e referido como *Business Process* pelo Erlath (2013), é quem conecta as atividades do MRO e dita o ritmo da operação. A equipe de planejamento é responsável por organizar toda a manutenção, previsões de tempos, entrar em contato com outras áreas para garantir disponibilidade de local, material, equipamento e pessoal, além de replanejar a programação quando ocorrem manutenções não rotineiras.

As características do ambiente MRO trazem grandes desafios para a coordenação da operação, principalmente com o cumprimento dos tempos de execução das tarefas e alocação de recursos de forma eficiente. Srinivasan et al. (2014) e Pelt (2019) explicam que os principais desafios estão conectados a variabilidade na demanda e incerteza do escopo de trabalho. Portanto, no momento que uma aeronave chega no hangar, a equipe do MRO nem sempre sabe precisamente quais as peças e componentes que precisarão de manutenção. Nesse cenário, o planejamento precisa

reprogramar as atividades durante a manutenção, a medida que as inspeções vão sendo realizadas. Esse cenário proporciona o risco de parar a operação, pois cria-se uma competição interna por recursos q como técnicos de manutenção certificados em uma tarefa específica, ferramentas especiais ou materiais e peças.

Frente a necessidade de amenizar as consequências provenientes das incertezas inerentes do MRO, o próximo tópico introduz a Filosofia *Lean*, trazendo conceitos que buscam concentrar esforços para eliminação de atividades que não agregam valor ao cliente, visando elevar a eficiência nas empresas.

2.2 A FILOSOFIA LEAN

No período pós segunda guerra mundial, quando os recursos na nação japonesa eram escassos, Taiichi Ohno trouxe uma inovação significativa para Toyota. Após observar de forma criteriosa diversas indústrias, notavelmente destaca-se sua visita à Ford nos Estados Unidos, onde ele se inspirou para implementar estratégias de produção na Toyota, visando a eficiência operacional. Assim surgiu o Sistema Toyota de Produção, o qual foca em eliminação de desperdícios, a melhoria contínua (*kaizen*) e a rápida adaptação às mudanças nas demandas do mercado. (Ohno, 1988; Womack; Jones, 1996).

Seguindo a definição de Ohno (1997), o Sistema Toyota de Produção é embasado na identificação e eliminação de Muda, termo japonês que engloba os desperdícios que não agregam valor ao produto ou serviço. O objetivo principal é maximizar a agregação de valor ao processo, garantindo que apenas as atividades que efetivamente transformam o produto de acordo com as necessidades do cliente sejam realizadas. Esses desperdícios são classificados, originalmente em sete categorias, conforme descrito por Liker (2006):

- a) Superprodução: Refere-se à produção de itens além da demanda real, ou seja, produzir mais, antes, ou mais rápido do que é requerido pelo processo seguinte. Esta prática estimula todos os demais desperdícios.
- b) Espera: Consiste no período em que os funcionários ficam ociosos, sem trabalho. A espera pode ser identificada quando o operador está aguardando suprimentos atrasados no fluxo de trabalho, supervisionando máquinas automáticas, esperando pelo próximo processo anterior. Essa ociosidade acarreta consequências como a subutilização dos recursos humanos e o desperdício de tempo produtivo.
- c) Transporte: Envolve o deslocamento excessivo de materiais, peças ou produtos acabados dentro do processo produtivo, aumentando os riscos de danos ou perdas, comprometendo a eficiência do fluxo de trabalho resultando em gastos desnecessários de capital, tempo e energia.

- d) Super-processamento: Consiste em realizar etapas de processamento que não agregam valor ao produto final. O valor é percebido pelo ponto de vista do cliente então se o operador está gastando mais esforços usando ferramentas ineficientes, realizando processos redundantes ou até caso um projetista fez um design inadequado que exige etapas de montagem complexas ou componentes adicionais que poderiam ser evitados. Essas etapas adicionais apenas consomem tempo, recursos e aumentam os custos.
- e) Movimento Desnecessário: Refere-se a qualquer movimento inútil realizado pelos funcionários durante o trabalho. Isso inclui atividades como procurar uma ferramenta ou material, pegar ou empilhar peças, deslocar-se entre estações de trabalho ou ajustar a posição de itens repetidamente.
- f) Defeitos: Envolve a produção de peças defeituosas e a necessidade de retrabalho para corrigir problemas de qualidade. Isso ocorre quando um produto não atende às especificações ou expectativas de qualidade, exigindo gasto de tempo e recursos adicionais para corrigir, retrabalhar, descartar ou substituir produtos defeituosos.
- g) Excesso de Estoque: Refere-se ao acúmulo excessivo de matéria-prima, estoque em processo ou produtos acabados, assim resultando em *Lead Times* mais longos, maior risco de obsolescência, e aumento nos custos de armazenagem. Além disso, estoques excessivos podem mascarar problemas subjacentes no processo produtivo, como ineficiências e falhas na qualidade.

Liker (2006) salienta que a Toyota não se limitou à adoção dessas técnicas para incrementar a eficiência operacional, mas também estabeleceu uma filosofia empresarial que enfatiza o desenvolvimento contínuo de seus colaboradores e a resolução de problemas em sua origem. Essa filosofia se concretiza em 14 princípios, agrupados em quatro categorias: Filosofia de Longo Prazo, Processos Adequados Geram Resultados Adequados, Valorização das Pessoas e Parceiros, e Solução Contínua de Problemas para o Aprendizado Organizacional. Tais princípios direcionam o Sistema Toyota de Produção e delineiam a cultura organizacional da empresa, permitindo à Toyota converter a excelência operacional em uma vantagem estratégica, culminando em uma reputação de qualidade e eficiência sem paralelos no âmbito da indústria automobilística.

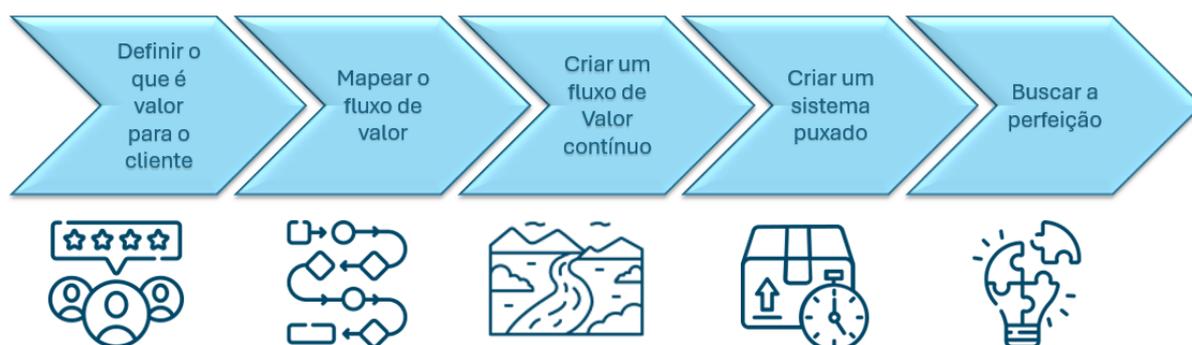
Uma derivação dos 14 princípios propostos pelo sistema Toyota de produção, Womack e Jones em 1996 propõe em seu livro *Lean Thinking*, uma forma de pensar, uma filosofia. O Pensamento Lean segue 5 princípios, dispostos na Figura 1, na seguinte ordem:

- a) Identificar Valor: O ponto crítico inicial do pensamento Lean é o valor, definido exclusivamente pelo cliente final e expresso em termos de um produto

específico que atende às necessidades do cliente a um preço e tempo determinados.

- b) Mapear o Fluxo do Valor: O próximo passo é identificar o fluxo de valor, o qual é o conjunto de todas as ações específicas necessárias para trazer um produto específico (seja um bem, um serviço). O escopo dessa análise abrange as três tarefas críticas de gestão de qualquer negócio: a tarefa de desenhar o design da engenharia e desdobrá-lo para a produção; a tarefa de gerenciamento de informações, que envolve as entrada de recursos e demandas, até o envio da programação da produção; e a tarefa de transformação física, que vai desde matérias-primas até um produto acabado nas mãos do cliente.
- c) Fluxo Contínuo: É a abordagem na produção e gestão de processos onde as atividades criadoras de valor são executadas de forma sequencial e ininterrupta, desde a matéria-prima até o produto acabado, sem esperas ou lotes intermediários. Em vez de agrupar tarefas por departamento e executá-las em lotes, o fluxo contínuo propõe que cada item seja processado individualmente através de todas as etapas necessárias de forma consecutiva.
- d) Sistema Puxado: Um sistema puxado se dá quando a produção é diretamente impulsionada pela demanda real do cliente, em vez de previsões e planejamentos baseados em estimativas. Essa mudança permite que as empresas eliminem as ineficiências do sistema tradicional baseado em lotes e departamentos, no qual os produtos são "empurrados" para o mercado, muitas vezes sem uma correspondência direta com a demanda real.
- e) Buscar a Perfeição: A busca pela perfeição, é um processo contínuo onde a interação das quatro primeiras etapas de pensamento enxuto revela constantemente oportunidades para reduzir esforços, tempo, espaço, custos e erros.

Figura 1 – 5 Princípios da Filosofia Lean

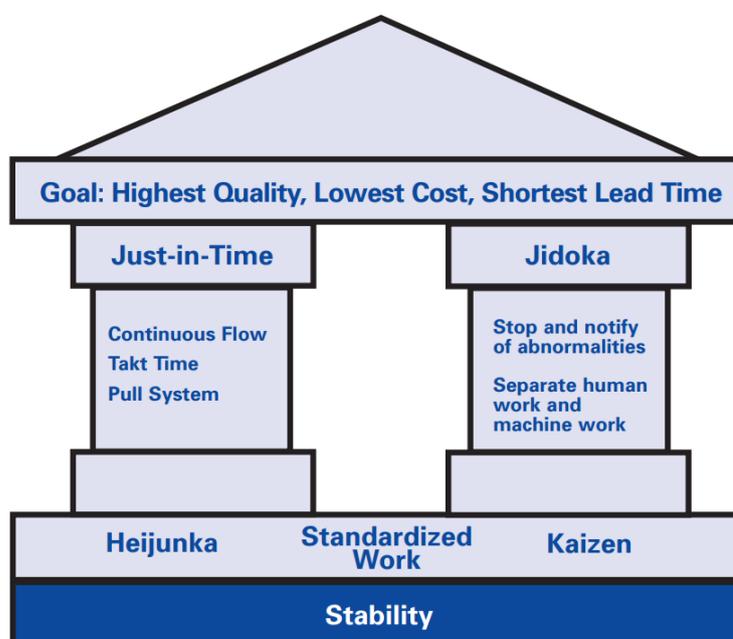


Fonte: Elaborado pelo Autor (2023)

A adoção da mentalidade enxuta transcendeu as fronteiras da indústria automobilística, influenciando diversos setores, como saúde, finanças, construção e serviços. Organizações que implementam essa filosofia buscam não apenas eficiência operacional, mas também um envolvimento maior dos colaboradores no processo de melhoria contínua, fomentando um ambiente de trabalho que valoriza a inovação e o desenvolvimento contínuo (LIKER, 2006). Nesse contexto a Filosofia *Lean* pode também beneficiar o MRO, e, de acordo com Srinivasan et al. (2014), uma das primeiras ferramentas que devem ser aplicadas para enxergar o estado atual e guiar a linha para uma transformação enxuta é o Mapeamento de Fluxo de Valor.

Muitos empresários ficam fascinados nos resultados da Toyota e de empresas que adotaram o pensamento enxuto, e com intuito de obter os mesmos resultados começam a aplicar ferramentas da filosofia Lean de forma isolada. Seguindo este caminho, muitos se frustram com poucos resultados e até mesmo aumento nos custos, pois esquecem que para colher os frutos do *Lean*, a etapa crucial é implementar a cultura como um todo (MANN, 2005). No estudo de Nanova et al. (2012), sobre a aplicação do Lean no MRO, os autores reforçam que para o sucesso da implementação do Lean é necessário comprometimento de todas as áreas, e principalmente da alta liderança, para garantir uma mudança cultura. E aponta que as ferramentas devem ser propriamente adaptadas devido a realidade de incertezas do MRO.

Figura 2 – Casa do Sistema Toyota de Produção



Fonte: Lean Lexicon (2008)

Para auxiliar no entendimento da ordem de implementação da conexão dos conceitos para garantir bons resultados, é possível utilizar como guia o diagrama da Casa

Sistema Toyota de Produção conforme a Figura 2, proposta por Fugiu Cho, discípulo de Ohno (LIKER, 2006). Todos querem o teto, menor custo, mais qualidade, menor lead time, e buscam implementar os pilares sem antes focar em ter uma base sólida, denominada Estabilidade Básica. O termo estabilidade básica se refere a previsibilidade e confiabilidade de que os quatro recursos principais: Mão de Obra, Métodos, Máquinas e Materiais desempenharam como esperado quando o cliente solicitar (DENNIS, 2008).

Máquina, no contexto do processo analisado, refere-se a qualquer equipamento que empregue força mecânica para realizar trabalho, substituindo o trabalho humano pela ação mecânica. Geralmente associada a um engenho que utiliza um motor, uma máquina transforma um tipo de energia em outra, processa recursos e gera resultados. As máquinas potencializam a força humana, aumentando a produtividade. Problemas comuns relacionados às máquinas incluem falhas nos equipamentos, obsolescência, colapsos no processo, mau funcionamento, falta de manutenção preventiva e corretiva, desgaste das peças, custo de funcionamento, superaquecimento e técnica exigida na operação. (SOUZA, 2021)

Matéria-prima, é a substância principal utilizada na fabricação de produtos ou na prestação de serviços. Ela representa todos os materiais e insumos que são utilizados como entrada no processo de produção ou de execução de serviços. A definição de matéria-prima não se limita à natureza primitiva do material, mas também inclui a função desse material no processo, sendo considerada matéria-prima tudo aquilo que serve à operação para gerar produtos ou serviços. A qualidade da matéria-prima é fundamental, sendo que qualquer material utilizado para fabricar algo é considerado matéria-prima, desde que passe por algum tipo de processo que altere seu estado inicial. Exemplos de problemas relacionados à matéria-prima incluem material de baixa qualidade, material fora da validade, falta de conformidade técnica, atraso no suprimento, insegurança no fornecimento, entre outros fatores que impactam diretamente a qualidade e a eficiência dos processos produtivos. (SOUZA, 2021)

Mão-de-obra, refere-se à força de trabalho humana envolvida em um processo produtivo ou na prestação de serviços, incluindo fatores relacionados à motivação, comportamento interpessoal e habilidades técnicas. Este elemento considera tanto os aspectos técnicos, quanto os aspectos subjetivos, como a motivação dos trabalhadores. A mão-de-obra abrange tanto os trabalhadores especializados, que atuam diretamente nos processos, produtos e serviços, quanto aqueles envolvidos em atividades administrativas, que atuam de forma indireta nos três níveis organizacionais: operacional, gerencial e estratégico. Exemplos de causas de problemas relacionados à mão-de-obra incluem procedimentos inadequados, falta de qualificação técnica, desmotivação da equipe, conflitos internos e desprezo por normas de segurança e procedimentos operacionais. (SOUZA, 2021)

De acordo com Dennis (2008), o Método, diferente dos outros recursos, trabalha junto aos 3Ms, referindo-se ao conjunto de práticas, procedimentos e modos de operação utilizados para executar uma tarefa ou processo, aplicável tanto na operação como nas áreas administrativas. A ferramenta que materializa o método é o trabalho padronizado, comumente encontrado na forma de fluxogramas ou cartilhas de trabalho, estes auxiliam na definição do método e possibilita sua melhoria.

Os pilares da casa do STP são o *Jidoka*, que significa automação com um toque humano e *Just-in-Time*, o sistema de produção que fabrica no tempo correto apenas o que é necessário. Para obter uma visão holística da produção visando melhorar a linha como um todo, e viabilizar o Just-in-Time, a ferramenta recomendada se chama Mapeamento do Fluxo de Valor (NARUSAWA; SHOOK, 2016)

2.3 MAPEAMENTO DO FLUXO DE VALOR

De acordo com o autor do livro Value Stream Design (2013), Klaus Erlach, retomando o primeiro princípio da Filosofia Lean, o valor dos bens é determinado por critérios de avaliação de acordo com a perspectiva do cliente. Durante o processo produtivo, os materiais passam por uma sequência de transformações e assim o valor é adicionado aos produtos, tornando-os bens. O conceito de "fluxo" vem do Japão fazendo referência a água de rio descendo a montanha, como um modelo para produção, que não deveria sofrer paradas entre os processos. A utilização dos benefícios do fluxo começaram com Henry Ford e sua esteira em 1910, porém a Toyota conseguiu adaptá-lo para o contexto de produção em pequenos lotes, possibilitando a oferta de uma diversidade de produtos ao mercado (LOCHER, 2008).

O segundo princípio da Filosofia Lean, mapear o fluxo do valor, busca compreender onde ocorre de fato o movimento do material fluindo continuamente de estação de trabalho para a estação subsequente, sem interrupções, e quando o processo produtivo estagna, gerando um represamento ou acúmulo de materiais e resultando em um maior tempo de atravessamento do produto. Para efetivamente enxergar o fluxo e entender quais pontos precisam ser melhorados utiliza-se a ferramenta chamada Mapeamento do Fluxo de Valor (ERLACH, 2013; SRINIVASAN, 2014).

Para mapear o fluxo de valor, a ferramenta mais utilizada chama-se Mapeamento do Fluxo de Valor. Essa técnica desenvolvida por Shook e Rother (2003) envolve a identificação e visualização de todas as ações necessárias para entregar o produto final, desde a demanda do consumidor, aquisição da matéria-prima, abrangendo o fluxo de produção e o projeto do produto. Tal metodologia é proveniente do Sistema Toyota de Produção e tem o intuito de identificar pontos na linha de produção que estão impedindo que o valor flua de forma contínua. O mapeamento engloba tanto o fluxo de materiais, mas também o fluxo de informações destacando a interconexão entre diferentes segmentos da produção para uma operacionalização mais integrada

e eficaz (ERLACH, 2013).

Erlach (2013) define o fluxo de materiais como o conector entre os processos de produção, consistindo em três componentes principais: transporte, manuseio e armazenamento. Já o Fluxo de informação por sua vez, é definido como a transmissão de dados e documentos entre os processos administrativos e processos produtivos, englobando as tarefas relacionadas ao processamento de pedidos, como o registro, compilação, processamento, armazenamento e distribuição de dados e instruções necessárias. O autor ainda sugere enxergar o processamento de pedidos como o oitavo desperdício do Lean. O resultado dessa representação é uma visualização completa, transparente e organizada do fluxo de valor, proporcionando a análise de todos dos processos de forma conjunta e não de recursos isolados, assim possibilitando visualizar gargalos que acabam impedindo a fluidez do valor no processo produtivo.

De acordo com Shook e Rother (2003), a aplicação do Mapeamento do Fluxo de Valor pode ser dividida em 4 etapas: Definição de Família de Produtos, Desenho do estado atual, Desenho do estado futuro, e traçar um plano de trabalho e implementação.

Para viabilizar o mapeamento do fluxo de valor, é recomendado iniciar agrupando produtos que tenham características similares em famílias de produtos (ERLACH, 2013; SHOORK; ROTHER, 2003). Pois tentar representar todos os produtos que existem na fábrica em um só mapeamento, caso tenham características distintas como diferentes processos de transformação e/ou tempo de produção, então eles tem fluxos de valores diferentes, e acaba sendo inviável extrair resultados úteis para as análises futuras. Uma técnica para realizar o agrupamento da família de produtos proposta por Duggan (2018) em seu livro voltado para aplicação do MFV em produções de baixo volume e alta variedade no mix de produtos, é a Matriz 80/30, uma ferramenta que auxilia na análise de comparação dos produtos com base em duas características: qual a similaridade entre os processos, como mostra a Figura 3, e o seu tempo total de entre os produtos. Aqueles produtos que passam por no mínimo 80% dos mesmos processos são potenciais membros da mesma família, e em sequencia refina-se o agrupamento acrescentando o critério onde o *Lead Time* dos produtos devem ter no máximo 30% de diferença.

Para tomar a decisão de qual família deve ser mapeada, Shook e Rother (2003) aconselham adotar a ótica do cliente analisado os produtos mais prioritários. Isso corrobora com a proposta de Erlach (2013) e Nash e Poling (2008) de acrescentar uma subetapa pré-mapeamento, a análise da demanda. Conhecer as necessidades e exigências do cliente é essencial, pois influencia em todos os processos. Esta análise pode ser feita de forma mais superficial, apenas buscando o número absoluto da quantidade de pedidos ou de forma mais rica, buscando características como: quem são os clientes, com que frequência o cliente faz pedidos, com que frequência o cliente

Figura 3 – Matriz Família de Produtos

		Etapas de Montagem & Equipamentos							
		1	2	3	4	5	6	7	8
PRODUTOS	A	X	X	X		X	X		
	B	X	X	X	X	X	X		
	C	X	X	X		X	X	X	
	D		X	X	X			X	X
	E		X	X	X			X	X
	F	X		X		X	X	X	
	G	X		X		X	X	X	

Uma Família de Produtos

Fonte: Aprendendo a Exergar (2003)

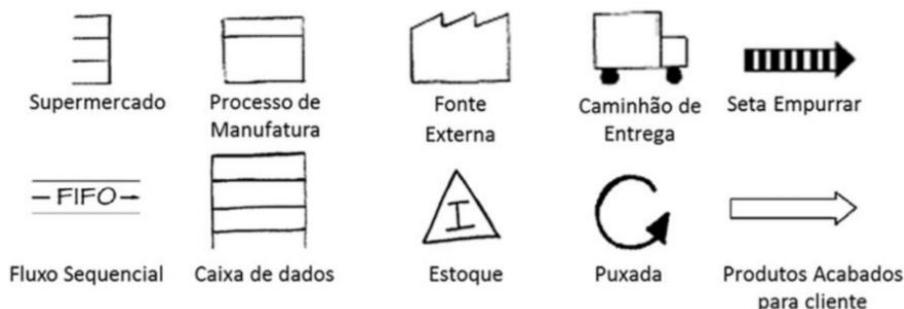
solicita o produto, entre outros que fizerem sentido. Erlach (2013) reforça que o tempo de entrega a ser cumprido é crucial no contexto de produções puxada, pois os prazos somados com a faixa de tolerância do cliente possibilitam obter o indicador chave para competitividade de mercado: de confiabilidade de entrega. Para complementar a análise da demanda no processo de priorização da família de produtos, é útil considerar os objetivos estratégicos da empresa e indicadores como: clientes com mais reclamações, produto com mais dificuldade para os operadores ou o maior retorno sobre investimento. Ao final desta etapa, adiciona-se à direita do mapa as informações coletadas.

O MFV permite mapear o fluxo de valor em diferentes níveis, portanto, antes de iniciar o desenho do estado atual define-se de qual vai ser o escopo do mapeamento, se a análise ocorrerá no nível micro, dentro de um processo, no nível porta-a-porta de uma fábrica, ou mais amplo, juntando diversas plantas ou até múltiplas empresas. No nível micro, o foco está em detalhes específicos de um processo individual, permitindo identificar ineficiências, tempos de ciclo e gargalos. Já no nível porta-a-porta, a análise cobre todos os processo de produção dentro de uma única fábrica, desde a entrada das matérias-primas até a saída do produto acabado, visando detectar desperdícios entre departamentos e melhorar a coordenação interna. Em uma abordagem mais ampla, que envolve diversas plantas ou múltiplas empresas, o objetivo é otimizar a cadeia de valor completa, melhorando a colaboração entre diferentes entidades e alinhando estratégias para maximizar a eficiência e a qualidade ao longo de toda a cadeia de suprimentos. Dentre estas opções Shook e Rother (2003) aconselham começar pelo mapeamento porta-a-porta, enquanto Nash e Poling (2008) sugerem que a decisão deve ser tomada dependendo dos problemas e demandas da empresa.

Um dos principais objetivos do MFV é que que o desenho permita que todos

possam compreendê-lo, como uma ferramenta de comunicação. O termo "mapeamento" traz a ideia de visualizar através de uma forma padrão, então é necessário a utilização de uma linguagem comum de documentação e exposição dos dados coletados. Assim facilitando a etapa de análise e conseqüentemente a tomada de decisão (NASS; POLING, 2008; ERLACH, 2013). A simbologia padrão é apresentada na Figura 4.

Figura 4 – Simbologia do fluxo de materiais



Fonte: Aprendendo a Exergar (2003)

Deve-se iniciar o processo de mapeamento pelo fluxo de materiais enquanto caminha no Genba (chão de fábrica) com papel e lápis na mão para possibilitar alterações de forma fácil. Como o mais importante é o valor do ponto de vista do cliente, o primeiro processo a ser mapeado é o último, aquele diretamente ligados ao consumidor, dando seqüência em direção ao processo inicial enquanto se desenha as caixas de processo de acordo com a simbologia padrão (DUGGAN, 2018; NASS; POLING 2008). Após mapear os processos, deve-se realizar uma segunda passagem pela linha, dessa vez com intuito de registrar como o material flui de um processo para o outro, coletar os dados essenciais, conversar com os operadores para entender cada processo e detectar possíveis desperdícios. Cada processo produtivo tem suas particularidades que devem ser observadas, porém os principais indicadores que os autores Shook e Rother (2003) e Erlach (2013) consideram importantes que possibilitam as tomadas de decisão para futuras melhorias são:

- a) Tempo de ciclo (TC): Refere-se ao tempo necessário para completar processo resultar em uma unidade de produto, ou seja, o tempo que leva desde o início até o término de uma tarefa dividido pelo número de produtos obtidos no final da tarefa. O tempo de ciclo é utilizado para calcular a capacidade produtiva de um processo.
- b) Tempo de operação (OT): É o período durante o qual um operador está ativamente envolvido no processo de produção. Este tempo não apenas inclui a operação direta da máquina ou a execução manual de tarefas pelo operador, mas também pode incorporar tempos de espera associados.

- c) Tempo de processamento (PT): O tempo que uma máquina, operador ou célula de trabalho leva para completar um processo específico.
- d) Lead Time (LT): O tempo total desde o pedido do cliente até a entrega do produto final. Inclui todos os processos como produção, montagem, e transporte.
- e) Tempo de Troca (TR): Também conhecido como tempo de setup, é o tempo necessário para preparar uma máquina ou processo para a próxima produção. Isso pode envolver a troca de ferramentas, ajustes de máquinas, e limpeza.
- f) Disponibilidade da Máquina: Uma métrica de desempenho que indica o percentual de tempo que uma máquina está disponível para produção, em relação ao tempo total disponível
- g) Tamanho dos Lotes de Produção (TPT): Refere-se ao número de unidades produzidas em um lote sem mudança de configuração de máquina.
- h) Número de Operadores no processo: Indica quantas pessoas são necessárias para operar um processo específico.
- i) Tempo disponível de trabalho: É o tempo total durante o qual a produção pode ser realizada, geralmente definido pelas horas de trabalho conforme os turnos estabelecidos na fábrica.
- j) Taxa de Refugo: Percentual de produtos que são rejeitados ou que não atendem aos padrões de qualidade durante o processo de produção.

Para que o fluxo de materiais seja eficiente, ele depende do fluxo de informações. Erlach (2013) enfatiza esta relação entre os dois, pois o fluxo de informações dita a produção, então apenas com uma boa gestão do fluxo de informações é possível que o fluxo de materiais ocorra de forma eficiente entre os processos. Nesse contexto, a segunda etapa do mapeamento do estado atual é mapear o fluxo de informações, buscando compreender como ocorre a entrada, o armazenamento (digital) e o processamento dos pedidos. O fluxo de informações organiza as tarefas relacionadas ao processamento de pedidos, como o registro, compilação, processamento, armazenamento e distribuição de dados e instruções necessárias para o planejamento e controle da produção. Sua simbologia deve seguir conforme a Figura 5.

Outras conteúdos úteis para complementar o mapeamento que devem ser coletadas são: modo de transporte, particularidades de embalagem, entre outros requerimentos (ERLACH, 2013) e dados dos fornecedores, dados de trabalho do fluxo de valor e dados do controle do fluxo de valor (NASH; POLING, 2008). Juntando os fluxos em um mapeamento, este fica visualmente como na Figura 6.

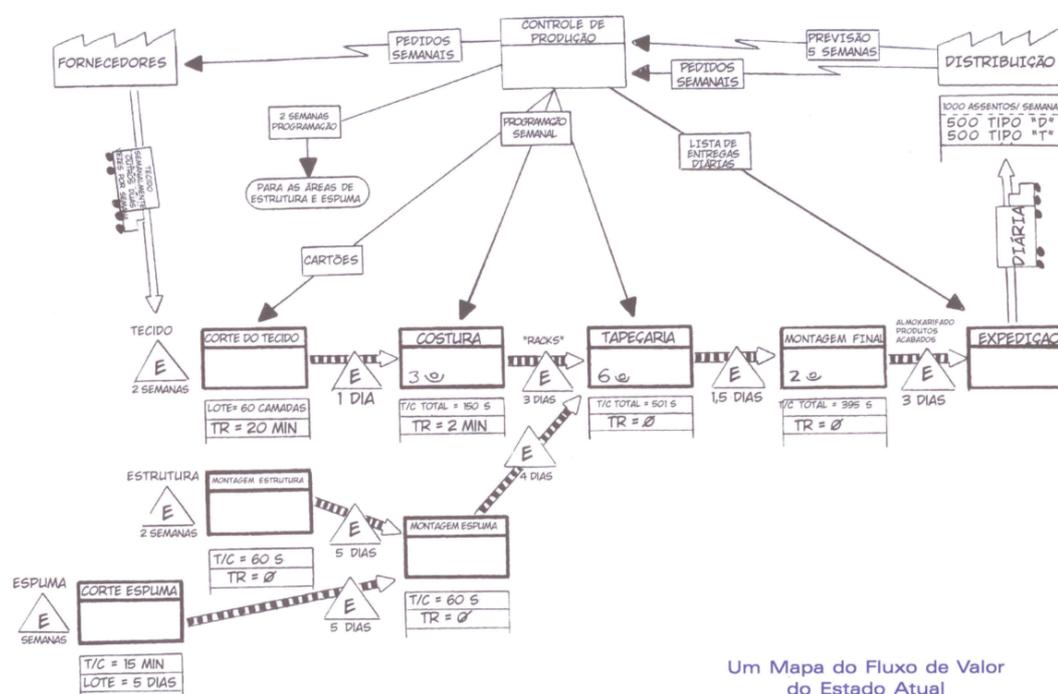
Rother e Shook (2003) apontam o terceiro passo como o desenho do Mapa do Estado Futuro, esta é uma versão do mapa do estado atual melhorada com ajuda

Figura 5 – Simbologia do fluxo de informação



Aprendendo a Enxergar (2003)

Figura 6 – Mapeamento do Estado Atual



Um Mapa do Fluxo de Valor do Estado Atual

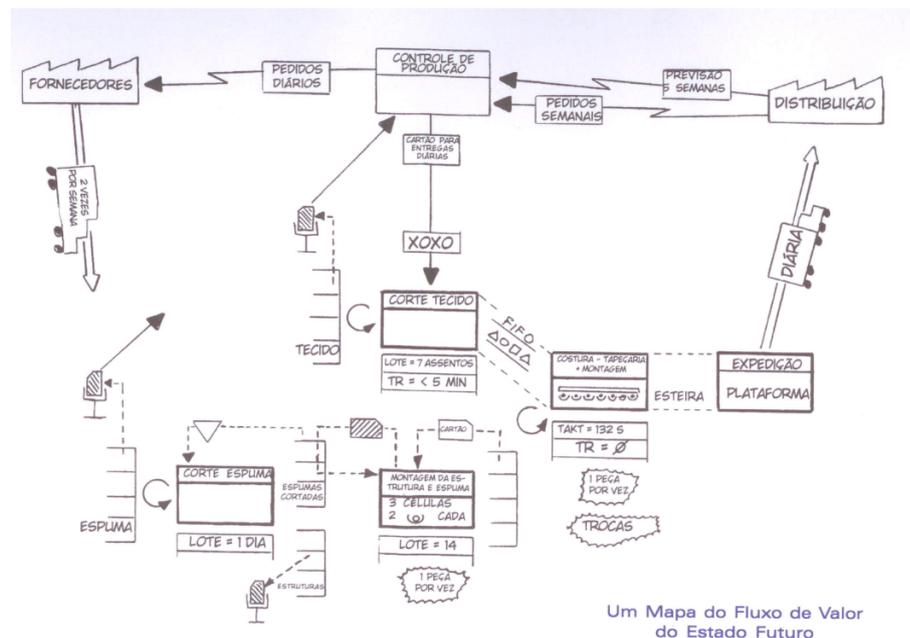
Aprendendo a Enxergar (2003)

dos princípios do Pensamento Enxuto, assim como pode se observar na Figura 7. Os autores instruem que deve-se instaurar o fluxo contínuo onde possível e o sistema puxado onde necessário. Para isso o processo produtivo é analisado integralmente com a ótica da filosofia enxuta, buscando identificar os 7 desperdícios. Os autores sugerem que esta etapa seja guiada pelas seguintes questões básicas:

- Defina o Takt Time da família de produtos priorizada;
- Análise de o produto deve ser produzido diretamente para a expedição ou para um supermercado de produtos acabados;
- Encontre as oportunidades de implementar fluxos contínuos;
- Defina os locais onde serão necessários introduzir o sistema puxado e supermercados

- e) Defina o processo puxador, o qual deve ditar o ritmo da produção e transmitir a informação para os demais processos.
- f) Analise o Mix da produção;
- g) Defina o Pitch da produção;
- h) Traçar as melhorias de processo necessárias para o fluxo de valor ocorrer da forma idealizada

Figura 7 – Exemplo Mapa do Estado Futuro

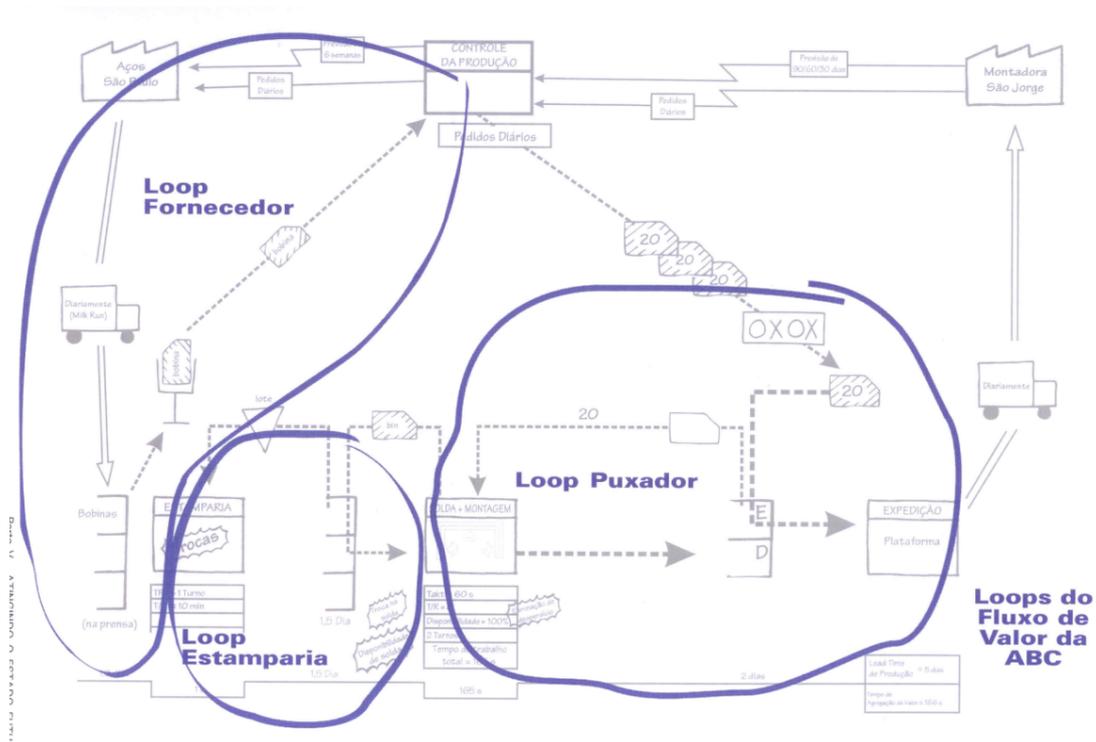


Fonte: Aprendendo a Enxergar (2003)

O último passo da ferramenta é definir a melhor forma de organizar a divisão dos planos de ação, Rother e Shook (2003) sugerem a divisão em "loops do fluxo de valor". Um loop do fluxo de valor começa no ponto onde um processo subsequente puxa uma demanda específica e termina onde essa demanda é satisfeita, entregando o material ou informação ao próximo estágio. Para identificar loops, como no Figura 8, observe os supermercados no fluxo de valor, pois eles indicam o fim de um loop e o início do próximo, atuando como pontos de puxada para os processos subsequentes.

Rother e Shook (2003) desenvolveram este passo-a-passo para guiar a produção em direção à transformação enxuta. Srinivasan et. al (2014) reconhece que no contexto do MRO, o mapeamento de fluxo de valor do estado atual é útil para fornecer o conhecimento necessário que possibilita o direcionamento dos esforços de melhoria, contudo para melhorar o fluxo de forma que impacte significativamente a redução o *Turnaround Time*, é necessário focar nas restrições do sistema.

Figura 8 – Loops de Implementação



Fonte: Aprendendo a Enxergar (2003)

2.4 TEORIA DAS RESTRIÇÕES

A Filosofia *Lean* parte do pressuposto que deve-se proporcionar um ambiente estável para implementar os seus conceitos. Nichos de mercado que tem muita variação, como alta variação no *mix* de produtos, no volume da demanda afetando a carga de trabalho e nos recursos necessários, podem ser beneficiados por algumas ferramentas do *Lean*, contudo não terão o resultado de empresas com ambientes estáveis (GOLDRATT, 2008; SRINIVASAN, 2014; PACHECO, 2018).

A Teoria das Restrições (TOC) foi originada a partir das filosofias de gerenciamento propostas por Goldratt (1984) em seu livro *A Meta*. Diferente do *Lean* que busca na redução dos custos fixos e variáveis a TOC também olha para o custo, mas o seu foco de aumentar a taxa de faturamento, melhorando o desempenho geral do sistema através do gerenciamento das restrições (GOLDRATT, 2008; SIMSIT, 2014; PACHECO, 2018). De acordo com e Rahman (1998) e McCleskey (2020), as ideias da filosofia se concentram em função de dois tópicos principais:

- O primeiro fato é que todo sistema tem no mínimo uma restrição, considerando restrição como qualquer fator que limite a performance do sistema frente ao seu objetivo, caso contrário teria um lucro infinito.
- E o segundo é a forma de encarar as restrições, estas devem ser consideradas positivas, pois elas direcionam onde alocar esforços de melhoria, uma

vez que elevando o desempenho da restrição resulta na melhora do sistema como um todo.

Goldrath (1990) explica que existe uma leve diferença entre o conceito de restrição e gargalo, que por sua vez é definido como o recurso o qual sua capacidade é menor do que a demanda. Podem haver restrições afetando processos, dando a entender que uma atividade é o gargalo, porém eliminando a restrição, a atividade aumenta sua capacidade e deixa de ser um gargalo. O autor reforça que um sistema tem poucas restrições reais e é crucial conseguir distinguir o que são as restrições de verdade e devem ser priorizadas. Srinivasan et al. (2014) e McCleskey (2020) complementam que ao proporcionar melhorias sem o foco nas restrições, possivelmente trará mudanças que desperdiçam recursos e podem até mesmo comprometer a estabilidade do sistema.

De acordo com Rahman (1998) a implementação da Teoria da Restrições centraliza-se em 2 metodologias principais: Cinco Passos de Foco para Melhoria Contínua e a Programação através do *Drum-Buffer-Rope*. Os Cinco Passos de Foco propostos por Goldratt, são: Identificar as Restrições, Explorar as Restrições, Subordinar Todo o Resto à Restrição, Elevar a Restrição e Voltar ao Primeiro Passo.

O primeiro passo é Identificar as restrições do sistema, as quais podem se de natureza física, de mercado ou de gerencial. As restrições físicas englobam a capacidade limitada de maquinário, escassez de material, insuficiência de mão de obra, etc. A restrição de mercado, caso a demanda esteja abaixo da capacidade produtiva ou restrições natureza gerencial, quando a organização cria políticas ineficientes (RAHMAN, 1998).

De acordo com Srinivasan et al. (2014), as restrições gerenciais são mais comuns e podem impactar os recursos, dando a impressão de que a restrição do sistema é de natureza física. As três principais restrições gerenciais são as restrições de métodos, quando há limitação gerada pelos procedimentos operacionais da organização, determinando de forma inadequada como atividades devem ser realizadas. Estas restrições podem envolver a utilização de técnicas, procedimentos, cronogramas ou ferramentas específicos, independentemente das condições ou demandas reais. A imposição dessas restrições pode levar a ineficiências, como alocação inadequada de recursos, atrasos na produção e a realização de atividades que não agregam valor direto ao produto ou serviço final. Outra restrição gerencial é de medidas, quando o sistema de indicadores conduz a empresas a comportamentos que não estão alinhados com a visão. Também considerada uma restrição gerencial, ocorre quando a mentalidade ou a cultura organizacional impedem o desenvolvimento e a implementação de melhorias para alcançar os objetivos da organização.

O segundo Passo de Foco é decidir como explorar as restrições do sistema. Ao identificar as restrições deve-se decidir entre explorá-la ou eliminá-la. Se a restrição for

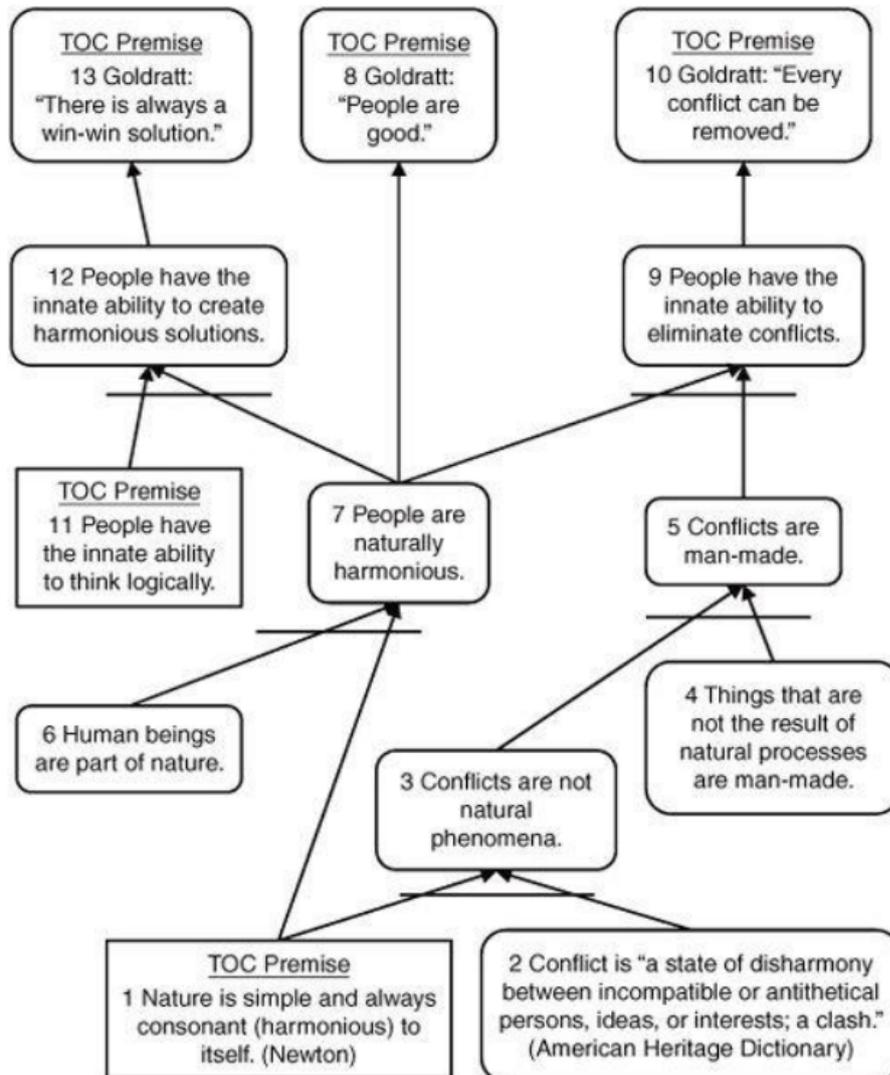
física, o foco deve ser na otimização de sua eficiência, de forma que a mesma nunca fique esperando por peças ou precise ser retrabalhada. Já as restrições gerenciais, por representarem gargalos artificiais, não devem ser exploradas, mas sim eliminadas e substituídas por políticas que promovam o aumento do fluxo total do sistema. Se a restrição for o mercado, deve-se concentrar esforços em converter cada possível venda, e garantir a fidelização dos clientes atuais. O terceiro passo consiste em subordinar todo o resto a restrição, especificamente, alinhar todos os demais componentes do sistema (não restrições) em torno da restrição dominante. Isto pode ser feito através do ajuste de recursos, processos e fluxos de trabalho em função da otimização do desempenho da restrição, conseqüentemente visando maximizar o fluxo do sistema. (RAHMAN, 1998)

De acordo com Cox e Schleier (2010) os próximos passos são para longo prazo, pois o quarto Passo de Foco ocorre quando as restrições existentes já estão otimizadas e objetivo é elevar ainda mais o desempenho do sistema. Elevar as restrições do sistema pode ser feito através de melhorias contínuas nas restrições, como investimentos em tecnologia, otimização de processos ou treinamento de pessoal. A TOC propõe um ciclo contínuo de aprimoramento, buscando sempre superar os limites atuais e alcançar novos patamares de performance. O quinto passos traz a importância de caso em qualquer um dos passos anteriores uma restrição for quebrada, volte ao passo 1, pois a TOC reconhece a natureza dinâmica do ambiente de negócios. É crucial que a organização esteja preparada para visitar os cinco pilares periodicamente. Se uma restrição for superada, o processo se reinicia, identificando a nova restrição crítica e aplicando os princípios da TOC para otimizá-la. (RAHMAN, 1998)

A técnica para encontrar as restrições recomendada por Goldratt (1984) é chamada de Efeito-Causa-Efeito, uma abordagem composta pela análise sequencial dos eventos e derivações lógicas, de forma onde se examina como um efeito é resultado de uma causa. Mabin e Davies (2010) apresentam a ferramenta para guiar esta prática chamada *Current Reality Tree* (CRT), *Árvore da Realidade Atual*, mecanismo baseado na lógica de suficiência para identificar e descrever relações de causa-efeito que podem ajudar a determinar problemas centrais que causam os efeitos indesejáveis do sistema. Sua aplicação parte do indicador estratégico central, observa-se quais problemas do estado atual geram efeitos negativos na meta, busca-se as causas raízes e como estas se conectam, assim possibilitando a priorização assertiva das restrições (TULASI; RAO, 2012). Na Figura 9, Scheinkopf (2010), utiliza as relações lógicas de causa-efeito das premissas do TOC para exemplificar o uso da ferramenta.

Após a identificação dos recursos que restringem o sistema, Goldratt (1990) sugere do modelo de gestão chamado programação *Drum-Buffer-Rope* (DBR), ou em português Tambor-Pulmão-Corda, metodologia que guia a resolução dos três primeiros Passos de Foco:

Figura 9 – Exemplo Árvore da Realidade Atual



Fonte: Thinking Processes Including ST Trees (2010)

A abordagem do "tambor" traz a analogia de define o ritmo da operação de todo o sistema. Através da combinação das restrições encontradas no primeiro Passo de Foco e os pedidos em carteiras com os clientes (utiliza-se os pedidos em carteira em ambientes Make to Order MTO - produzem sobre encomenda), determina-se a taxa de produtividade da restrição. Como o elo mais fraco da cadeia limita a velocidade de todo sistema, esta deve ditar o ritmo de como os outros recursos devem trabalhar. Srikanth (2010) Srinivasan et al. (2014)

Qualquer interrupção, como uma quebra de recurso, afeta o cumprimento dos prazos, contudo no mundo real é uma certeza que as interrupções são inevitáveis. O Pulmão, ou *buffer*, representa o período de tempo extra dedicado para amortecer qualquer variação que possa interferir na eficiência da restrição. A utilização do conceito de "buffer de tempo" envolve a compreensão de que o objetivo do planejamento DBR

não é assegurar que cada tarefa seja concluída pontualmente conforme um cronograma predefinido, mas sim garantir que o fluxo efetivo pelo sistema seja consistente o bastante para atender à demanda do mercado de forma satisfatória. Srikanth (2010)

E a corda é o componente final para garantir uma comunicação eficaz com toda a operação sobre as ações necessárias para apoiar o ritmo definido pelo tambor e garantir o controle adequado dessas ações. O principal desafio é assegurar que todos as áreas de apoio realizem as atividades apropriadas na ordem correta e no momento adequado (SRINIVASAN, 2014).

Com intuito de embasar o entendimento dos dados coletados no mapeamento do estado atual e definir precisamente as restrições do sistema, a análise estatística é um caminho para fornecer a uma visão mais detalhada sobre as características dos eventos observados.

2.5 RELAÇÃO ENTRE LEAN E TOC

O estudo de Pacheco (2014) mostra que *Lean* e TOC compartilham vários objetivos: aumentar lucros, focar no valor definido pelo cliente, garantir qualidade, produzir em lotes menores, manter um fluxo contínuo, aumentar a capacidade, minimizar inventários e valorizar a participação dos trabalhadores. Ambas as abordagens partem de uma visão de sistema aberto, vinculam-se ao paradigma da melhoria contínua, usam o método científico para resolver problemas de produção e aplicam uma lógica dedutiva para desenvolver soluções técnicas específicas. Elas priorizam a sincronização da produção e a melhoria contínua, sendo que a TOC se concentra na análise e elevação das restrições e o *Lean* na eliminação sistemática de perdas. Há uma possibilidade de uso sinérgico de ambas para melhorias efetivas nas empresas, pois ambas criticam a contabilidade de custos tradicional e utilizam um embasamento científico comum, incluindo a lógica de efeito-causa-efeito e o pensamento dialético.

Além disso, Pacheco (2014) identifica convergências entre TOC e *Lean*, destacando o uso de relações de efeito-causa-efeito e pensamento dialético na resolução de problemas. Ambas abordagens percebem o valor pela perspectiva do cliente, enfatizam o fluxo de valor, oferecem técnicas de controle de fluxo e produção puxada, e buscam a perfeição através da melhoria contínua (no passo 5 da TOC e na filosofia kaizen do *Lean*). Mesmo assim, as duas têm direcionamentos distintos para alcançar esses objetivos.

Dettmer (2001) aponta a diferença entre as filosofias de gestão, visto que o pensamento *Lean* foca na redução de custos fixos e variáveis, buscando diminuir esforço, tempo, espaço, custo e erros. A TOC, por outro lado, considera os custos fixos como Despesas Operacionais, necessárias para o funcionamento diário do negócio. Embora seja possível reduzir Despesas Operacionais e Inventário, há um limite prático para essa redução, pois além dele a capacidade da empresa de gerar valor é comprometida.

Os custos não podem ser reduzidos indefinidamente.

Sem um aumento substancial do *Throughput* (normalmente através da expansão das vendas), o desempenho financeiro da manufatura enxuta tende a estabilizar-se após todas as economias de custo práticas serem realizadas. Desta forma, a TOC oferece um processo contínuo de encontrar e superar restrições, o que proporciona mais oportunidades de melhorar o desempenho financeiro ao longo do tempo do que a simples redução de custos. A TOC diferencia o *Throughput*, medido em termos financeiros, do *output* tradicional. O *Throughput* representa o dinheiro restante das receitas de vendas após pagar todas as despesas variáveis. Embora o aumento do *Throughput* também tenha um limite prático, ele oferece mais espaço para melhorias em comparação com a redução de Despesas Operacionais, Inventário e custos variáveis, que têm limites inferiores bem definidos (DETTMER, 2001).

As principais diferenças estão em como cada abordagem lida com variabilidade e custos. O *Lean* visa reduzir custos fixos e variáveis e reduzir variabilidade, enquanto a TOC aceita a variabilidade usando pulmões estratégicos e foca na geração de ganhos. *Lean* e a TOC tratam de maneiras diferentes a variabilidade interna e a incerteza externa. Variabilidade refere-se a fatores internos de uma organização, como fatores técnicos de produto e processo que o controle estatístico de processos aborda, e inclui fatores qualitativos ou humanos. A variabilidade é algo que a organização deve gerenciar para controlar eficazmente o sistema. A incerteza, por outro lado, é externa e inclui fatores fora do controle da organização, como o comportamento dos clientes e fornecedores, mudanças nas demandas de mercado, flutuações econômicas e desastres naturais. Enquanto a incerteza afeta a demanda pelos produtos ou serviços da empresa, a variabilidade afeta a capacidade da empresa de atender essa demanda. *Lean* busca eliminar a variabilidade interna de forma agressiva, enquanto a TOC presume que os processos já estão sob controle estatístico e produzindo produtos de alta qualidade. A TOC não busca a perfeição como o *Lean*, reconhecendo que há um ponto de retornos decrescentes na melhoria dos processos (DETTMER, 2001; PACHECO, 2014; GARZA-REYES, 2018).

Nesse contexto, a TOC não considera o tempo de *Takt*, apenas o tempo aproximado de ciclo, reconhecendo variabilidades de habilidade entre funcionários que levam a variações razoáveis no tempo de ciclo. A TOC foca no tempo de ciclo de todo o processo de manufatura, não nos tempos individuais de cada célula de trabalho. Segundo a analogia da cadeia, apenas o elo mais fraco determina o ritmo de toda a cadeia: a saída do sistema é igual à saída da restrição. Buscar eficiências locais em outros elos não acelera a conclusão do produto nem economiza dinheiro. A eficiência máxima importa apenas no recurso com capacidade restritiva, a etapa que leva mais tempo para completar uma unidade de produto.

Dettmer (2001) e Pacheco (2014) argumenta que a TOC e o *Lean* evoluíram para

uma visão sistêmica, sugerindo que um modelo híbrido das duas abordagens é mais robusto, produtivo e de mais fácil implementação. Ele destaca pontos de congruência como: metodologias de sistemas, melhoria contínua, fluxo contínuo, qualidade, produção em pequenos lotes, produção puxada e liberação de capacidades escondidas. Diante desta conjuntura, os autores enxergam o potencial na criação de um *framework* conceitual que integra os princípios da Manufatura Enxuta com a TOC.

Os autores começam enfatizando a importância do *Throughput* como ponto de partida, definindo claramente os limites do sistema a ser melhorado. Isso inclui uma análise detalhada sobre como medir o desempenho e qual é o propósito central da melhoria. Essa abordagem inicial busca estabelecer um controle interno robusto sobre o sistema antes de se concentrar em grandes reduções de custos ou estoques. Após atingir uma estabilidade inicial, os autores advogam pela aplicação de técnicas *Lean* para otimizar o fluxo de valor dentro do sistema. Isso envolve a eliminação de etapas desnecessárias e a redução de dependências e riscos operacionais. Essas ações não são apenas voltadas para cortar custos, mas também para melhorar a eficiência geral do sistema, garantindo que cada atividade agregue valor significativo ao processo produtivo.

Os Cinco Passos de Focalização da TOC são cruciais nesse *framework*. O primeiro passo consiste na identificação clara da restrição do sistema, seguindo o conceito de "cadeia de elos dependentes". Isso é facilitado pelo mapeamento do fluxo de valor, que ajuda a identificar onde o sistema é mais vulnerável ou menos eficiente. O segundo passo, aproveitar a restrição identificada, é o momento ideal para aplicar técnicas *Lean* específicas, como por exemplo, reduzir tempos de *setup* na restrição. Por fim, os autores abordam a questão da expansão da capacidade. O quarto passo dos Cinco Passos de Focalização da TOC envolve elevar a restrição, muitas vezes demandando investimentos adicionais em equipamentos ou contratação de pessoal. Essa expansão é postergada até que se determine que o sistema existente está otimizado ao máximo possível. Dessa forma, desta-se a importância de não apenas melhorar a eficiência operacional, mas também de manter a flexibilidade necessária para enfrentar desafios futuros sem comprometer o desempenho geral do sistema.

Garza-Reyes et al. (2018) aplicou a abordagem híbrida no sistema de emergências, um estudo que propõe uma abordagem alternativa e/ou complementar para melhorar o desempenho do transporte e logística do EMS (*Emergency Medical Services*). A pesquisa se concentra na utilização simultânea e adaptação dos princípios e ferramentas do pensamento *Lean* e da TOC. Esta abordagem inovadora busca impulsionar melhorias nas operações de transporte e logística de EMS, representando um dos primeiros estudos a explorar essa integração específica, integrando os princípios do pensamento *Lean* e da TOC. Esta pesquisa mostra resultados promissores, porém destaca a necessidade de mais estudos de caso para validar a eficácia dessa

combinação em diferentes contextos industriais. Sugere-se que o uso limitado desses princípios e ferramentas destaca uma falta de compreensão clara dos benefícios potenciais dessa abordagem para otimizar as operações de EMS.

2.6 MÉTODOS DE ANÁLISE

2.6.1 Análises Estatísticas

A variabilidade é uma característica inerente a qualquer processo de produção de bens ou serviços, independentemente de quão bem ele seja projetado e operado. As variabilidades podem se manifestar de várias formas, e no fim são um risco para os processos, possivelmente levando à produção cujas características não atendem a determinadas especificações. Para diagnosticar um processo deve-se comparar os resultados obtidos com a meta planejada e através do Controle Estatístico de Processo (CEP) é possível desvendar as características do processo em questão (RIBEIRO; CATEN, 2000; PALADINI, 2019).

Segundo Brito et al (2022), a variação dos dados experimentais pode ser expressarem diferentes medidas de dispersão, como o desvio-padrão ou o coeficiente de variação.

O desvio padrão é uma medida de dispersão que indica o quanto os valores de um conjunto de dados se desviam, em média, da média aritmética. Ele é calculado pela raiz quadrada da variância, que é a média dos quadrados das diferenças entre cada valor e a média. Um desvio padrão menor indica que os dados estão mais próximos da média, enquanto um desvio padrão maior indica maior dispersão dos dados (RIBEIRO; CATEN, 2000). A Figura 10 mostra sua fórmula.

Figura 10 – Fórmula Desvio Padrão

$$s = \sqrt{\frac{\sum (x_i - \bar{x})^2}{n - 1}}$$

Fonte: Estatística Industrial (2000)

O coeficiente de variação definido como a razão entre o desvio padrão e a média. De acordo com Garcia (1989), essa medida é útil na comparação da dispersão de características em populações com médias diferentes e considera-se que quanto menor o CV, mais homogêneos são os dados O coeficiente de variação é calculado através da formula na Figura 11:

Os dados quando expostos em uma tabela possuem um grau de detalhamento que possibilita diversas análises. Em contrapartida, o gráfico acrescenta uma represen-

Figura 11 – Fórmula Coeficiente de Variação

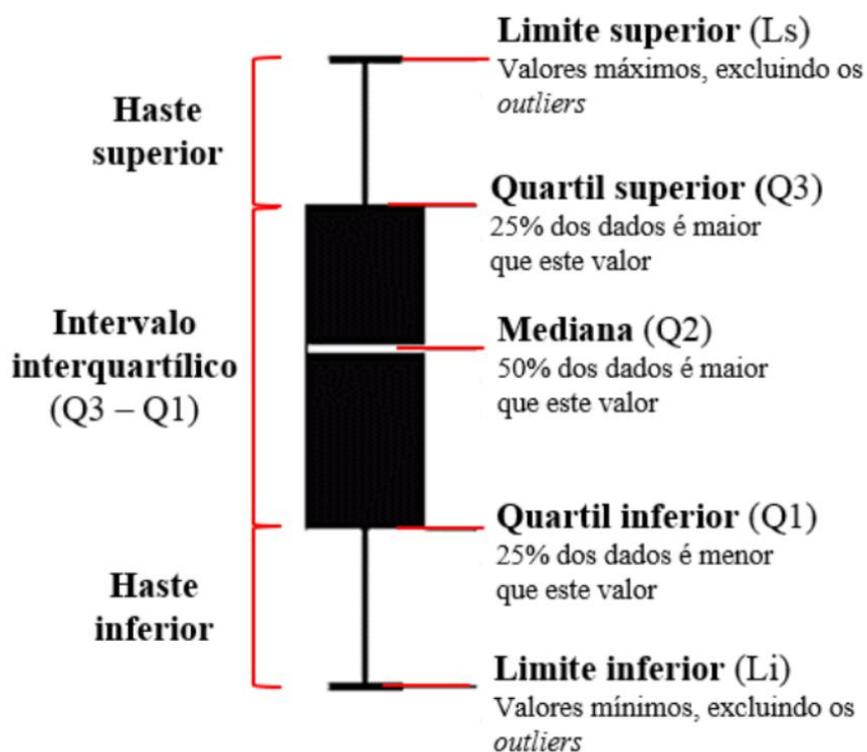
$$CV = \frac{100 s.}{m}$$

Fonte: Tabelas para classificação do coeficiente de variação (1989)

tação visual permitindo facilidade na interpretação de dados quantitativos. A análise estatística conta com diversos tipos de gráfico, dentre eles o *boxplot*, ou gráfico de caixa, de acordo com Neto et al. 2017, é amplamente utilizado na pesquisa científica, permitindo modificações como a forma das hastes e inclusão de parâmetros como média, desvio padrão e intervalo de confiança. Este gráfico é indicado especialmente para detectar tendências, *outliers* e comparar grupos amostrais. Os *outliers*, também chamados de valores extremos, são dados individuais que se desviam significativamente dos outros valores na amostra. Esses desvios podem ser causados por erros durante a coleta ou eventos raros (TUKEY, 1977).

Neto et al. (2017) define a estrutura padrão do gráfico de caixa como listado abaixo e disposto na Figura 12:

Figura 12 – Gráfico de Caixa



Fonte: Boxplot um recurso gráfico para análise e interpretação de dados quantitativos (2017)

- a) Eixo vertical: representa dados de valores numéricos;
- b) Eixo horizontal: fator de interesse;
- c) Primeiro quartil (Q1): onde se localiza 25% dos menores valores. Também chamado de quartil inferior ou 25º percentil. Representado pela linha limite inferior da caixa;
- d) Mediana ou segundo quartil (Q2): é o local onde ocorre a divisão da metade superior (ou 50%) da metade inferior da amostra. É o 50º percentil. Representada pela linha dentro da caixa;
- e) Terceiro quartil (Q3): onde se localiza 75% dos valores maiores. Também chamado de quartil superior ou 75º percentil. Representado pela linha limite superior da caixa;
- f) Intervalo interquartil (Q3 - Q1 ou IIQ): é definida como a diferença entre Q3 e Q1. No gráfico é representado pela dimensão da caixa. Estende-se do Q1 ao Q3 (percentis 25º a 75º). Representa o intervalo dos 50% dos dados em torno da mediana;
- g) Limite inferior (tamanho ou extremidade do whisker ou fence inferior): valor mínimo do conjunto de dados, definido através do desvio padrão aceitável dependendo da análise.
- h) Limite superior (tamanho ou extremidade do whisker ou fence superior): valor máximo do conjunto de dados, definido através do desvio padrão aceitável dependendo da análise.
- i) Outliers (valores atípicos): valores acima do Limite Superior ou Abaixo do Limite Inferior.

Outra técnica importante em diversas áreas do conhecimento, é a correlação (LIRA; NETO, 2006). Filho e Junior (2009) definem correlação como a relação entre duas variáveis, onde a mudança em uma variável está associada a uma mudança na outra.

O coeficiente de correlação de Pearson (r) mede a interdependência entre duas variáveis X e Y, baseando-se na distribuição normal bivariada. Na prática, é usado para indicar o grau de correlação entre essas variáveis. O coeficiente de correlação ponto-bisserial é baseado no coeficiente de correlação linear de Pearson, porém este método é apropriado quando uma das variáveis é dicotômica e a outra é contínua (LIRA; NETO, 2006). A Figura 13 apresenta a fórmula de cálculo do coeficiente de correlação ponto bisserial.

As variáveis necessárias para

pb: é o coeficiente de correlação ponto bisserial

Figura 13 – Fórmula Correlação Ponto Bisserial

$$\hat{\rho}_{pb} = \frac{(\bar{X}_p - \bar{X})}{S_x} \sqrt{\frac{p}{q}}$$

Fonte: Coeficientes de correlação para variáveis ordinais e dicotômicas derivados do coeficiente linear de Pearson (2006)

\bar{X}_p : é a média dos valores de X para o grupo superior (grupo cuja variável Y assume valor 1)

\bar{X} : é a média total de X da amostra

S_x : é o desvio padrão total de X da amostra

p: é a proporção de casos do grupo superior (grupo cuja variável Y assume valor 1)

q: é a proporção de casos do grupo inferior (grupo cuja variável Y assume valor 1)

O coeficiente varia entre os limites -1 a 1, onde valores próximos de 1 indicam uma correlação positiva forte, valores próximos de -1 indicam uma correlação negativa forte e valores próximos de 0 indicam ausência de correlação (LIRA; NETO, 2006).

2.6.2 Diagrama de Causa-Efeito

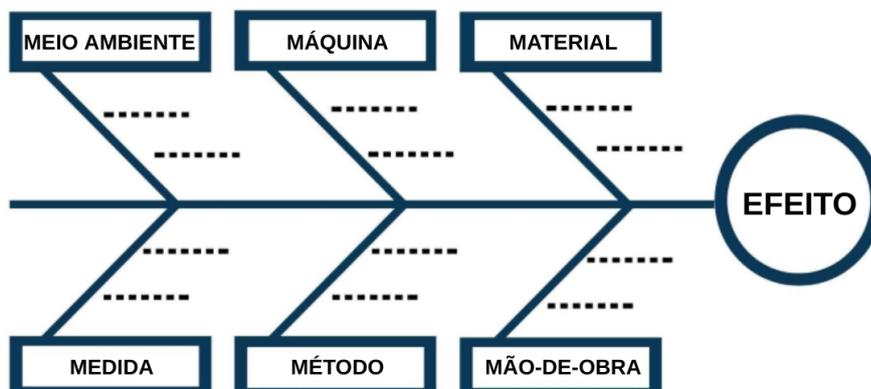
A causa é o ponto de origem de um evento, representando a ligação entre dois eventos consecutivos onde o segundo ocorre como consequência do primeiro. O efeito, por sua vez, é a reação provocada por essa causa. Portanto, o Diagrama de Causa e Efeito é uma ferramenta de qualidade que ajuda a identificar as causas fundamentais de um problema, analisando todos os fatores que influenciam a execução do processo e levando em conta as reações geradas por essas causas, ou seja, os efeitos resultantes (STEFANOVIC, 2014; SOUZA, 2021).

O Japão é historicamente estimado por sua qualidade nos produtos, este reconhecimento está conectado pelo seu forte desenvolvimento em técnicas de controle de qualidade. Em 1943, Kaoru Ishikawa, um dos grandes nomes na gestão da qualidade, desenvolveu o Diagrama de Causa-Efeito como uma ferramenta para ajudar equipes de qualidade a identificar, explorar e exibir graficamente todas as causas possíveis de um problema específico. O objetivo era facilitar a análise sistemática das causas e efeitos de um problema, ajudando as equipes a resolver os problemas definitivamente (STEFANOVIC, 2014; SOUZA, 2021).

A ferramenta Diagrama de Causa-Efeito, Diagrama Ishikawa ou ainda Diagrama Espinha-de-Peixe devido ao formato da ferramenta lembrar uma espinha de peixe, assim como na figura 14, é amplamente utilizado na análise de problemas. A cabeça do peixe representa o problema que está sendo analisado, denominado "efeito

conhecido" e suas espinhas representam as possíveis classificações das causas (CARPINETTI, 2012; SOUZA, 2021)

Figura 14 – Exemplo de Diagrama de Causa-Efeito



Fonte: Adaptado de Souza (2021)

O design desse modelo tem o intuito de facilitar a análise classificando as causas primárias de um problema específico em segmentações, a classificação básica é dos 4Ms apresentados no tópico Estabilidade Básica no capítulo 2.2 da fundamentação teórica, também é comum encontrar os 6M's que acrescenta o Meio Ambiente e Medida, ou ainda de variantes que se adequem melhor na resolução do problema a fim de identificar a causa raiz do problema (SOUZA, 2021).

Souza (2021) traz a importância de começar a construção do Diagrama de Ishikawa, identificando o problema, descrevendo-o com detalhes e analisando seus efeitos conhecidos, ou seja, as consequências perceptíveis e superficiais que o problema causa. De acordo com Goldratt (1984), para definir o efeito é necessário selecionar um problema que impacta o desempenho geral do sistema, que esteja sobre a responsabilidade de quem pode realizar mudanças, não deve ser subjetivo e de preferência definido-a através de uma frase concreta.

O segundo passo na aplicação do Diagrama de Ishikawa é a escolha do modelo a ser utilizado, que consiste no método ou conjunto de informações que fundamentam o diagnóstico. O diagrama pode ser composto por diferentes tipos, dependendo do problema em análise. Por exemplo, para questões relacionadas ao marketing, pode-se utilizar o diagrama com base nos 4Ps do Marketing, enquanto para problemas na execução de serviços públicos, pode-se empregar o método dos 4Ps do Serviço Público, que incluem Política, Procedimento, Pessoal e Planta. Existem diversas outras possibilidades de modelos, cada um adequado a diferentes contextos, e podem ser exploradas para diferentes análises (SOUZA, 2021).

O terceiro passo para construir o Diagrama de Ishikawa é aplicar o Método escolhido na etapa anterior para identificar as causas secundárias relacionadas ao problema. Isso pode ser feito através de uma técnica de *brainstorming* com objetivo

de listar todas as causas secundárias relevantes ao diagnóstico do problema. Após o *brainstorming*, é necessário fazer uma avaliação qualitativa da lista de causas para filtrar e deixar apenas aquelas que realmente são pertinentes ao diagnóstico do problema (CARPINETTI, 2012)

No passo 4 da construção do Diagrama de Ishikawa, é fundamental priorizar as causas identificadas. As maneiras de realizar essa priorização abrangem métodos qualitativos, coletando informações com as pessoas envolvidas, mas também utilizando dados quantitativamente. Esse processo de priorização ajuda a identificar as causas raízes mais relevantes que devem receber mais atenção na etapa de solucionar o problema. O último passo é elaborar um plano de ação, existem três tipos de plano de ação: preventivo, corretivo e de contenção. No caso de um problema já em curso, como no exemplo dado, o plano corretivo é o mais adequado (CARPINETTI, 2012; SOUZA, 2021).

2.6.3 Técnica de Amostragem de Trabalho

A técnica de amostragem de trabalho, também conhecida como análise de multi-momento, é um método estatístico utilizado para determinar a proporção de tempo gasta pelos trabalhadores em categorias predefinidas de atividades. É uma maneira de avaliar como os trabalhadores alocam seu tempo ao longo da jornada de trabalho entre atividades produtivas e não produtivas, auxiliando no direcionamento de oportunidades de melhoria no processo (JENKING; ORTH, 2004).

Para utilizar esta metodologia, captura-se visualmente observações instantâneas da execução do trabalho em um período de tempo, as observações devem ocorrer em momentos aleatórios, a fim de gerar uma amostragem fidedigna. A amostra de observações é dividida em categorias, como por exemplo: agregação de valor, desperdícios ou não agrega valor mas é necessário. Como as observações são instantâneas, a ferramenta vem se tornando mais popular/aplicável, porque é menos custosa do que observações completas. (FINKLER, 1993; CARVALHO, 2018)

A precisão da amostragem do trabalho aumenta com o número de observações e a frequência das observações. Ou seja, quanto mais frequentemente você observar, mais precisas serão suas inferências sobre como o tempo está sendo usado. Se as observações forem feitas a cada minuto, o resultado será quase tão preciso quanto o método de observação contínua, onde se registra o tempo de cada atividade sem interrupções. No entanto, a amostragem do trabalho, como qualquer técnica de amostragem, pode ter problemas de viés sistemático. Isso significa que certos fatores podem distorcer os dados coletados, levando a conclusões imprecisas sobre como o tempo é realmente gasto (FINKLER; 1993).

Desta forma, esses conceitos e definições apresentadas acima servirão de base para as discussões e interpretações dos resultados encontrados esta pesquisa, antes

porém, serão mostrados os passos da metodologia de pesquisa.

3 METODOLOGIA

Neste capítulo detalha-se a metodologia de pesquisa adotada para alcançar os objetivos específicos deste trabalho, na qual esta sub-dividida em: i) classificação da pesquisa; ii) procedimento da pesquisa; iii) ambiente de estudo; iv) implementação da pesquisa.

3.1 CLASSIFICAÇÃO DA PESQUISA

O presente trabalho é classificado como Trabalho de Conclusão de Curso com tema voltado para a adaptação da ferramenta da Filosofia Lean, Mapeamento do Fluxo de Valor, afim de realizar sua aplicação de forma eficaz em manutenções de base de aeronave. Nesse contexto, Gil et al. (2008) propôs que para realizar a caracterização da pesquisa, deve-se classificá-la dentro de 5 critérios: área de pesquisa, natureza da pesquisa, forma de abordagem, propósito da pesquisa e procedimentos técnicos. Assim, a pesquisa foi categorizada nestes 5 critérios nos tópicos abaixo:

- a) Área de pesquisa: analisando os enquadramentos no âmbito de pesquisa dentro da área da ABEPRO, a pesquisa em questão refere-se a Engenharia de Manutenção, dentro de Engenharia de Operações e Processos da Produção, pois trata da análise da prestação de serviços de manutenção para terceiros.
- b) Este projeto é identificado como uma pesquisa "Aplicada", que conforme Nascimento e Sousa (2016), tem como foco produzir saber que visa resolver um problema concreto, aplicando-se diretamente a uma situação específica. Portanto, este estudo visa abordar a questão particular referente a melhoria do fluxo de valor na manutenção de base de aeronaves.
- c) Forma de abordagem: neste trabalho a abordagem foi classificada por "Quantitativa" e "Qualitativa", pois as poucas literaturas que abordaram o tema previamente não forneceram dados, apenas percepções qualitativas de suas dificuldades.
- d) Propósito da pesquisa: a pesquisa foi classificada como "Exploratória" e "Descritiva", devido à natureza e objetivos do estudo de caso realizado. A pesquisa analisa e sugere melhorias para um aplicação de uma ferramenta num contexto específico, buscando explorar as características e compreender os fenômenos ainda pouco aprofundados, assim preenchendo uma lacuna no conhecimento científico.
- e) Procedimentos técnicos: A classificação da pesquisa a respeito dos procedimentos técnicos é dada como "Estudo de caso", pois, segundo Cauchick (2007), o estudo de caso é uma pesquisa empírica com propósito de com-

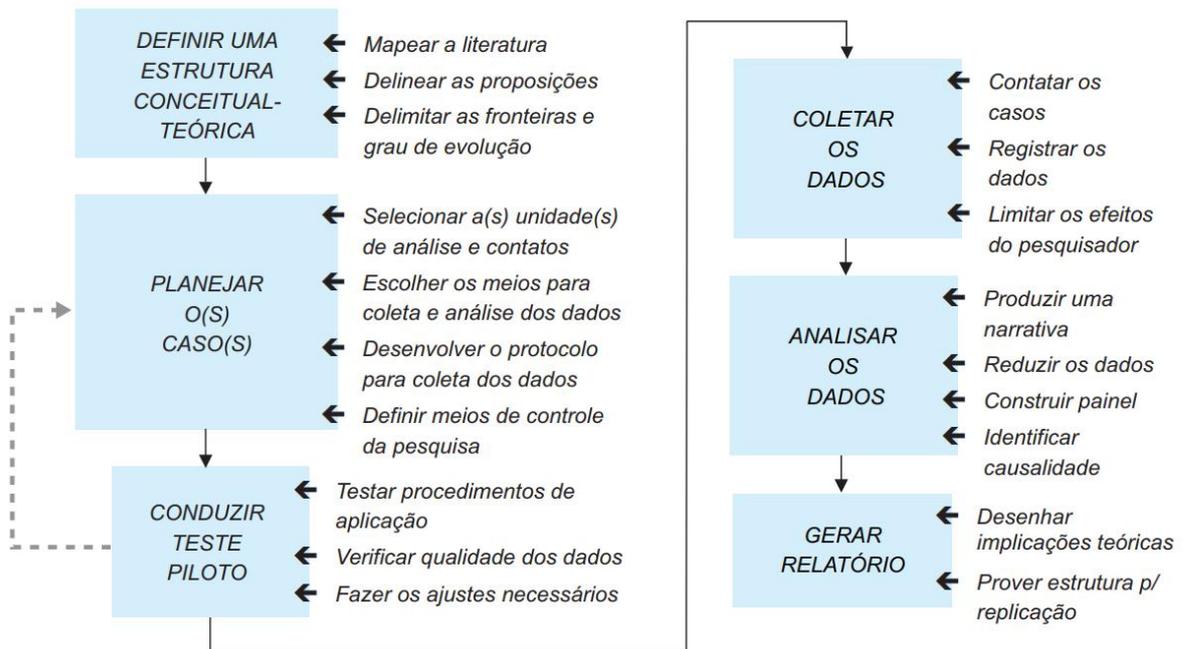
preender as complexidades de um problema e formular hipóteses auxiliando no avanço do conhecimento teórico.

3.2 PROCEDIMENTO DA PESQUISA

Cauchick (2007), traz em sua pesquisa intitulada "Estudo de caso na engenharia de produção: estruturação e recomendações para sua condução", aponta seis etapas a serem seguidas no procedimento técnico de um estudo de caso na área de da engenharia de produção. Esses podem ser visualizados na Figura 15.

- a) Definição de uma Estrutura Conceitual-Teórica
- b) Planejamento do(s) Caso(s)
- c) Condução de um Teste Piloto
- d) Coleta dos Dados
- e) Análise dos Dados
- f) Geração do Relatório da Pesquisa

Figura 15 – Estruturação da Condução do Estudo de Caso



Estudo de caso na engenharia de produção: estruturação e recomendações para sua condução (2007)

Para iniciar o estudo de caso, deve-se definir uma Estrutura Conceitual-teórica, criando um mapeamento da literatura existente sobre o tema (CAUCHICK, 2007). Dessa forma, realizou-se o mapeamento sobre a utilização do Mapeamento do Fluxo de Valor em Manutenções de Base de Aeronaves entre o meses de fevereiro e maio

de 2024, a fim de situar a proposta no contexto de estudos já realizados e mostrando sua relação com o conhecimento existente. O levantamento bibliográfico de conteúdos da literatura abordou cinco temas: Filosofia Lean, Mapeamento do Fluxo de Valor, Manutenção Reparo e Revisão de Aeronaves e Teoria das Restrições e Metodologias de Análise. Além disso, foram levantados casos práticos que combinavam a aplicação desses temas, entendendo as dificuldades de aplicações e as áreas que não foram exploradas.

Segundo Cauchik (2007) no Planejamento dos Casos, inicialmente, é preciso definir se a investigação abrangerá um caso único ou vários casos e definição do período de estudo, determinando se a pesquisa será retrospectiva, investigando uma série de dados históricos (de 4 a 10 casos é suficiente), ou longitudinal, e investigará um caso presente. Devido a natureza de alta variabilidade em cada caso de manutenção de base do estudo, a pesquisa analisou uma série de casos históricos.

Na próxima etapa do Planejamento dos Casos, deve-se construir um protocolo abrangendo o conjunto de procedimentos e regras gerais de pesquisa para condução, e indicação da origem das fontes de informação (CAUCHICK, 2007). Desta forma, foi descrito o protocolo no capítulo 3.4. A Condução de um Teste Piloto, é uma prática não muito comum, que visa aperfeiçoar o protocolo (CAUCHICK, 2007). Nesta pesquisa não foi conduzido um teste piloto.

As técnicas de Coleta de Dados, visando possibilitar a técnica de triangulação, fundamentaram-se com múltiplas fontes de evidências: análise documental dos registros de tempo de execução das atividades e registros de falhas na execução; entrevistas e *workshops* com as áreas de: planejamento, comercial, materiais e ferramentaria. Ademais foram realizadas visitas in loco nas datas 22 de fevereiro com intuito de conhecer os processos e nos dias 6, 7 e 8 de maio de 2024 para realizar as análises. Os dados numéricos foram realizados através da análise documental, extraídos diretamente da base de dados da empresa.

A partir do conjunto de dados coletados, foi aplicada a metodologia do MFV e TOC, narrativa explicitada no capítulo de resultados. Com base nos critérios de confiabilidade e validade. Por fim, foi elaborado o presente Relatório da Pesquisa, onde os resultados e as evidências foram relacionados à teoria, possibilitando a geração de nova teoria.

3.3 AMBIENTE DE ESTUDO

A Aplicação do estudo de caso ocorreu em uma empresa de grande porte no setor aeronáutico localizada no Brasil. A planta analisada possui três hangares, em cada hangar duas baias para receber aeronaves, totalizando a capacidade de manutenção de seis aeronaves paralelamente. Os recursos são compartilhados entre as baias, tanto material e ferramentas, quanto mão-de-obra. Os serviços prestados

pela empresa são:

Manutenção de rotina e não rotineiras, podem ser realizadas nos hangares da empresa, ou em casa de emergência na “base do cliente”. Reparos feitos em componentes, conjuntos e sistemas, para corrigir falhas funcionais. E o “overhauling”, a revisão que envolve o desmonte de peça por peça. Cada peça é então inspecionada, passa por limpeza ou reparo (se necessário) e finalmente o componente, conjunto ou sistema é remontado.

No ano de 2024 a empresa tem a previsão de atender predominantemente aeronaves executivas, contudo também oferece o serviço de manutenção para aeronaves comerciais nesta unidade de análise, realizando manutenções pesadas que se encaixam no tipo C quanto no tipo D.

As manutenções podem ocorrer de acordo com a quantidade de horas voadas ou pela idade da aeronave, no presente trabalho utiliza-se a apenas a nomenclatura da idade da aeronave. Os pacotes de manutenções variam ano a ano e são nomeados pela quantidade meses de idade da aeronave: 12, 24, 36, 48, 60, 72, 84, 96, 108, 120. Cada linha da Figura 16 representa a combinação de pacotes que aeronave tem que realizar no ano.

Figura 16 – Cadência dos pacotes de manutenção

Anos em Operação	Nome do Pacote de Manutenção	Manutenções Inclusas no Pacote de Manutenção					
1	12	12 MO					
2	24	12 MO	24 MO				
3	36	12 MO		36 MO			
4	48	12 MO	24 MO		48 MO		
5	60	12 MO				60 MO	
6	72	12 MO	24 MO	36 MO			
7	84	12 MO					
8	96	12 MO	24 MO		48 MO		
9	108	12 MO		36 MO			
10	120	12 MO	24 MO			60 MO	120 MO

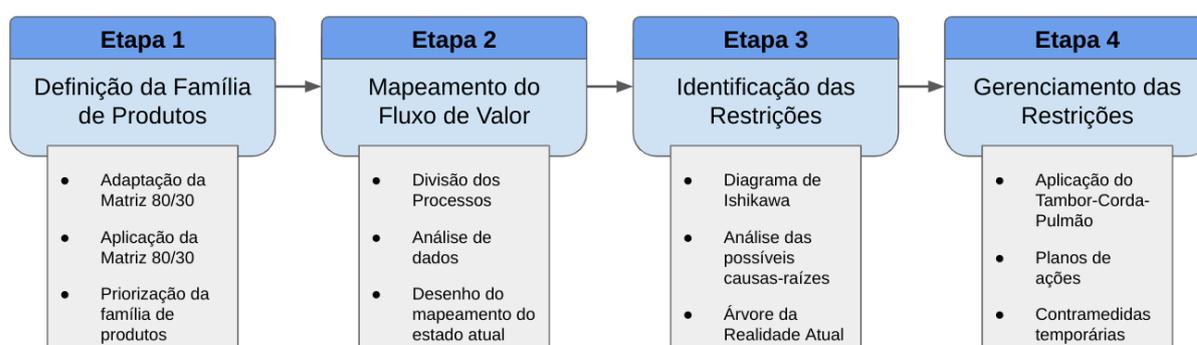
Elaborado pelo autor (2024)

Para empresa a premissa de Segurança e Qualidade é inegociável, e as dificuldades estão mais presentes em questões relacionadas a cumprimento de prazos de entrega. Para estimar prazos de cada atividade o planejador pode utilizar 3 métodos diferentes: o prioritário é o “flat rate”, tempo padrão estabelecido pelo Manual de Manutenção da Aeronave (AMM), do inglês, *Aircraft Maintenance Manual*, cada aeronave possui um AMM específico e é utilizado globalmente para guiar a manutenção e para definir a quantidade de horas necessárias para realizar a manutenção, o que baliza o preço do mercado; caso o flat rate mostre-se incompatível com a operação busca-se no histórico de dados, porém, na falta de dados, recorre-se a opinião de mecânicos.

3.4 IMPLEMENTAÇÃO DA METODOLOGIA

Shook e Rother (2003) propõe quatro passos para utilizar a ferramenta: definir a família de produtos, mapear o estado atual, mapear o estado futuro e definir um plano de trabalho. Contudo Srinivasan et al. (2014) recomenda a utilização do Mapeamento do Fluxo de Valor (MFV) até a parte do mapeamento do estado atual e complementar com a Teoria das Restrições. Como Özturk (2017) ressaltou a necessidade de alterar a metodologia do MFV proposta para manufatura antes da aplicação no MRO, dividiu a pesquisa em 4 etapas: Definição da Família de Produtos, Mapeamento do Estado Atual, Identificação das Restrições do Sistema e Proposta de Gerenciamento das Restrições, assim como mostra a figura 17:

Figura 17 – Etapas da metodologia



Elaborado pelo autor (2024)

3.4.1 Família de Produtos

Para definir as famílias de produtos, utilizou-se os critérios propostos Erlach (2013) e Duggan (2018), uma vez que Srinivasan et al. (2014) traz a semelhança da produção com alta variedade de *mix* e baixo volume com o cenário da manutenção. Eles definem que a divisão da famílias ocorre em função das diferenças em relação ao processo de produção, mais precisamente 80% de similaridade dos processos ao longo da transformação, e menos de 30% de diferença no *Lead Time*.

Como a manutenção não "produz" algo e não é subdividida exatamente em "processos", para viabilizar a utilização da matriz, primeiramente foi definido o escopo do mapeamento afim de entender quais seriam o equivalente de produto e processo nesse contexto. Assim, considerando os prós e contras de realizar em nível estratégico, com menos detalhes, ou em um nível mais minucioso, trazendo mais características sobre o processo, optou-se pelo mapeamento porta-a-porta, afim de analisar as variabilidades de tempo que acontecem na operação como um todo. A partir desta definição, foi utilizada a metodologia da a Matriz 80/30 para auxiliar nesse processo, de acordo com os cinco passos abaixo:

- a) Cada produto deve ser identificado detalhadamente e inserido em uma linha da matriz, um abaixo do outro.
- b) Todas as etapas de produção necessárias para a gama completa de produtos são inseridas em cada coluna da matriz, um ao lado do outro.
- c) A etapa de produção necessárias para a produção dos itens respectivos são marcadas com "X" nas células na célula da matriz.
- d) Todos os produtos com 80% das mesmas marcações, ou seja, que requerem as mesmas etapas de produção, pertencem à mesma família de produtos.
- e) Em sequência para aplicar o refinamento através da similaridade de Lead Time, utiliza-se a formula em cada família: " $(\text{Maior valor} - \text{Menor valor}) / \text{Maior valor} * 100$ "

Após o agrupamento, para embasar a tomada de decisão a respeito da priorização da família a ser mapeada, deu-se início a investigação da demanda, para isso foi realizada uma entrevista com a equipe do Comercial (conforme roteiro no Apêndice A.1). a análise dos dados, assim como recomenda Erlach (2013), apresentou-se os dados para liderança da área de manutenção que tomou a decisão de qual família seria mais estratégico ser mapeada.

3.4.2 Mapeamento do Fluxo de Valor

O primeiro passo para mapeamento do estado atual é conhecer os processos começando pela etapa mais próxima do cliente (SHOOK; ROTHER, 2003). Contudo no MRO, devido a falta de repetibilidade de um produto e longos *Turnaround Times* levariam semanas para acompanhar todo o processo de manutenção presencialmente, tornando inviável para pesquisa. Para viabilizar esta etapa, foi realizada uma entrevista com a equipe de planejamento (vide Apêndice A.2). Primeiramente, foram coletadas as informações sobre a ordenação do fluxo dos processos de manutenção e para identificar os principais processos a serem mapeados no desenho do estado atual priorizou-se mapear apenas os processos que caso atrasem tendem a impactar diretamente o prazo final.

Em sequência, assim como recomenda Erlach (2013) nos casos onde cronometrar os tempos de processo e coletar as métricas é muito oneroso, os dados foram obtidos com base nos registro histórico do último ano coletado com a equipe de planejamento. A amostra conta com 92 registros. Como a proposta da literatura do MFV sugere a coleta de dados para realidade da indústria, foram listadas as sugestões dos autores, comparando seus objetivos e considerados sua aplicabilidade para o estudo no ambiente de MRO.

Levando em consideração as flutuações no tempo de execução das tarefas do MRO, a utilização exclusiva da média dos tempos de ciclo para caracterizar o

processo poderia resultar em uma representação imprecisa. Com o intuito de avaliar a variabilidade dos eventos que influenciam o *Turnaround Time* (TAT), empregou-se a metodologia de Controle Estatístico de Processos (CEP). Foi calculado o desvio padrão, visando entender a variação de tempo de cada macroprocesso e também foi incluído o Coeficiente de Variação (CV) para fornecer visão da dispersão dos dados em torno da média. O CV foi escolhido para complementar o desvio padrão, pois possibilita uma comparação da variabilidade entre dois processos com médias distintas. As duas métricas foram aplicadas conforme as fórmulas nas Figuras 10 e 11.

Para uma representação gráfica desta análise, optou-se pelo gráfico de caixa. Foi tomada a decisão de representar a média simples ao invés da mediana, pois a mediana é menos sensível aos *outliers*. Além disso, não descartou-se os *outliers* no gráfico, pois estes representam variações significativas no tempo de execução, devem ser considerados para investigação futura.

O fluxo de informação foi desenhado baseado na entrevista com a equipe do planejamento (Apêndice A.2), partindo do cliente, mapeando as áreas envolvidas, suas responsabilidades e os fluxos que os conectam. Para desenhar o mapa do estado atual, foi necessário realizar ajustes na simbologia, visto que a mesma foi idealizado para um ambiente fabril.

O Mapeamento do Estado Futuro, seguindo a abordagem *Lean* de Rooth e Shook (2003), propõe uma sequência de passos para guiar as melhorias. Analisando a metodologia proposta, percebe-se que os tópicos abordados (Takt Time, Supermercados de produtos acabados, processo puxador, mix de produção, pitch da produção), são totalmente voltados para uma indústria de manufatura que conta com uma demanda fixa, processos estáveis, e não se aplicam aoMRO. Neste contexto, optou-se por seguir a proposta de Srinivasan et al. (2014), utilizar o mapeamento do estado atual como uma base e guiar as melhorias a partir da aplicação da Teoria das Restrições (TOC).

3.4.3 Identificação das Restrições

Para iniciar esta etapa, assim como recomendam Ferro (2003) e Erlach (2013), buscou envolver os colaboradores e as principais lideranças da área com intuito de garantir a validação das análises e que as propostas de soluções realmente façam sentido para realidade da empresa e que sejam aderidas e perpetuadas. Foram marcados dois *workshops* de 4 horas de duração com dois representantes de cada área envolvida (Comercial, Planejamento, Ferramentas, Materiais e Manutenção) e a liderança, totalizando 11 participantes. O primeiro *workshop* teve o intuito de sensibilizar sobre a importância da filosofia *Lean*, ensinar sobre o Mapeamento do Fluxo de Valor, validar a construção feita pela equipe de melhoria contínua, coletar *feedbacks* para melhorar o mapa do estado atual e por fim iniciar a aplicação do Diagrama de Ishikawa. Optou-se

por este Diagrama de Causa e Efeito, pois este trata cada causa separadamente.

A fase de definição do problema central foi conduzida de maneira colaborativa, se aprofundando no funcionamento do processo e na análise dos dados históricos de tempo de execução. Após a definição do problema, foi realizada a escolha do modelo de ramificação das causas, e por último passo do *workshop* foi a realização de uma sessão de *brainstorming* direcionada para cada segmento do modelo estabelecido.

Para identificar as verdadeiras restrições do sistema, foi realizada uma análise para cada possível causa levantada no *brainstorm*. Assim como sugere Carpinetti (2012), buscou-se primeiramente embasar as análises com dados, caso não fosse possível recorreu-se as informações qualitativas por meio de entrevistas com as áreas conectadas aos problemas, seguindo o roteiro do Apêndice A.3.

Para avaliar o Material e as Ferramentas, foram analisados dados sobre as interrupções no fluxo de valor. Diferente da manufatura, onde o fluxo é visivelmente interrompido pelo *Work in Progress* (WIP), termo em inglês que representa o estoque de produtos semi-acabados entre os processos, na manutenção, por não se tratar de uma produção repetitiva, não existem estoques entre as fases ou entre as *tasks*. Quando o técnico de manutenção tem a necessidade de parar sua atividade devido algum empecilho, as paradas são registradas sistematicamente no "Registros de Parada".

Foi coletado os Registros de Parada do último ano da família de produtos priorizada, foram lidos todos os registros para categorização das interrupções. As categorias definidas foram: Material, compreendendo interrupções associadas à escassez ou defeitos de materiais e consumíveis; Máquina, que inclui falhas em ferramentas e equipamentos; Retrabalho, relacionado a correções de erros operacionais; e Outros, abrangendo paradas que não se alinham com as categorias anteriores. Para análise foram correlacionados os dados das paradas com das variações de tempo.

Para avaliar a eficiência da mão de obra, foi-se adaptado a técnica Amostragem de Trabalho, visto a limitação do acesso presencial. Durante três dias foram analisadas 4 horas de trabalho, sendo 2 horas no primeiro turno e 2 horas no segundo turno, totalizando 12 horas de análise. Esta amostragem retirou as paradas planejadas como refeições e reuniões, o que totalizam 7 horas produtivas por dia por técnico. A equipe registrou quanto tempo cada técnico desprende para cada tarefa, classificando as atividades sob a ótica do *Lean*, dividindo-as entre atividades que agregam valor, desperdícios e atividades necessárias (mas não agregam valor). Dentro da classificação dos desperdícios, assim como Carvalho et al. 2018, selecionou-se apenas os desperdícios relacionados a mão de obra: Espera, Movimentação, Defeito, Transporte e Super processamento. As atividades necessárias foram classificadas entre: *Setup* (preparação), documentação, comunicação, conferir instruções de trabalho e limpeza.

O segundo *workshop* aconteceu uma semana após o primeiro, novamente foram convocados os 11 colaboradores estratégicos. Devido a falta de dados sobre

métodos e da comunicação, a primeira parte do *workshop* foi voltada para validar as hipóteses levantadas em conjunto. Primeiramente foi solicitado para cada área listar seus processos, e em sequência assinalar caso existisse algum tipo de documento que oficializasse o trabalho padronizado, como um fluxograma ou instruções de trabalho (os técnicos de manutenção não participaram desta primeira etapa, pois devem cumprir por lei o trabalho padrão do Manual de Manutenção da Aeronave do fabricante). Para análise da comunicação foram examinadas todas as setas identificadas no fluxo de informação do mapa do estado atual, levantando relatos sobre problemas de clareza de informação, velocidade de resposta ou se o fluxo era desnecessário.

Para identificar possíveis conexões entre as causas que mais demonstram impactos no TAT, ainda no *workshop* aplicou-se a metodologia da Árvore da Realidade Atual (CRT). As causas raízes validadas durante a análise foram posicionadas em volta do efeito central, e foram sendo realizadas conexões e complementações na lógica causa-efeito, de forma que o sentido da seta representa a consequência.

3.4.4 Gerenciamento das Restrições

Por fim, as possíveis restrições retiradas da CRT foram priorizadas com base no seu impacto no TAT. Ainda no *workshop*, foi definido como explorar as restrições e quais recursos devem ser subordinados a elas. Para guiar esta etapa foi utilizado o método do DBR. Por fim a equipe foi dividida em 2 grupos para elaborar planos de ação, definindo claramente o quê, por quê, quando, quem, onde e como seriam através da utilização da ferramenta 5W1H. Ao final as soluções foram apresentadas para o time para selecionar, aprimorar e convergir no plano desenhado para melhoria do MRO.

4 RESULTADOS

Neste capítulo são abordados os resultados do estudo de caso. Inicialmente a aplicação do Mapeamento do Fluxo de Valor junto as discussões conceituais a respeito de sua adaptação para o presente contexto. Em seguida, a inclusão da Teoria das Restrições como meio de identificar os pontos críticos e gerar soluções assertivas.

4.1 DEFINIÇÃO DA FAMÍLIA DE PRODUTOS

O processo de definição da família de produtos é composto pela combinação de produtos e processo. Como o estudo não é uma indústria de manufatura, para meios de adaptação da metodologia, foi considerado um produto o serviço de manutenção. Isso significa que uma manutenção aplicada que se é realizado um *check* de 12 meses na aeronave A e um *check* de 12 meses na aeronave B, mesmo as duas sendo classificadas como Manutenção Programada de 12 meses, como tem atividades distintas são produtos diferentes. A mesma dinâmica se aplica para um *check* de 12 meses e um *check* de 24 meses no mesmo modelo de aeronave, a diferença de tempo é tanta que são considerados produtos. Nesse contexto, a pesquisa está analisando uma gama de 25 produtos diferentes.

Como o MRO não utiliza a nomenclatura "Processo" para execução da manutenção, também foi necessário definir o que considerar como equivalente para inserir na matriz 80/30 conservando sua funcionalidade. Para tomar esta decisão, primeiramente a empresa definiu que o nível de mapeamento benéfico para as análises seria englobar todo o TAT, realizando o mapa de porta-a-porta. Dentro deste escopo, existem as "Fases" etapa da manutenção que englobam um conjunto de atividades variando de 8 a 24 fases por manutenção, e tem caráter mais abrangente como por exemplo fase de "abertura de acessos" ou "inspeção de componentes". Outra possibilidade são as "Tasks", ou atividade de manutenção, dentro da Fase que se assemelham aos processos utilizados na manufatura como "Verificação funcional das baterias das luzes de emergência" e "Lubrificação das válvulas de verificação do compartimento de bagagem", contudo existem centenas *tasks* por manutenção inviabilizando sua utilização. Assim, os "produtos" foram listados agrupados por modelo e foi aplicada a matriz 80/30 analisando a similaridade das fases, como pode-se visualizar na Figura 18.

Após esta primeira etapa, foi possível identificar 89% de similaridade nas fases das aeronaves de 12MO, 91% para as manutenções de 24MO, 80% para as manutenções de 36MO, 83% para as manutenções de 48MO e 87% entre as manutenções de 60 e 120 MO. Já entre as manutenções de 12MO e 24 MO tiveram 33 de similaridade, entre 24MO e 36MO, 43% e entre 48MO e 60 MO tiveram 66% de similaridade. Agrupando as possíveis famílias, foi realizado o refinamento a partir da comparação de seus Lead Times, como mostra a Figura 19.

Figura 18 – Família de Produtos análise entre fases

Modelo	Manutenção	Recebimento	Inspecção inicial	Abriir Acessos	Inspecção nas asas	Inspecção Orlégnio	Inspecção Trem de Pouso	Inspecção na Fuselagem	Inspecção nos estabilizadores	Inspecção do sistema hidráulico	Inspecção nos tanques	Rotina de Lubrificação	Inspecção dos Componentes	Inspecção dos Cabos de Controle	Testes sem Energia	Modificações Boletim de Serviço	Inspecção Sist. de Pressurização	Fechar acessos	Pinçura	Air data Test	Teste Operacional do Motor	Instalar Trem do Pouso	Pré Entrega
Aeronave A1	12MO	X	X	X					X		X	X		X				X			X	X	X
Aeronave A1	24MO	X		X		X	X								X			X	X	X	X	X	X
Aeronave A1	36MO	X		X	X			X	X							X	X	X	X			X	X
Aeronave A1	48MO	X		X	X			X	X		X			X		X	X	X	X				X
Aeronave A2	12MO	X	X	X				X		X	X		X					X					X
Aeronave A2	36MO	X		X	X			X	X							X	X		X	X		X	X
Aeronave A2	60MO	X		X	X	X	X	X	X	X	X		X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X
Aeronave A3	12MO	X	X	X				X		X	X		X					X					X
Aeronave A3	24MO	X		X		X	X							X				X	X	X	X	X	X
Aeronave A3	48MO	X		X	X			X	X		X			X		X	X	X	X				X
Aeronave B1	12MO	X	X	X						X	X		X					X					X
Aeronave B1	24MO	X		X		X	X		X					X				X	X	X	X	X	X
Aeronave B1	36MO	X		X	X			X	X					X			X	X		X	X	X	X
Aeronave B1	48MO	X		X	X			X	X	X	X		X		X	X	X	X	X				X
Aeronave B1	60MO	X		X	X	X	X	X	X	X	X		X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X
Aeronave B1	120MO	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X
Aeronave B2	12MO	X	X	X						X	X		X					X					X
Aeronave B2	24MO	X		X		X	X			X				X				X	X	X	X	X	X
Aeronave B2	36MO	X		X	X			X	X					X				X	X		X	X	X
Aeronave B2	48MO	X		X	X			X	X	X			X		X	X	X	X	X				X
Aeronave B2	60MO	X		X	X	X	X	X	X	X			X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X
Aeronave B2	120MO	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X

Elaborado pelo autor (2024)

Figura 19 – Família de Produtos análise de Lead Time

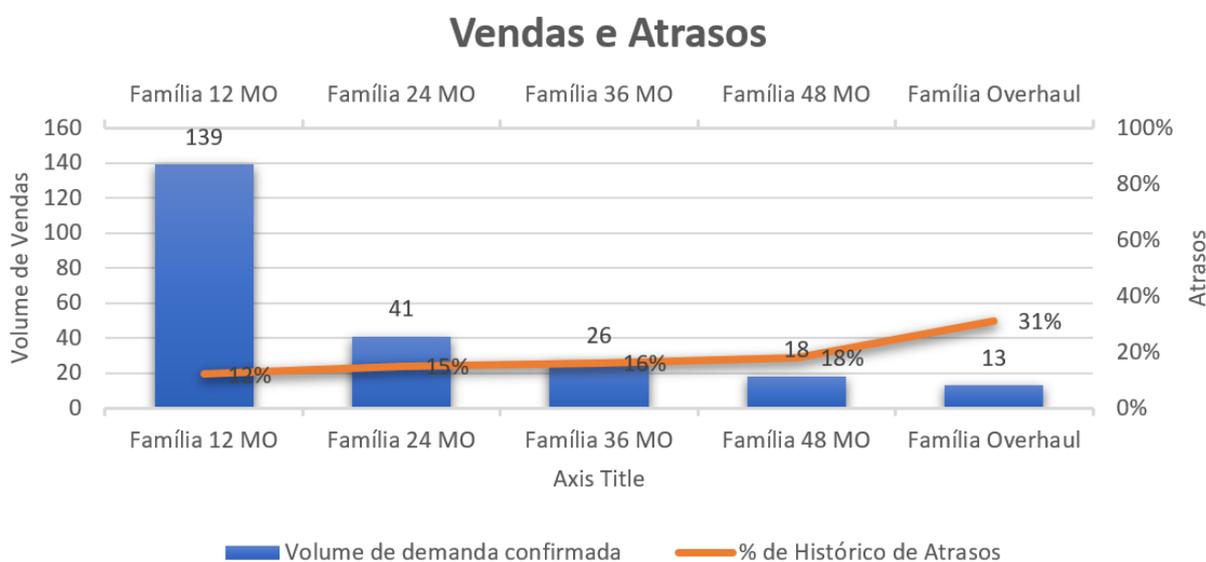
Modelo	Manutenção	Recebimento	Inspecção inicial	Abriir Acessos	Inspecção nas asas	Inspecção Orlégnio	Inspecção Trem de Pouso	Inspecção na Fuselagem	Inspecção nos estabilizadores	Inspecção do sistema hidráulico	Inspecção nos tanques	Rotina de Lubrificação	Inspecção dos Componentes	Inspecção dos Cabos de Controle	Testes sem Energia	Modificações Boletim de Serviço	Inspecção Sist. de Pressurização	Fechar acessos	Pinçura	Air data Test	Teste Operacional do Motor	Instalar Trem do Pouso	Pré Entrega	Família	Lead Time (dias)
Aeronave A1	12MO	X	X	X					X		X	X	X					X						12 Meses	24
Aeronave A2	12MO	X	X	X					X		X	X	X					X						12 Meses	24
Aeronave A3	12MO	X	X	X					X		X	X	X					X						12 Meses	26
Aeronave B1	12MO	X	X	X							X	X	X					X						12 Meses	22
Aeronave B2	12MO	X	X	X							X	X	X					X						12 Meses	24
Aeronave A1	24MO	X		X	X									X				X	X	X	X	X	X	24 Meses	30
Aeronave A3	24MO	X		X	X									X				X	X	X	X	X	X	24 Meses	35
Aeronave B1	24MO	X		X	X				X					X				X	X	X	X	X	X	24 Meses	26
Aeronave B2	24MO	X		X	X				X					X				X	X	X	X	X	X	24 Meses	28
Aeronave A1	36MO	X		X	X		X	X										X	X	X	X	X	X	36 Meses	40
Aeronave A2	36MO	X		X	X		X	X										X	X	X	X	X	X	36 Meses	40
Aeronave B1	36MO	X		X	X		X	X						X				X	X	X	X	X	X	36 Meses	35
Aeronave B2	36MO	X		X	X		X	X						X				X	X	X	X	X	X	36 Meses	35
Aeronave A1	48MO	X		X	X		X	X		X				X	X	X	X	X	X	X				48 Meses	45
Aeronave A3	48MO	X		X	X		X	X		X				X	X	X	X	X	X	X				48 Meses	45
Aeronave B1	48MO	X		X	X		X	X		X				X	X	X	X	X	X	X				48 Meses	40
Aeronave B2	48MO	X		X	X		X	X		X				X	X	X	X	X	X	X				48 Meses	40
Aeronave A2	60MO	X		X	X	X	X	X	X	X				X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	Overhaul	50
Aeronave B1	60MO	X		X	X	X	X	X	X	X				X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	Overhaul	45
Aeronave B2	60MO	X		X	X	X	X	X	X	X				X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	Overhaul	45
Aeronave B1	120MO	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	Overhaul	60
Aeronave B2	120MO	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	Overhaul	60

Elaborado pelo autor (2024)

A possível família de agrupamento das manutenções de 12MO, apresentou uma variação de 20% no Lead Time, 24MO 25%, 36MO 12%, 48MO 11% e 60MO junto com 120MO 25%. Como nenhuma diferença de tempo passou de 30%, o agrupamento foi definido nas seguintes famílias: 12 Meses, 24 Meses, 36 Meses, 48 Meses e Família Overhaul que inclui as manutenções de 5 e 10 anos.

Para priorizar qual família seria mapeada, primeiramente foi realizado o cálculo do volume de vendas. Instruído pelo time de comercial, foi levado em conta que existe uma grande volatilidade de demanda, selecionando apenas a gama de aeronaves que já estão confirmadas por contrato. Dos 151 serviços, filtrou-se apenas as inspeções de programadas de aeronaves executivas, excluindo as manutenções emergenciais pontuais, as quais fogem de um escopo padrão. Restando 139 manutenções distribuídas em 5 modelos diferentes de aeronaves. De acordo com a equipe Comercial, o valor para o cliente é ter sua aeronave voando, cada minuto que ela fica parada na manutenção é prejudicial. Então o indicador utilizado para complementar a priorização foi a taxa de atrasos. O histórico de atrasos foi considerado com o critério do tempo de entrega ultrapassar o prazo estipulado com o cliente sem renegociação. A combinação dos dados está exposta na Figura 20.

Figura 20 – Demanda vs Atrasos



Elaborado pelo autor (2024)

Como descrito Figura 16, todas as manutenções pesadas incluem o pacote 12MO, conseqüentemente esta família teve uma demanda maior., contudo apenas 12% de atraso. Por outro lado a Família *Overhaul* apresentou 31% de atraso. Ao apresentar os dados para empresa, foi definido prosseguir o mapeamento priorizando a Família 12 MO, devido a dificuldade de análise proveniente da falta de amostras da Família *Overhaul*

4.2 MAPEAMENTO DO ESTADO ATUAL

A elaboração do mapa do estado atual foi iniciada com a definição dos processos que necessitavam representação. Adotou-se o critério estabelecido por Duggan (2018), onde “um processo é definido do ponto que o fluxo de valor começa até onde

ele é interrompido” e considerou-se o escopo do projeto em função TAT. As *tasks* (atividades) permitem uma visão detalhada do fluxo, porém em uma manutenção de 12 meses da família priorizada contem aproximadamente de 400 atividades e o tempo de cada uma não é bem registrado pela empresa; e as Fases permitem uma visão porta-a-porta, porém sua sequência e prazos são alterados ao longo da manutenção. Então, considerando o conceito sequencial de fluxo e a coleta de tempos necessária para o MFV, optou-se por agrupar as fases em macroprocesso com tempos e sequencias bem definidos e posteriormente se aprofundar nos detalhamentos apenas do assunto priorizado. Inserido na abrangência do TAT, o processo mais próximo do cliente é a Pré-Entrega, este é precedido pelas Inspeções, e o processo inicial é o Recebimento.

- a) O Recebimento na manutenção de aeronaves é um macroprocesso que envolve o posicionamento da aeronave dentro da sua baia no hangar, a verificação do o registro de horas de voo e ciclos de voo, além do inicio de inspeções preliminares. Estas incluem verificações visuais, checagem de kits de sobrevivência, verificações operacionais de gravadores de voz da cabine, verificação do peso dos extintores de incêndio portáteis, verificação funcional das baterias das luzes de emergência, entre outros. Estas inspeções não necessitam de mão de obra certificada.
- b) A etapa de Inspeções, refere-se as inspeções aprofundadas que exigem uma equipe de técnicos especializados e certificados para realizá-las. Todas iniciam com a abertura de painéis de acesso na aeronave para permitir a verificação dos componentes internos. As inspeções aprofundadas buscam identificar qualquer sinal que no presente ou futuro possam trazer problemas e comprometer o desempenho ou a segurança da aeronave. Nesta etapa, caso encontrado algum problema durante a inspeção, são tomadas medidas para corrigi-lo, como o reparo ou substituição completa das peças. Ao final desta etapa os acessos são fechados novamente.
- c) A Pré-Entrega envolve uma série de testes para começando como teste de sistemas de navegação e na estrutura da aeronave. Após garantir que tudo está dentro dos padrões desejados, é realizada a limpeza e preenchido a documentação.

Esta divisão em macro processos corrobora com os resultados apresentados por Kasava et al. (2015) em sua aplicação de uma adaptação do MFV focada na elevação do nível de sustentabilidade no ambiente do MRO, onde foram divididos em: Chegada, Inspeções, Reabastecimento, e Entrega.

Para complementar as informações dos processos foram definidas as métrica a serem utilizadas no mapeamento do fluxo de valor. No quesito de mensuração de tempo do macroprocesso, avaliou-se o tempo de ciclo, tempo de operação e tempo de processamento. Optou-se por escolher o Tempo de Ciclo, pois este é o único que inclui

os tempos de ineficiência, uma vez que o tempo de operação conta apenas o tempo de operação e tempo de processamento descartam os tempos de espera e atraso.

Entre o *Lead Time* e o *Turnaround Time* (TAT), que são métricas de desempenho similares, a distinção se encontra no fato de que o *Lead Time* engloba um intervalo de tempo mais amplo, incluindo não apenas o TAT, mas também o período desde o pedido do cliente até a entrega do serviço. Como este período extra não agrega valor para as análises e o TAT é a métrica padrão no setor aeronáutico, descartou-se o *Lead Time*.

O tamanho do lote, número de turnos e quantidade de operadores foram adicionados ao mapeamento, porém a quantidade de operadores sofre variações, então foi sinalizado a margem de trabalhadores possíveis. O tempo de troca e a disponibilidade da máquina foram desconsiderados, pois este indicador é útil quando se trata de um processo único e com maquinário, enquanto o escopo da pesquisa está analisando macroprocessos que contem diversos maquinários.

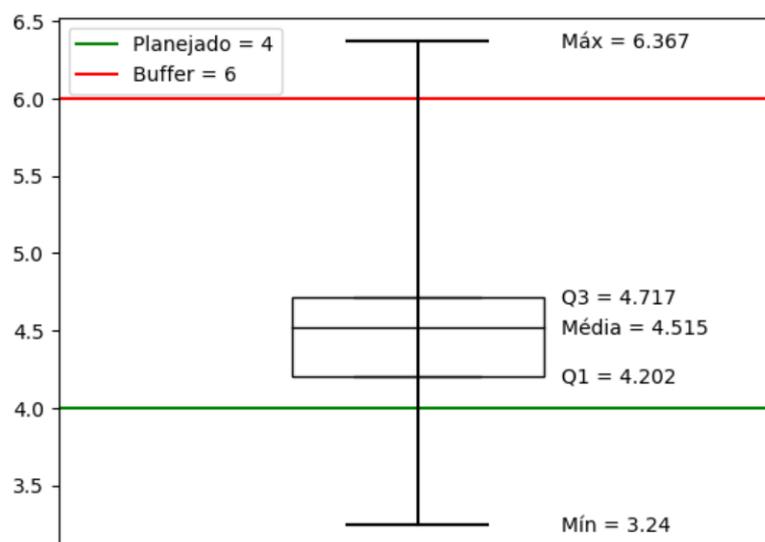
Para representar os dados de tempo de forma mais precisa no mapeamento, aprofundou-se na interpretação dos dados de cada macroprocesso, visando encontrar qual deles teria a tendência de assumir o posto de gargalo, assim gerando risco de impacto no prazo de entrega para o cliente.

Para essa manutenção programada da família priorizada, o prazo para cumprimento da manutenção acordado com o cliente é de 24 dias. Contudo, a meta interna do TAT é de 16 dias, deixando 8 dias como *buffer*. Esse *buffer* não é distribuído igualmente para cada processo, podendo ser consumido pelo processo que necessitar. Com base no histórico de dados do último ano, foi possível coletar uma amostra de 92 manutenções da Família 12 Meses, a qual foi utilizada para compreender o tempo de execução frente ao tempo de planejado, assim expondo as variações críticas. Para fins visuais, foi acrescentada ao gráfico de caixa uma linha verde representando o tempo planejado para o processo e uma linha vermelha representando o "*buffer* proporcional" ao respectivo processo para balizamento. ou seja 150% do tempo planejado.

O macroprocesso Recebimento foi projetado para ser executado em um período de 4 dias. Assim como representa a Figura 21, a análise dos tempos de execução revelou que o valor máximo observado foi de 6,463 dias, ligeiramente acima do *buffer* proporcional. O terceiro quartil (Q3) foi de 4,717 dias, indicando que 75% das execuções foram concluídas abaixo deste tempo. A média dos tempos de execução foi de 4,514 dias, sugerindo uma tendência 0,5 dias maior que o tempo planejado. O primeiro quartil (Q1) registrou-se em 4,202 dias, o valor mínimo foi de 3,240 dias, o desvio padrão foi de 0,640 dias e o coeficiente de variação ficou em 14%.

O segundo macroprocesso, Inspeções, tinha um planejamento de execução de 9 dias, com um *buffer* que estende o prazo para 13,5 dias. Os dados coletados mostraram uma máxima de 19,824 dias, excedendo consideravelmente o tempo estimado

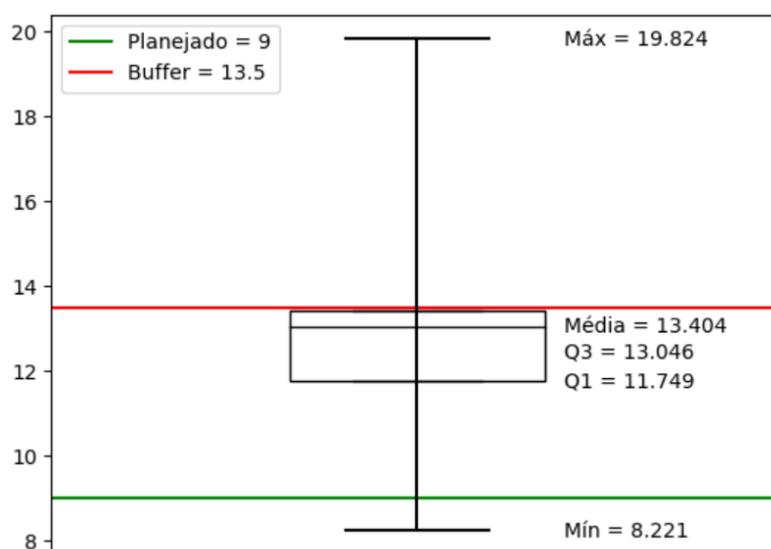
Figura 21 – Variabilidade no Recebimento



Fonte: Elaborado pelo autor (2024)

com *buffer*. O Q3 foi de 13,046 dias, e a média foi de 13,404 dias. O Q1 foi de 11,749 dias, e o valor mínimo foi de 8,221 dias como mostra a Figura 22. Foi possível identificar uma concentração de *outliers* neste macroprocesso, visto que sua média está acima do terceiro quartil. Isto acontece quando o conjunto de dados são assimétricos à direita, expondo que existe um número significativo de valores extremamente altos na amostra que tendenciam a média para cima. O desvio padrão foi de 2,882 dias, resultando em um CV de 22%. Além destas informações 24% da amostra está acima do *buffer* proporcional.

Figura 22 – Variabilidade nas Inspeções

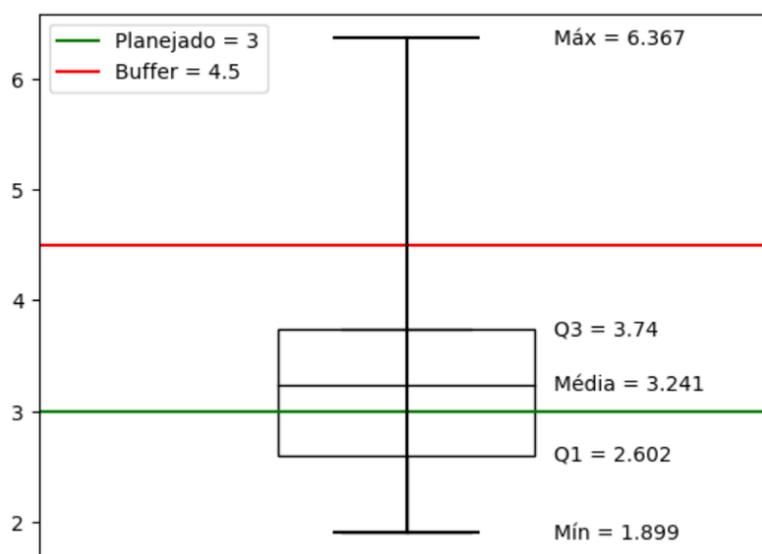


Fonte: Elaborado pelo autor (2024)

O terceiro macroprocesso foi estabelecido para ser finalizado em 3 dias, com

um *buffer* que permite até 4,5 dias para sua conclusão. A análise indicou um valor máximo de 6,367 dias, o único *outlier* da Pré-Entrega, superando o *buffer* proposto. O Q3 situou-se em 3,740 dias, a média em 3,241 dias, e o Q1 em 2,602 dias. O desvio padrão foi 0,683 dias e oCV ficou em 21%. O valor mínimo registrado foi de 1,899 dias. Os resultados são apresentados na Figura 23.

Figura 23 – Variabilidade na Pré-Entrega



Fonte: Elaborado pelo autor (2024)

Os fluxos dos processos está intrinsecamente ligado aos fluxos de informação, o qual parte do cliente em direção ao comercial. Esta área tem o papel de coletar as necessidades do cliente via *email* ou telefone, checar a disponibilidade de datas para agendar as manutenções e confirmar demanda para o planejamento. Por sua vez, o planejamento tem o papel estratégico de gerenciar a ocupação e a capacidade de atendimento do centro de serviço, planejando a longo prazo as datas de atendimento de aeronaves do hangar. Quando chega uma nova demanda o planejamento tem a responsabilidade de técnica de montar o escopo de trabalho, definindo as horas necessárias para cada atividade, qual a melhor ordem de realizá-las, e sinalizar os recursos necessários para as áreas de materiais e ferramentas. A área de materiais é responsável por conferir no estoque se todas as peças requisitadas estão disponíveis para garantir que podem ser utilizadas na data estipulada, enquanto a ferramentaria confere se tem todas as ferramentas necessárias para manutenção em questão, ambos sinalizam para o planejamento via sistema.

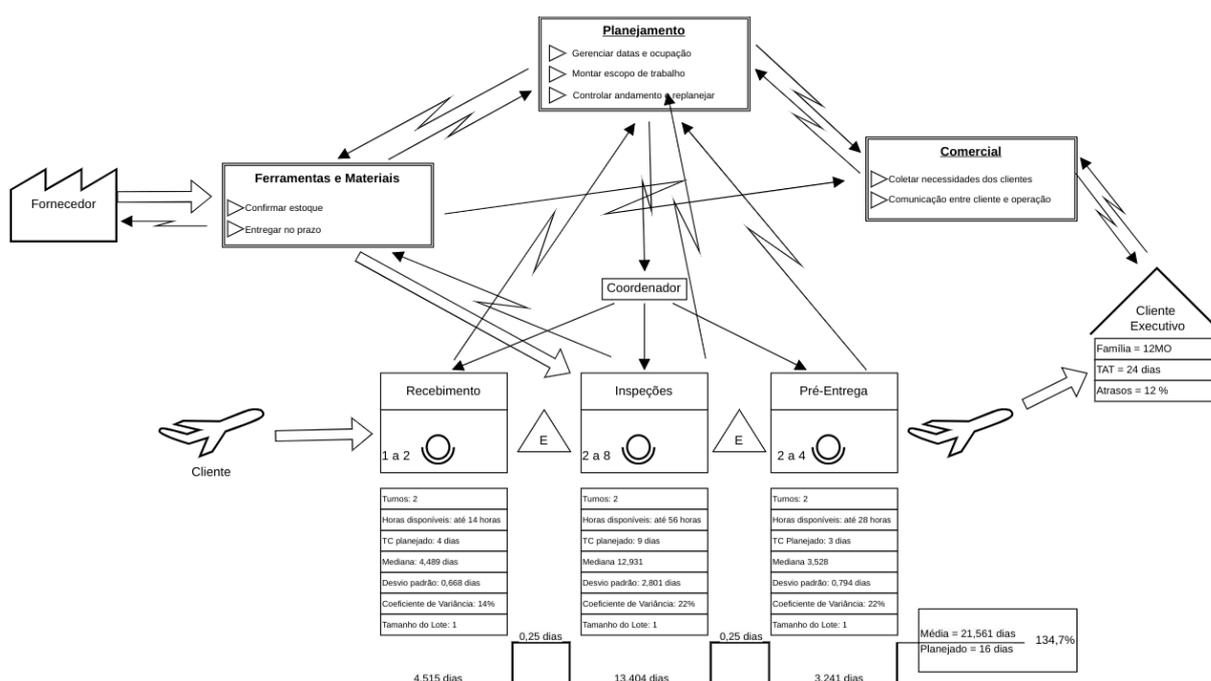
Durante a manutenção a equipe de planejamento tem a responsabilidade de operacionalizar a programação, a informação do lote de atividades é passada para o coordenador via sistema. Mesmo a pesquisa focando em uma manutenção, é importante ressaltar que caso aconteça alguma urgência, outra das cinco manutenções que estão ocorrendo paralelamente, o planejamento realoca a mão de obra para ae-

ronaves que estejam com mais prioridade de prazo, alterando a ordem das atividades realizadas no início.

O coordenador da manutenção, que é o técnico mais experiente, é responsável por entrar no sistema, imprimir as atividades proposta pelo planejamento para a equipe de manutenção, e distribuí-las para a equipe acompanhado-as e ajudando na resolução de problemas. Ao final de toda atividade os técnicos registram no sistema, permitindo o acompanhamento do andamento para todas as áreas.

Quando são encontrados *findings* o fluxo de informação também é acionado, o inspetor adiciona no sistema a situação e solicita os recursos necessários. Os técnicos avaliam a possibilidade de reparo, a área de Materiais verifica se tem a peça no estoque, caso não tenha Comercial faz a cotação de uma peça nova e aciona o cliente para tomar a decisão. Após a definição, a área de planejamento avalia a necessidade de reprogramações.

Figura 24 – Mapeamento do Fluxo de Valor do MRO



Fonte: Elaborado pelo autor (2024)

Para desenhar o mapa do estado atual, foi evidenciado algumas divergências entre a proposta inicial de Shook e Roher (2003) e da manutenção de aeronaves. A simbologia de passagem do “fluxo de materiais” entre os processos na manufatura é representada ou pela seta da produção empurrada, ou produção puxada ou FIFO (estoque entre processos controlado que segue a lógica “primeiro que entra, primeiro que sai”). Na manutenção de aeronaves, como se trata de um layout posicional, não existe fluxo de materiais entre os processos. Além disso como os processos não são repetitivos, ou seja, não recebem a próxima aeronave até que a manutenção ter-

mine por completo, não existe WIP. O que ocorre entre os processos é uma espera da aeronave pelo planejamento ou próxima equipe, que foi representado como tempo de estoque, o qual no pior cenário espera 4 horas. Este fator impossibilita a análise da taxa de agregação de valor, então calculou-se a taxa entre o executado sobre o planejado. O fluxo completo pode ser visualizado na Figura 24.

O resultado do mapeamento, assemelha-se à abordagem híbrida do Lean com TOC utilizada pelo estudo de Garza-Reyes (2018) na gestão de sua frota de ambulâncias, a qual permitiu uma análise mais aprofundada dos recursos, onde proporcionou informações para a identificação e superação de restrições específicas, como o processo de transferência de pacientes e o tempo de resposta das ambulâncias.

4.3 IDENTIFICAÇÃO DAS RESTRIÇÕES

4.3.1 Definição do Problema

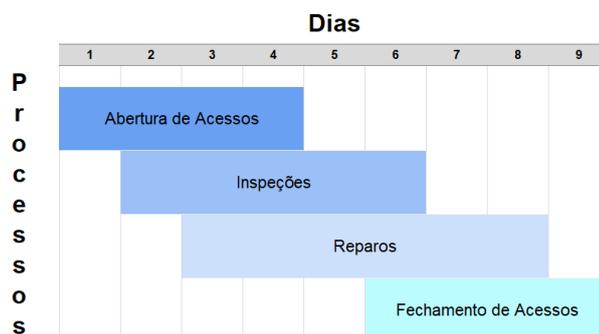
Após o entendimento do estado atual, foram reunidas as pessoas estratégicas em um *workshop* para iniciar a análise de Causa e Efeito guiada pela metodologia do Diagrama de Ishikawa. Primeiramente buscou-se definir o problema prioritário em conjunto, e para isso aprofundou-se nas etapas do macroprocesso de inspeção:

O processo de abertura de acessos é realizado por uma equipe de mecânicos que não precisa de uma certificação especial e tem como objetivo viabilizar as inspeções dos componentes críticos da aeronave, esta etapa inclui tanto aberturas simples, como desparafusar o revestimento da fuselagem, até processos mais complexos que exigem mais precisão e tempo, como a retirada do motor ou trem de pouso. Cada acesso aberto é seguido por uma inspeção dedicada, onde apenas técnicos certificados podem ser alocados para execução, esta etapa tem o intuito de realizar diversas verificações em relação a qualidade, confiabilidade, eficiência e segurança dos componentes críticos. Quando alguma peça mostra inconformidades com o padrão exigido pela Agência Nacional de Aviação Civil (ANAC), este evento é chamado de *finding*, onde a situação passa por uma análise e define-se entre o descarte da peça danificada e reposição com uma nova, ou o reparo da peça antiga. Após garantir que tudo está no devido padrão de qualidade fecham-se os acessos.

Estes processos tem precedência, e precisam ocorrer nessa sequência, contudo cada componente crítico (motores, sistemas elétricos, hidráulicos, fuselagem, trem de pouso, asas, etc.) é independente e pode ser trabalho de forma paralela, dependendo da alocação de mão-de-obra, assim como indicado na figura 25.

Para determinar o foco principal da análise, considerou-se que o macroprocesso de inspeção excedeu o *buffer* proporcional que totaliza 13,5 dias em 22 ocasiões, 24% da amostra. Observou-se que 100% dos atrasos ocorreram concomitantemente a esses eventos, indicando uma correlação significativa. Com base nessa constatação,

Figura 25 – Macroprocesso de Inspeção

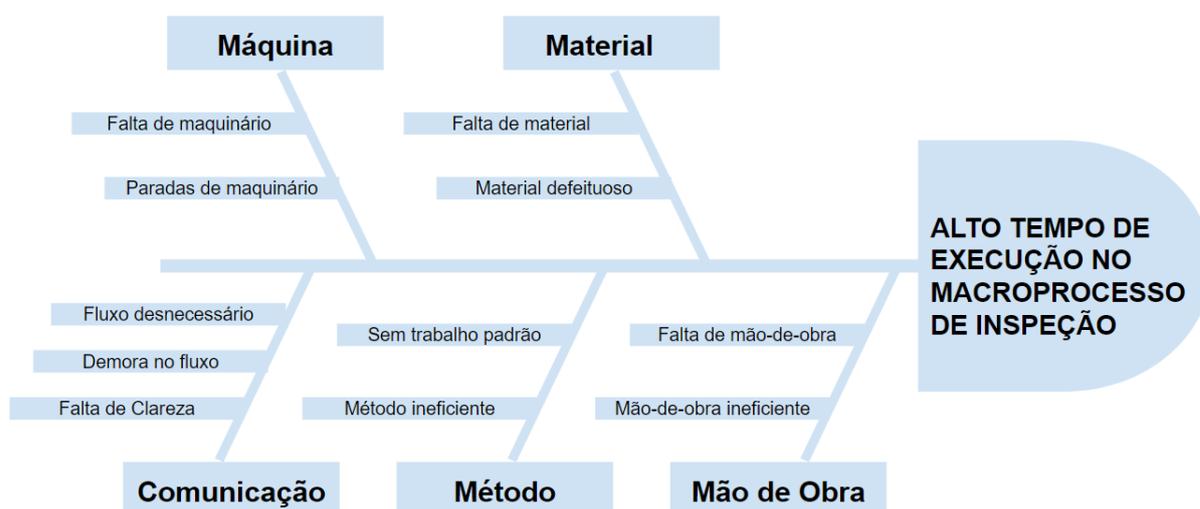


Elaborado pelo autor (2024)

decidiu-se priorizar a investigação das instâncias em que houve a superação do *buffer*. A escolha foi feita pelo fato de o *buffer* ser projetado para absorver flutuações antecipadas, portanto, essa taxa de ultrapassagem merece atenção detalhada.

A causas primarias foram segmentadas com base nos recursos básicos propostos pela Toyota, os 4Ms (material, máquina, mão-de-obra e método) e foi acrescentado um ramo para comunicação que apresentou ter grande influência no processo. Através da prática do *brainstorm* as principais causas secundárias foram inseridas no Diagrama de Ishikawa, como mostra a Figura 26.

Figura 26 – Diagrama de Ishikawa do Alto Tempo de Execução



Elaborado pelo autor (2024)

4.3.2 Análise dos Matéria-Prima

Matéria prima, no contexto do MRO, é considerado tanto as peças. As causas secundárias levantadas em função dos materiais foram: falta de matéria-prima ou matéria-prima defeituosa. Para analisar esta hipótese, foi utilizada a base de dados do

"Registro de Paradas", onde os técnicos apontam as paradas na atividade devido a qualquer inconformidade. Não foi sinalizada nenhuma parada por defeito do material.

Analisando os registros referente a falta de materiais, dentre a amostra de 92, em 47 aeronaves houveram paradas por falta de material representando 51% da totalidade, enquanto nas 22 extrapolações de *buffer*, concentram-se 17 sinalizações de falta de material (três delas tiveram 2 faltas de material), representando 77%. Para investigar a correlação, foi utilizado o teste de correlação ponto-bisseral, o coeficiente de correlação resultou em 0,562, apresentando uma tendência moderada de que, quando o tempo de execução aumenta, a probabilidade de existir um registro de paradas aponta falta de material também aumenta. Além disso, 90% das aeronaves que atrasaram tiveram paradas por materiais e todas estas paradas foram concentradas no processo de reparo, como mostra a Figura 27.

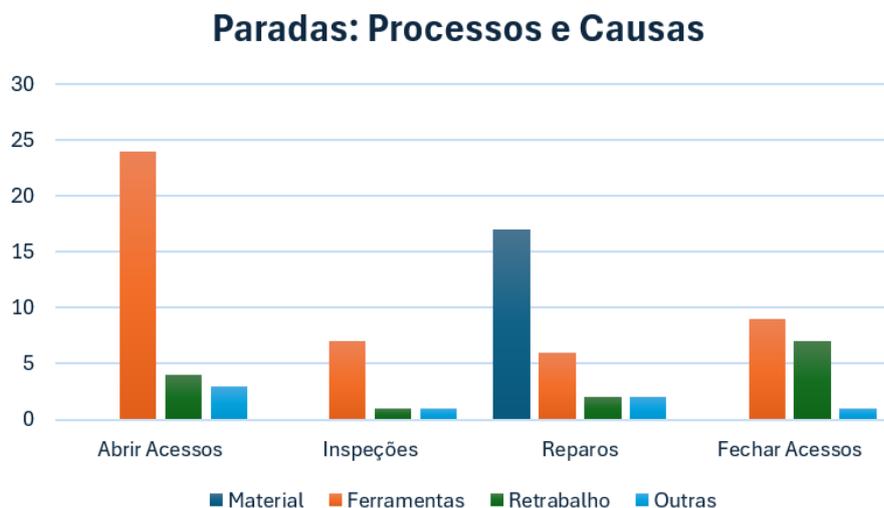
Para se aprofundar mais na causa, foi realizada uma entrevista com a área de Materiais. Na manutenção planejada, os materiais são entregues para o hangar com uma semana de antecedência, contudo quando são encontrados os *findings*, é lançado um sinal urgente para a área de materiais entregar a peça, e rotineiramente a peça requisitada está zerada no estoque devido a falta de previsibilidade, tendo que acionar o processo de compra.

4.3.3 Análise das Máquinas

As Máquinas englobam desde ferramentas simples como parafusadoras comuns até equipamentos projetados especificamente para um modelo de aeronave. Para máquinas também levantou-se as hipóteses de: falta ferramenta ou as ferramentas não estão boas para uso.

Analisando os registros de parada, filtrando paradas por ferramentas nos processos que extrapolaram o *buffer*, foram 46 paradas na amostra de 22 extrapolações, uma média de aproximadamente 2,09 paradas por aeronave. Todas as aeronaves que estouraram o *buffer* tiveram no mínimo uma parada por causa de ferramenta. Das 46 paradas, 41 foram por falta de ferramenta impedindo o início da atividade, e 5 por má qualidade da ferramenta. Os registros de parada por ferramenta ocorreram em todos os processos, a Figura 27 mostra a distribuição.

Para se aprofundar nas causas realizou-se uma entrevista com a ferramentaria para entender o processo. Quando o planejamento insere a manutenção no sistema, o responsável pelo maquinário precisa confirmar se a empresa possui todos equipamentos necessários. Contudo, foi relatado que frequentemente quando o técnico vai retirar a ferramenta ou equipamento, o mesmo não está disponível. Como as ferramentas são compartilhadas para todoMRO, vários serviços competem pelos mesmos recursos, a ferramenta necessária pode estar sendo utilizada no mesmo hangar ou em outra cidade para manutenções fora de base.

Figura 27 – Registro de Paradas nas amostras que extrapolaram o *buffer* proporcional

Elaborado pelo autor (2024)

4.3.4 Análise Mão-de-Obra

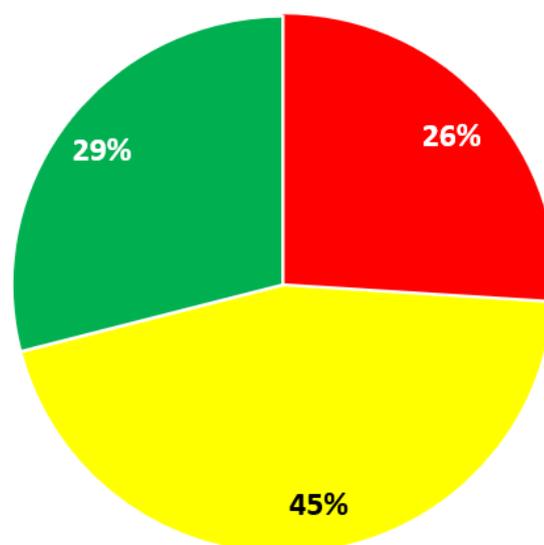
Para Mão-de-Obra analisou-se as hipóteses de causa-secundária: falta mão-de-obra ou mão-de-obra ineficiente. Não foi possível analisar a falta de mão-de-obra, pois não existe registro de quantidade de replanejamentos por falta de inspetores certificados ou quantidade de vezes que a tarefa foi alocada com menos técnicos do que deveria. Impossibilitado de realizar a análise quantitativa, foi coletada a percepção com o planejamento e da alta liderança, que validou a falta de técnicos certificados para realizar o processos de inspeção e reparo é uma causa raiz, pois estão com índices altos de *turnovers* nesta posição.

Buscando compreender a eficiência da mão-de-obra, através da técnica amostragem de trabalho foi possível observar a proporção do tempo gasto entre atividades que agregam valor, atividades que não agregam valor, mas são necessárias e desperdício, assim como mostra a Figura 28. Apenas 29% do tempo observado foi direcionado para tarefas que agregam valor, enquanto 45% do tempo foi dedicado para atividades que não agregam valor, contudo se mostram necessárias, já os desperdícios representaram 26% do tempo na amostragem.

Analisando mais a fundo as ineficiências, dentre a amostra de atividades necessárias, o tempo gasto para realizar o *setup* ou preparações para tarefa se destacou representando 26%. A fonte de desperdício mais representativa foi o tempo dedicado para movimentações desnecessárias com 11% como mostra a Figura 29.

Esta análise foi útil para esclarecer o funcionamento de uma etapa da manutenção, porém o tamanho desta amostragem, somado com a falta de parâmetros de eficiência para avaliar se estes valores, a ineficiência não foi considerada uma possível restrição, contudo continua sendo uma oportunidade de melhoria de desempenho.

Figura 28 – Gráfico amostragem de tempo



■ Desperdício ■ Necessário ■ Agrega

Elaborado pelo autor (2024)

Figura 29 – Tabela amostragem de tempo

Classificação	Minutos Observados	%
Agrega Valor	210.5	29%
Movimentação	82.3	11%
Espera	36.1	5%
Defeito	26.1	4%
Transporte	22.9	3%
Super Processamento	19.4	3%
Setup	184.8	26%
Comunicação no sistema	42.9	6%
Conferir método	41.5	6%
Preencher Documentação	37.2	5%
Limpeza	16.3	2%
	720	100%

Elaborado pelo autor (2024)

4.3.5 Análise Método

Para a causa Método, foi coletado a possibilidade de falta trabalho padronizado conferindo se todas as áreas e todos os fluxos de informação tem um padrão, e se o trabalho padronizado existe a possibilidade do método causar um desempenho abaixo do esperado. O único processo que apontou falta de método padronizado foi "Controlar

o andamento e replanejar caso necessário"do planejamento.

Durante a entrevista com a equipe de planejamento, ficou evidente que, devido à natureza flexível das atividades, que podem ser realizadas simultaneamente e em ordens variáveis, não se adota uma metodologia específica para estabelecer o caminho crítico do projeto nem a corrente crítica. Isso afeta o processo de replanejamento, o qual é feito com base no conhecimento empírico. Além disso, o gerenciamento do *buffer* é feito sem um método, apenas alocando a mão-de-obra onde o prazo está mais crítico. Ao questionar as dificuldades do planejamento, foi relatado que eles não conhecem o tempo de execução de cada tarefas, pois os tempos registrados pelos técnicos tem muita variação e utilizam o "*flat rate*", tempo da atividade sugerido pelo Manual de Manutenção da Aeronave (AMM), como base para planejar cada manutenção e contam com suporte do coordenador da manutenção para auxiliar no controle da operação.

4.3.6 Análise Comunicação

A comunicação pode estar impactando na variação do tempo do processo, caso o fluxo de informações se perca ou demore para chegar. Durante o *workshop* foi relatado falha na passagem da informação entre os inspetores que criam o chamado do *finding* e a área comercial que tem a função de atualizar o cliente sobre o ocorrido.

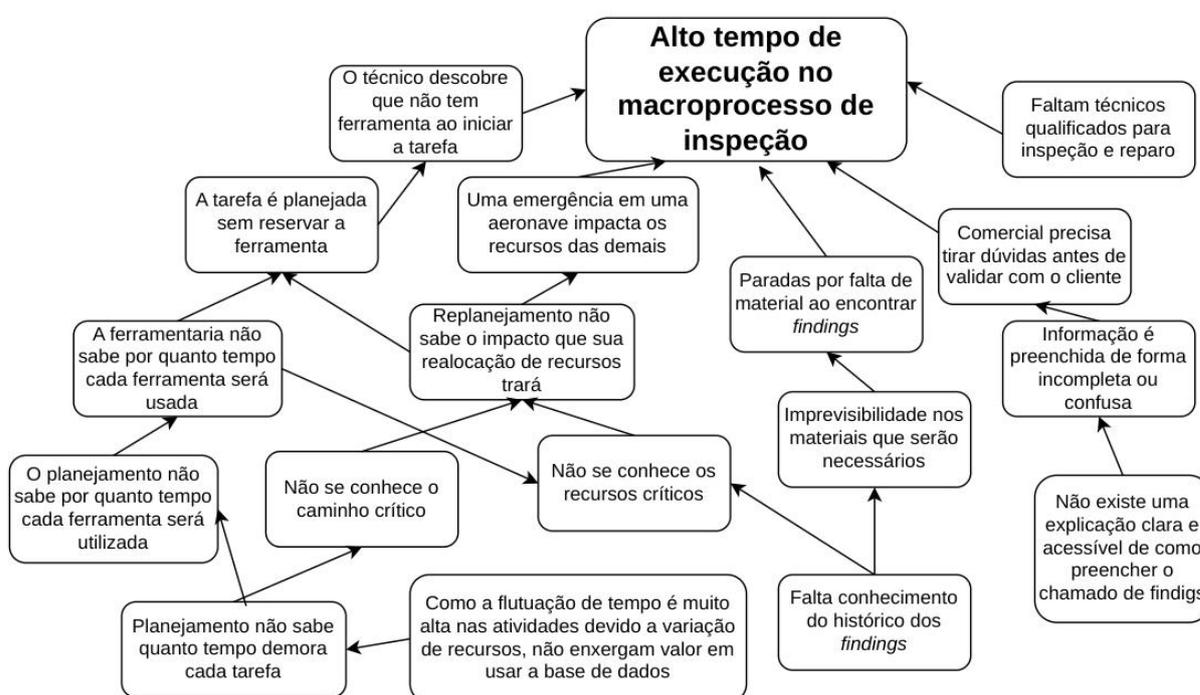
Buscando compreender mais a fundo o que causa esta falha na comunicação, compreendeu-se que quando ocorre um *finding* em uma inspeção, os inspetores relatam o encontrado em um campo do sistema, esta informação vai para materiais realizar a cotação, planejamento reprogramar as atividades e caso precise coletar uma tomada de decisão, para o Comercial contatar o cliente. Contudo cada colaborador escreve com características diferentes, gerando falha no entendimento da mensagem, necessitando que comercial contate novamente quem escreveu a informação. Este retrabalho tem risco de impactar diretamente no tempo do TAT caso a decisão do cliente faça parte do caminho crítico.

4.3.7 Árvore da Realidade Atual

Após analisar mais profundamente as possíveis causas da variações no tempo de execução do macroprocesso de inspeção, foi possível perceber que muitos fatores podem impactar diretamente o desempenho do sistema. Como estes fatores agem simultaneamente, isolar as consequências de cada um para encontrar a restrições mais prioritária foi inviável. Então visando compreender de forma clara as possíveis relações entre as causas listadas, estas foram organizadas em um Árvore de Realidade Atual (CRT) na Figura 30. As causas que mostraram potencial de impacto direto no TAT guiaram o início da dinâmica: Falta de materiais durante o reparo, falta de ferramentas, planejamento não conhecendo precisamente o tempo de cada tarefa, falha na comunicação com o comercial e falta de técnicos qualificados para inspeção e reparo.

A partir da conexão entre as causas, foi possível identificar a relação de causa e efeito entre diferentes ramos da CRT. Identificou-se que os problemas de materiais, mão-de-obra e comunicação que ocorrem no processo de *findings*, a direita da figura 30, mesmo sem conexões diretas, estão ligadas aos eventos de *findings*. A causa raiz que afeta tanto as dificuldades do planejamento, quanto da ferramentaria estão conectadas: a ferramentaria não mantém um registro de disponibilidade das ferramentas, porque para eles sofrem com a incerteza de quando a ferramenta retornará, e isso ocorre porque o planejamento não conhece o tempo das atividade. Esta mesma causa dificulta a criação de um caminho crítico para guiar os replanejamentos.

Figura 30 – Árvore da Realidade Atual



Fonte: Elaborado pelo autor (2024)

4.4 GERENCIAMENTO DAS RESTRIÇÕES DO SISTEMA

Com base na CRT, foram consideradas duas restrições principais do sistema. A falta de conhecimento de tempo da execução das tarefas e o processo de reparo.

A falta de conhecimento de tempos da execução das tarefas foi identificado como uma restrição gerencial e precisa ser eliminada, pois impacta diretamente na dificuldade de controlar a disponibilidade das ferramentas e também no controle do andamento da execução, conseqüentemente afetando o TAT. Paralelo a isso, três causas raízes foram confirmadas em torno do evento de *findings* - a falha no preenchimento do chamado de *findings*, a falta de conhecimento histórico de materiais para reparo e falta de técnicos qualificados para inspeção e reparo. Os *findings* são encontrados no

processo de inspeção, determinando o início do processo de reparo. Assim definiu-se que a restrição do sistema é o processo de reparo. O processo de reparo é classificado como uma restrição de natureza física, ou seja, para garantir a otimização de sua eficiência, a mesma nunca deve ficar aguardando outro recurso ou necessitar de retrabalho.

Em decorrência deste cenário, foi proposto ao time de planejamento a aplicação da metodologia Tambor-Pulmão-Corda (DBR) da seguinte forma:

O processo de reparo deve ser tratado como o tambor, isso significa que todas as outras atividades de manutenção devem ser sincronizadas e subordinadas ao ritmo desse processo. Como foi identificado que este processo tem a tendência de atrasos, a alocação de mão de obra precisa ocorrer de forma que os processos de inspeção aconteçam o mais cedo possível, e conseqüentemente os processos de abertura de acessos também tem que acontecer o mais cedo possível.

O pulmão, ou *buffer*, deve ser resguardado para ser consumido neste processo. Originalmente o pulmão na manufatura se refere ao tempo necessária para o gargalo consumir todos os produtos semi-acabados que estão no estoque intermediário formado pelo processo anterior. Neste caso da manutenção, o pulmão foi adaptado para o *buffer* de tempo, que caso precise ser consumido, tem que estar disponível para o processo tambor. Além do tempo é necessário garantir maior previsibilidade e disponibilidade de materiais e ferramentas para este processo.

E a corda representa o mecanismo de comunicação que garante a sincronização dos demais processos e recursos em função do tambor. Além disso, deve garantir o fluxo de comunicação inverso, informando qualquer desvio de outras partes que possa impactar o tambor, visando antecipar e mitigar os riscos de forma ágil.

Para viabilizar que o tambor não sofra pausa, ou seja, haja um menor tempo possível de reposta para reparo dos *findings*, foram definidos os seguintes planos de ação:

- a) **O QUÊ:** Melhorar a disponibilidade de estoque dos materiais através de uma análise histórica de *findings*.
- b) **POR QUÊ:** A falta de materiais impacta diretamente no processo de reparo e no TAT
- c) **ONDE:** Estoque central (externo ao hangar) da empresa.
- d) **QUEM:** Área de Materiais.
- e) **QUANDO:** Até dezembro de 2024.
- f) **COMO:** Realizar uma coleta do histórico de reparos para identificar os materiais frequentemente necessários, idealmente ampliando a coleta de dados para incluir informações de outras empresas e fontes globais, proporcionando uma visão mais completa dos padrões de falhas. Calcular a pro-

babilidade de necessidade de cada material, levando em conta o modelo específico da aeronave e sua idade, para prever quais peças têm maior probabilidade de serem requeridas por tipo de aeronave e idade. Comparar o custo benefício de manter um estoque dessas peças críticas com o tempo necessário para adquiri-las quando não estão disponíveis, visando o equilíbrio entre evitar atrasos e minimizar os custos de armazenamento. Acrescentar o processo para materiais avaliar periodicamente as manutenções programadas e efetuar as compras de materiais. Acrescentar o processo ao Comercial, antes da chegada da aeronave, mostrar as análises de probabilidade e custo para o cliente ficar ciente, podendo efetuar a compra de algum material previamente caso deseje.

- a) **O QUÊ:** Implementação de campos de preenchimento dedicados no sistema para informações cruciais relacionadas aos *findings*
- b) **POR QUÊ:** A falha na comunicação gera atrasos na tomada de decisão do cliente que pode impactar o TAT.
- c) **ONDE:** No sistema de comunicação de manutenção utilizado pelos inspetores.
- d) **QUEM:** A equipe de TI será responsável pela implementação técnica, enquanto os gestores de processo garantirão a adoção pelos colaboradores.
- e) **QUANDO:** Até agosto de 2024.
- f) **COMO:** Adaptação da interface de usuário, de forma que tenham campos obrigatórios e instruções claras sobre como preencher cada campo. Seguido de um treinamento para toda a equipe sobre como utilizar e a importância da adoção.

Para eliminar a restrição gerencial referente a falta de conhecimento dos tempos das tarefas e viabilizar um planejamento de uso das ferramentas e uma visão de caminho crítico.

- a) **O QUÊ:** Realizar uma análise estatística para cruzar a base de dados de tempos com registros de paradas por falta de material e ferramentas, e também pelo número de técnicos alocados em cada tarefa.
- b) **POR QUÊ:** Para determinar se existe uma variação significativa em todos os processos ou se alguns são de natureza mais previsível.
- c) **ONDE:** No departamento de planejamento de MRO.
- d) **QUANDO:** Até maio 2025.
- e) **QUEM:** A análise será realizada pela equipe de planejamento.
- f) **COMO** Procurar ferramentas estatísticas para analisar os dados para identificar padrões e correlações que se adéquem a este cenário.

Visto que esta é uma solução foi avaliada como complexa pela equipe, e o time de planejamento, tem muitas responsabilidades paralelas, foi definido um prazo de um ano. Então foi definida uma contramedida que possa ser realizada mais cedo para amenizar as consequências do problema. Como solução rápida, porém não definitiva, foi delegado para o coordenador da manutenção checar as atividades planejadas no dia anterior, listar as ferramentas necessárias e confirmar sua disponibilidade com a ferramentaria, evitando que as atividades sejam paradas na metade por falta deste recurso. Contratações devido aos relatos de falta de mão de obra não fazem parte do escopo do projeto. Além disso, considerando a eficiência da mão de obra, ficaram como recomendações futuras para a equipe do MRO análise da viabilidade da aplicação da metodologia SMED para redução do tempo de setup.

5 CONSIDERAÇÕES FINAIS

5.1 ATINGIMENTO DOS OBJETIVOS DE PESQUISA

O objetivo geral deste trabalho foi alcançado na aplicação do Mapeamento do Fluxo de Valor combinado com a Teoria das Restrições para apoiar a melhoria contínua nas manutenções pesadas de aeronaves. Entretanto a dinâmica do MRO se mostrou muito distinta da manufatura, fazendo-se necessários reinterpretações e adaptações para concluir com êxito o mapeamento.

A essência da ferramenta é a análise do fluxo, pois como na manufatura existe uma sequência lógica entre os processos principais, o produto vai fluindo na medida que a linha está balanceada, e os gargalos ficam visíveis com clareza. Por outro lado, no MRO o produto permanece estático enquanto os colaboradores deslocam-se até ele para efetuar a agregação de valor. Essa agregação de valor ocorre em pequena escala e simultaneamente em múltiplas zonas da aeronave. Pois, tratando de manutenção preventiva, o valor perseguido pelo cliente não se limita aos reparos, ele inclui também a documentação obtida através de cada inspeção, a qual atesta a conformidade de todos os componentes da aeronave. Tal dinâmica impõe desafios tanto na representação gráfica quanto na metodologia de análise originalmente proposta pelo MFV.

Principalmente na etapa de mapeamento do estado futuro, os métodos de melhoria sugeridos por Shook e Rother (2003) são direcionados à transformação de linhas de produção tradicionais. No entanto, como o contexto do MRO apresenta variações no tempo dos processos, necessidade de materiais específicos sem aviso prévio, recursos compartilhados entre várias manutenções e a possibilidade de aeronaves pousarem em emergência, cria-se um ambiente de trabalho imprevisível. Conceitos como Takt Time, Supermercado, Processo Puxador e Balanceamento de Linha são fundamentais em ambientes com processos e demandas estáveis, mas no MRO, essas práticas não são aplicáveis ou requerem adaptações significativas, sem a certeza de resultados eficazes.

Diante dessa realidade, a abordagem proposta por Srinivasan et al. (2014) de complementar o MFV com a TOC se mostrou promissora. Ao utilizar o mapa do estado atual como insumo, somado a outros artifícios como o Diagrama de Ishikawa e análises estatísticas, a pesquisa realizada identificou as principais restrições do ambiente estudado. Adicionalmente os planos de ação para elevar o nível do fator limitante do sistema, o processo de reparo dos *findings*, foram elaboradas de forma assertiva atacando os pontos prioritários, garantindo o engajamento dos responsáveis em proporcionar uma redução no TAT mesmo em um ambiente caótico.

5.2 LIMITAÇÕES DO TRABALHO E RECOMENDAÇÕES

O estudo alcançou seus objetivos, mas enfrentou algumas limitações. No presente estudo de caso, trabalhou-se com uma base de dados relativamente pequena, o que limitou a análise e comparação quantitativa entre as possíveis causas de interrupção e as restrições identificadas. Os registros de paradas, apesar de úteis para mostrar o volume de interrupções, não refletem adequadamente o impacto no fluxo devido à falta de dados sobre a duração das paradas, tornando impossível mensurar a gravidade do impacto.

Além disso, a análise da eficiência da mão de obra enfrentou desafios devido ao tamanho limitado e à seleção não aleatória da amostra, o que comprometeu a precisão dos resultados. Por isso, recomenda-se uma investigação mais aprofundada no local para compreender plenamente as oportunidades de aprimoramento da eficiência. Isso deve incluir uma avaliação detalhada da carga de trabalho e das competências dos técnicos, com o objetivo de verificar se a mão de obra constitui uma restrição significativa no processo.

Uma das maiores contribuições do mapeamento do estado atual foi a identificação da importância do fluxo de informações para o MRO. A TOC também enfatiza o quão crucial é garantir que o fluxo proporcione respostas ágeis das áreas de apoio, como materiais e ferramentas, para que não haja quedas de eficiência da restrição. Portanto, enxerga-se potencial na utilização do Mapeamento do Fluxo de Valor sob a ótica do conceito do *Lean Office* (Escritório Enxuto) em futuras pesquisas no MRO focadas na melhoria do fluxo de informação.

Este estudo concentrou-se primordialmente nas manutenções programadas, sem focar no impacto das atividades não planejadas, que afetam a estabilidade do sistema, consomem recursos e geram replanejamentos. Ao longo do processo, identificou-se que esse é um de vários fatores que impactam o sistema simultaneamente. A avaliação do impacto isolado de uma restrição em um sistema com diversas variáveis é complexa principalmente devido à interação mútua entre as restrições como foi observado no MRO. Além disso, essa interdependência entre as restrições torna complexa a tarefa de mensurar e atribuir prioridades, pois a gravidade de uma restrição pode ser influenciada pela presença e estado de outras restrições no sistema.

Portanto, sugere-se a realização de futuras pesquisas voltadas para análises estatísticas detalhadas, com o objetivo de determinar com maior precisão as correlações existentes entre as diversas causas e efeitos. Para uma compreensão mais completa do sistema, é recomendado que essas pesquisas integrem todas as demandas (planejadas e não planejadas) do MRO, que compartilham os mesmos recursos críticos.

Por fim, sugere-se futuras pesquisas para explorar a aplicação da abordagem híbrida, combinando MFV e TOC, especialmente em nichos de mercado com carac-

terísticas de variabilidade, visando validar sua eficácia e adaptabilidade. Além disso, a incorporação de tecnologias, como *Machine Learning*, pode auxiliar a distinguir entre instabilidades internas, que precisam ser corrigidas, e externas, para as quais o sistema precisa estar preparado. Assim, aumentando a precisão na identificação e resolução de gargalos e restrições.

6 REFERÊNCIAS

ASLAN, Metin Emin. **Artificial intelligence applications selection via mcdm methods in aviation maintenance, repair and overhaul industry**. graduate school of science and engineering of galatasaray university, 2022.

AYENI, Peter; BAINES, Tim; LIGHTFOOT, Howard; BALL, Peter. **State-of-the-art of 'Lean' in the Aviation Maintenance Repair Overhaul Industry (MRO)**. Proceedings of the Institution of Mechanical Engineers Part B Journal of Engineering Manufacture, 2011.

AYENI, Peter; BALL, Peter; BAINES, Tim. **Towards the strategic adoption of Lean in aviation Maintenance Repair and Overhaul (MRO) industry**. Journal of Manufacturing Technology Management, 2016.

BRITO, Anderson A.; LELIS, Alexandre T.; GOMES, Maryjane D. A; COSTA, Gabriela Gomes ; SILVA, Felix L.; PALMA Marcia Cristina M. M. **Classificação do coeficiente de variação em experimentos com Macrobrachium amazonicum**. Revista Ibero-Americana de Ciências Ambientais. 2022

CARPINETTI, Luiz. **Gestão da Qualidade Conceitos e Técnicas**. Editora Atlas, Segunda Edição, São Paulo, 2012.

CARVALHO, Dinis; RATNAYAKE, Chandima; FERRETE, L. **Implementation of Lean Principles for Performance Improvement: Use of VSM+WID for Waste Identification**. Department of Production and Systems, Algoritmi Centre, University of Minho, Guimarães, Portugal, 2018.

CAUCHICK, P. A. M. **Estudo de caso na engenharia de produção: estruturação e recomendações para sua condução**. Production, v. 17, p. 216-229, 2007

DETTMER, H. William. **Beyond Lean Manufacturing: Combining Lean and the Theory of Constraints for Higher Performance**. Theory of Constraints International Certification Organization, 2001.

DUGGAN, Kevin J. **Creating mixed model value streams: practical lean techniques for building to demand**. CRC Press, 2018.

ERLACH, Klaus. **Value Stream Design the way towards a Lean Factory**. Fraunhofer Institute for Manufacturing Engineering and Automation IPA. 2013

FERRO, José R. **A essência da ferramenta "Mapeamento do Fluxo de Valor"**. São Paulo, Lean Institute Brasil, 2003.

FILHO, Dalson Britto Figueiredo. JÚNIOR, José Alexandre da Silva. **Desvendando os Mistérios do Coeficiente de Correlação de Pearson (r)**. Periodicos UFPE, 2010

FINKLER, Steven A.; KNICKMAN James R.; HENDRICKSON, Gerry; LIPKIN, Mack; THOMPSON, Warren G. **Comparison of Work-Sampling and Time-and-Motion Techniques for Studies in Health Services Research**. SR: Health Services Research , 1993.

GARCIA, C. H. **Tabelas para classificação do coeficiente de variação**. Piracicaba: IPEF, 1989.

GARZA-REYES, Jose Arturo; VILLARREAL, Bernardo; KUMAR, Vikas; RAMIREZ, Jenny Diaz. **A lean-TOC approach for improving Emergency Medical Services (EMS) transport and logistics operations**. Journal of Supply Chain Management, 2018.

GOLDRATT, Eliyahu. **A Meta**. Nobel, 1984.

GOLDRATT, Eliyahu. **Critical Chain**. The North River Press, 1997.

GOLDRATT, Eliyahu. **Standing on the Shoulders of Giants Production concepts versus production applications The Hitachi Tool Engineering example**. Gest. Prod., São Carlos, v. 16, n. 3, p. 333-343, jul.-set, 2008.

GOLDRATT, Eliyahu. **What is This Thing Called Theory of Constraints and How Should It Be Implemented?** The North River Press, 1990.

HALPERN, Nigel; GRAHAM, Anne. **The Routledge Companion to Air Transport Management**. Routledge, 2018

JENKINS, James L; ORTH, Daryl L; **Productivity Improvement Through Work Sampling**. Cost Engineering; Morgantown Vol. 46, Ed. 3, Mar 2004.

KASAVA, Nithia K. ; YUSOFA, Noordin M. ; KHADEMIA, Alireza; SAMANA, Muhammad Z. T. **Sustainable Domain Value Stream Mapping (SdVSM) Framework Application in Aircraft Maintenance: A Case Study**. Dept. of Materials, Manufacturing and Industrial Engineering, Faculty of Mechanical Engineering, Universiti Teknologi, Malaysia, 2015.

KORCHAGINA, Aleksandr; DENISKINA, Yury. POCEBNEVA, Irina. VASILYEVAC, Olga. **Lean Maintenance 4.0: implementation for aviation industry**. International Scientific Siberian Transport Forum, 2022.

LIKER, Jeffrey K. **O modelo Toyota: 14 princípios de gestão do maior fabricante do mundo**. Bookman Editora, 2006.

LIRA, Sachiko Araki; NETO, Anselmo Chaves. **Coefficientes de correlação para variáveis ordinais e dicotômicas derivados do coeficiente linear de Pearson**. recie, Uberlândia, 2006.

LOCHER Drew A. **Value Stream Mapping for Lean Development: A How-To Guide for Streamlining Time to Market**. Taylor and Francis Group, LLC, 2008.

MABIN, Victoria J.; DAVIES, John. **The TOC Thinking Processes Their Nature and Use—Reflections and Consolidation**. Theory of Constraints Handbook, 2010.

MANN, David. **Creating a Lean Culture**. Productivity Press, 2005.

NANOVA, Gabriel; DIMITROV Lubomir; NESHKOV, Todor; AOSTOLOPOULOS, Charis; SAVVOPOLOUS, Panyotis. **Lean Manufacturing approach in aircraft maintenance repair and overhaul**. Technical University of Sofia, Bulgaria, 2012.

NASCIMENTO, Francisco Paulo do; SOUSA, Flávio Luís Leite. **Metodologia da Pesquisa Científica: teoria e prática—como elaborar TCC**. Brasília: Thesaurus, 2016.

NASH, M. A.; POLING. S. R. **Mapping the Total Value Stream: A Comprehensive Guide for Production and Transactional Processes**. Taylor and Francis Group, 2008.

NETO, José V. ; SANTOS, Cristiane B.; TORRES, Érica M; ESTRELA, Carlos. **Boxplot: um recurso gráfico para a análise e interpretação de dados quantitativos**. Revista Odontologica do Brasil Central, 2017.

OHNO, Taiichi. **Sistema Toyota de Produção: Além da Produção em Larga Escala**. 1978.

PACHECO, Diego; PERGHER, Isaac; JUNIOR, José; VACCARO, Guilherme. **Exploring the integration between Lean and the Theory of Constraints in Operations Management**. International Journal of Lean Six Sigma, 2018

PALADINI, Edson. **Gestão da Qualidade - Teoria e Prática**. Atlas; 4ª edição, 2019.

ÖZTÜRK, Fehmi. **Value stream mapping in line maintenance**. The republic of turkey bahcesehir university graduate school of natural and applied sciences industrial engineering, 2017.

RAHMAN, Shams-ur. **Theory of constraints A review of the philosophy and its applications**. International Journal of Operations e Production Management, Vol. 18 No. 4, 1998, pp. 336-355,

RIBEIRO, José Luis D.; CATEN Carla ten . **Estatística Industrial**. Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, RS, 2000.

ROTHER, Mike; SHOOK, John. **Aprendendo a Enxergar**. The Lean Enterprise Institute, Inc. Lean Institute Brasil, 2003

SCHEINKOPF , Lisa. **Thinking Processes Including ST Trees**. Theory of Constraints Handbook, 2010.

SHIRINFAR, Mostafa; HOSSEININASAB, Hasan; SADEGHEIH, Ahmad; FAKHR-ZAD Mohammad B. **Reducing Turnaround Time (TAT) Considering Lean Principles within Aircraft Maintenance Organizations (Case Study: FARSCO Aircraft MRO Center)**. Journal of Improvement Management Vol. 15 No. 2, Season Summer (Serial 52), 2021.

ŞİMŞİTA Zeynep Tuğçe; GÜNAYB Noyan Sebla; VAYVAYC Özalp. **Theory of Constraints: A Literature Review**. y Elsevier Ltd. 10th International Strategic Management Conference, 2014 .

SMITH, W. Thomas JR. **Encyclopedia of the Central Intelligence Agency**, 2022.

SOUZA, José. **Diagrama de Ishikawa Diagnosticar e Resolver Problemas**. Amazon, Guamaré, 2021.

SRIKANTH. Mokshagundam. **DBR, Buffer Management, and VATI Flow Classification**. Theory of Constraints Handbook, 2010.

SRINIVASAN, Mandyam M.; BOWES, Melissa R.; GILBERT, Kenneth C. **Lean Maintenance Repair and Overhaul Changing the Way You do Business**. McGraw-

Hill Education. 2014

STEFANOVIC, Slobodan; KISS, Imre; STANOJEVIC, Damjan; JANJIC, Nenad. **Analysis of technological process of cutting logs using ishikawa diagram acta tehnica corviniensis.** Bulletin of Engineering Tome VII, 2014.

The Lean Enterprise Institute. **Lean Lexicon a graphical glossary for Lean Thinkers.** The Lean Enterprise Institute, 2008

TULASI, Lakshmi. RAO, Ramakrishna. **Review on theory of constraints.** International Journal of Advances in Engineering and Technology, March 2012.

TUKEY, John W. **Exploratory Data Analysis.** Addison-Wesley, 1977.

VIEIRA, Darli R.; LOURES, Paula L. **Maintenance, Repair and Overhaul (MRO) Fundamentals and Strategies: An Aeronautical Industry Overview.** International Journal of Computer Applications, 2016.

WOMACK, James P.; JONES, Daniel T. **A mentalidade enxuta nas empresas: Lean Thinking.** Elsevier, 1997.

APÊNDICE A – ENTREVISTAS SEMIESTRUTURADA

A.1 ROTEIRO DA ENTREVISTA COM COMERCIAL

a) Quais são os dados de venda que devem ser considerados para análise de volume da demanda das aeronaves executivas?

b) Qual o valor que o MRO entrega do ponto de vista do cliente?

c) Qual indicador que impacta o cliente deve ser considerado para a priorização da família de produtos a ser analisada?

A.2 ROTEIRO DA ENTREVISTA COM PLANEJAMENTO

a) Quais são os principais processos que impactam diretamente no Turnaroud Time?

b) Existe alguma sequência e/ou precedências entre os processos?

c) Quais são principais que podem impactar no prazo?

d) Quais são os processos administrativos da produção?

e) Como o fluxo de informação flui entre esses processos?

f) Como o fluxo de informação flui para a operação?

g) Quais são as métricas de tempo utilizadas para avaliar os processos?

h) Como é controlado a execução e andamento das tarefas?

A.3 ROTEIRO DA ENTREVISTA DE ANÁLISE DE CAUSA

- a) Introduzir o problema investigado ao entrevistado.

- b) Quais são as etapas deste processo que engloba o problema?

- c) Por que este problema acontece? (repetir esta pergunta até encontrar a causa raíz)