

**UNIVERSIDADE DO VALE DO RIO DOS SINOS – UNISINOS
UNIDADE ACADÊMICA DE PESQUISA E PÓS-GRADUAÇÃO
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM ENGENHARIA DE PRODUÇÃO
E SISTEMAS – NÍVEL MESTRADO**

GILBERTO CASTRO VARGAS

**PROPOSIÇÃO DE UM MÉTODO PARA APLICAÇÃO INTEGRADA DAS
TÉCNICAS DE *LEAN MANUFACTURING* E TEORIA DAS RESTRIÇÕES EM
FORNECEDORES DA INDÚSTRIA AUTOMOBILÍSTICA**

São Leopoldo – RS

2024

GILBERTO CASTRO VARGAS

**PROPOSIÇÃO DE UM MÉTODO PARA APLICAÇÃO INTEGRADA DAS
TÉCNICAS DE LEAN MANUFACTURING E TEORIA DAS RESTRIÇÕES EM
FORNECEDORES DA INDÚSTRIA AUTOMOBILÍSTICA**

Dissertação apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Engenharia de Produção e Sistemas da Universidade do Vale do Rio dos Sinos – Unisinos, como requisito parcial para a obtenção do título de Mestre em Engenharia de Produção e Sistemas.

Orientador: Prof. Dr. José Antonio Valle Antunes Júnior

São Leopoldo – RS

2024

V297p Vargas, Gilberto Castro.
Proposição de um método para aplicação integrada das técnicas de lean manufacturing e teoria das restrições em fornecedores da indústria automobilística / por Gilberto Castro Vargas. – 2024.
194 f. : il. ; 30 cm.

Dissertação (mestrado) — Universidade do Vale do Rio dos Sinos, Programa de Pós-Graduação em Engenharia de Produção e Sistemas, São Leopoldo, RS, 2024.
“Orientador: Dr. José Antonio Valle Antunes Júnior”.

1. Lean manufacturing. 2. Teoria das restrições (TOC).
3. Sistemas produtivos. 4. Indústria automobilística.
I. Título.

CDU: 658.5:629.33

Catálogo na Publicação (CIP):
Bibliotecário Alessandro Dietrich - CRB 10/2338

UNIVERSIDADE DO VALE DO RIO DOS SINOS – UNISINOS
UNIDADE ACADÊMICA DE PESQUISA E PÓS-GRADUAÇÃO
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM ENGENHARIA DE PRODUÇÃO
E SISTEMAS – NÍVEL MESTRADO

Gilberto Castro Vargas

PROPOSIÇÃO DE UM MÉTODO PARA APLICAÇÃO INTEGRADA DAS
TÉCNICAS DE LEAN MANUFACTURING E TEORIA DAS RESTRIÇÕES EM
FORNECEDORES DA INDÚSTRIA AUTOMOBILÍSTICA

Dissertação apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Engenharia de Produção e Sistemas da Universidade do Vale do Rio dos Sinos – Unisinos, como requisito parcial para a obtenção do título de Mestre em Engenharia de Produção e Sistemas.

Orientador: Prof. Dr. José Antonio Valle Antunes Júnior

Aprovada em: ____/____/____

BANCA EXAMINADORA

Orientador: Prof. Dr. José Antonio Valle Antunes Júnior (Unisinos)

Prof. Leandro Gauss (Unisinos)

Prof. Fábio Antonio Sartori Piran (Unisinos)

Prof. Fabiano de Lima Nunes (Feevale)

Dedico esta dissertação à minha filha, Luíza, e à minha esposa, Tatiane, cujo apoio incondicional foi fundamental nos momentos desafiadores desta jornada. Esta obra é também dedicada aos meus pais, Paulo (em memória) e Eni, pessoas de notável simplicidade e humildade, que me ensinaram a importância e o valor do conhecimento. A força e os ensinamentos deles foram pilares essenciais que guiaram meu caminho até aqui.

AGRADECIMENTOS

Sinto-me profundamente grato pela jornada que percorri para a elaboração deste trabalho. Em primeiro lugar, expresso minha sincera gratidão ao meu orientador, professor Junico Antunes, cuja dedicação e comprometimento foram cruciais para me guiar nas decisões e nas oportunidades que surgiram ao longo do desenvolvimento deste estudo. Seu apoio inestimável fez toda a diferença em minha trajetória acadêmica.

Agradeço também à direção da empresa, que proporcionou um suporte incondicional durante a longa e desafiadora jornada que um mestrado exige. Essa colaboração foi fundamental para que eu pudesse conciliar as demandas acadêmicas com as responsabilidades profissionais.

Um agradecimento especial se dirige à minha família, que foi meu alicerce durante todo esse processo. Minha esposa, Tatiane, merece um reconhecimento especial por seu apoio constante e inabalável ao longo dessa trajetória. Sua compreensão e incentivo foram essenciais para que eu pudesse enfrentar os desafios do mestrado. Também agradeço à minha filha, Luíza, que suportou com paciência e amor os períodos de ausência em função das atividades acadêmicas. A presença dela em minha vida foi uma fonte constante de motivação e inspiração, tornando cada esforço ainda mais significativo.

RESUMO

Na cadeia global de valor (CGV), os fornecedores de peças metálicas desempenham um papel fundamental, pois suas operações impactam diretamente a qualidade e a eficiência das linhas de montagem final das montadoras. A crescente competitividade do setor exige que as empresas adotem novas estratégias de produção e gestão operacional para aprimorar seu desempenho econômico e expandir sua competitividade no mercado. A incorporação de métodos, técnicas e ferramentas voltadas para a melhoria contínua é essencial, abrangendo a identificação e a eliminação de processos desnecessários, a redução de ineficiências e a diminuição dos custos operacionais, fatores que, em última análise, contribuem para o aumento da lucratividade dos fornecedores. As estratégias de excelência em manufatura desempenham um papel crucial na transformação dos processos produtivos, assegurando o crescimento sustentável e lucrativo dos negócios. Assim, este estudo busca, a partir da revisão da literatura existente, desenvolver e implementar um método que integre técnicas e ferramentas do *Lean* e da Teoria das Restrições (TOC) em um sistema produtivo de um fornecedor de componentes para montadoras do setor automotivo. Além disso, a pesquisa analisa os efeitos da implantação do método proposto no fluxo produtivo desse fornecedor, dentro da cadeia global de valor do setor automotivo. Esses efeitos foram avaliados por meio de indicadores de desempenho econômico e financeiro, permitindo uma análise abrangente dos resultados. O estudo destaca que a função do processo não deve ser interrompida, ressaltando a importância de áreas como Planejamento e Controle da Produção (PCP) e logística. Essas áreas, muitas vezes vistas como funcionais e pouco exploradas, podem criar barreiras que comprometem a fluidez do processo. A gestão integrada do fluxo é apresentada como uma abordagem que busca romper essas fronteiras funcionais, promovendo um fluxo contínuo e eficiente. Isso sugere que uma coordenação mais eficaz entre as diferentes áreas pode melhorar significativamente a operação como um todo. Os achados deste estudo evidenciam que a implementação do método proposto gera efeitos positivos e significativos sobre a eficiência do fluxo produtivo. Tal constatação não apenas valida a relevância das práticas integradas de *Lean* e TOC, mas também destaca a importância de uma abordagem sistemática para a melhoria contínua na cadeia de suprimentos do setor automotivo. Em síntese, os resultados obtidos reforçam a necessidade de que os

fornecedores adotem práticas inovadoras e eficazes, promovendo, assim, um ciclo virtuoso de crescimento e competitividade no mercado global.

Palavras-chave: *Lean Manufacturing*; Teoria das Restrições; Sistemas Produtivos.

ABSTRACT

In the global value chain (GVC), metal parts suppliers play a key role, as their operations directly affect the quality and efficiency of automakers' final assembly lines. The growing competitiveness of the sector requires companies to adopt new production and operations management strategies in order to improve their economic performance and increase their competitiveness in the market. The incorporation of methods, techniques and tools aimed at continuous improvement is essential, encompassing the identification and elimination of unnecessary processes, the reduction of inefficiencies and the lowering of operating costs, factors which ultimately contribute to increasing suppliers' profitability. Manufacturing excellence strategies play a crucial role in transforming production processes in factories, ensuring sustainable and profitable business growth. Therefore, this study aims, based on a review of existing literature, to develop and implement a method that integrates techniques and tools from Lean and the Theory of Constraints (TOC) in a production system of a supplier of components to automakers in the automotive sector. In addition, the research analyzes the effects of implementing the proposed method in the production flow of a supplier within the global value chain of the automotive sector. These effects were evaluated using economic and financial performance indicators, allowing for a comprehensive analysis of the results. The study mentions that the process function should not be interrupted, highlighting the importance of areas such as Production Planning and Control (PCP) and logistics. These areas, often seen as functional and little explored, can create barriers that interrupt the flow of the process. Integrated flow management is presented as an approach that seeks to break down these functional boundaries, promoting a continuous and efficient flow. This suggests that more effective coordination between the different areas can significantly improve the operation as a whole. The findings of this study show that the implementation of the proposed method generates positive and significant effects on the efficiency of the production flow. This finding not only validates the relevance of integrated Lean and TOC practices, but also highlights the importance of a systematic approach to continuous improvement in the automotive supply chain. In summary, the results obtained reinforce the need for suppliers to adopt innovative and effective practices, thus promoting a virtuous cycle of growth and competitiveness in the global market.

Keywords: Lean Manufacturing; Theory of Constraints; Production systems.

LISTA DE FIGURAS

Figura 01 - Esquema Geral da Cadeia Produtiva Automobilística.....	023
Figura 02 - Lacunas da literatura <i>Lean</i>	024
Figura 03 - Coocorrência de palavras-chave.....	028
Figura 04 - Análise da coocorrência de palavras-chave.....	030
Figura 05 - Estrutura da Produção.....	039
Figura 06 - Conceito <i>Lean</i> sobre as lentes organizacionais.....	042
Figura 07 - Ícones básicos do VSM.....	046
Figura 08 - Estrutura de um sistema de produção TPC.....	053
Figura 09 - Metáfora da cebola sistêmica da pesquisa científica.....	063
Figura 10 - Tipos básicos de projetos para estudos de caso.....	066
Figura 11 - Seis fontes de evidência - pontos fortes e fracos.....	069
Figura 12 - Etapas para a condução de Estudos de Caso.....	073
Figura 13 - Método de trabalho.....	075
Figura 14 - Fluxograma dos resultados da Revisão Sistemática da Literatura (RSL).....	078
Figura 15 - Diagrama-base para a construção do método.....	094
Figura 16 - Etapas do VSM.....	097
Figura 17 - Diagrama-base para a construção do método.....	101
Figura 18 - Método proposto para melhorar o desempenho dos sistemas produtivos de fornecedores de componentes automobilísticos.....	103
Figura 19 - Etapas para elaboração do cronograma.....	110
Figura 20 - Estrutura Organizacional.....	119
Figura 21 - Organograma da distribuição da Gestão por UEN.....	120
Figura 22 - Esquema do <i>layout</i> da estamparia.....	121
Figura 23 - Esquema do <i>layout</i> da solda.....	122
Figura 24 - Aplicabilidade da Coluna C.....	123
Figura 25 - Treinamento da Equipe.....	129
Figura 26 - Representação gráfica de peças.....	131
Figura 27 - Operações de solda.....	134
Figura 28 - Representação do balanceamento das operações de solda.....	135
Figura 29 - Fotografia da sequência de operações da solda da Coluna C.....	136

Figura 30 - Análise da Restrição do Fluxo.....	138
Figura 31 - Fluxo dos componentes na área de solda.....	139
Figura 32 - Fluxo dos componentes na estamparia.....	144
Figura 33 - Proposta de novo local para o supermercado da Unidade Automotiva.....	148
Figura 34 - Estado futuro fluxo produtivo da estamparia.....	149
Figura 35 - Representação da Planilha de Ressuprimento.....	151
Figura 36 - Representação do módulo <i>Kanban</i> no ERP.....	152
Figura 37 - Representação do modelo do carro <i>kit</i>	154
Figura 38 - Carros <i>kits</i> em testes na linha de solda.....	154
Figura 39 - Representação da reunião diária.....	156
Figura 40 - Controle diário do fluxo dos componentes.....	157
Figura 41 - Sistema de Produção antes e depois da implantação do método.	162

LISTA DE QUADROS

Quadro 01 -	Elementos da Função Processo.....	035
Quadro 02 -	Etapas para a construção do STP.....	038
Quadro 03 -	Desperdícios do STP.....	040
Quadro 04 -	Funções e regras do <i>Kanban</i>	049
Quadro 05 -	Comparativo entre os métodos de melhoria do <i>Lean</i> e TOC....	058
Quadro 06 -	Protocolo de pesquisa.....	078
Quadro 07 -	Compilação dos autores em relação aos tópicos variabilidade, programação empurrada e as restrições.....	084
Quadro 08 -	Síntese da definição do escopo do projeto.....	128
Quadro 09 -	Função e tempo de empresa dos membros da equipe.....	129
Quadro 10 -	Cronograma de implantação do projeto.....	131
Quadro 11 -	Demanda e capacidade da solda.....	137
Quadro 12 -	Inventário dos componentes.....	142
Quadro 13 -	Plano de ação Estado Futuro.....	148
Quadro 14 -	Critérios de dimensionamento de lotes de produção dos componentes.....	151

LISTA DE GRÁFICOS

Gráfico 01 -	Produção científica anual sobre <i>Lean Manufacturing</i>	026
Gráfico 02 -	Produção científica anual sobre Teoria das Restrições.....	029
Gráfico 03 -	Produção científica integrando <i>Lean Manufacturing</i> e TOC.....	031
Gráfico 04 -	Causas de paradas nas operações de solda.....	141
Gráfico 05 -	Evolução do WIP no período de análise considerado.....	160
Gráfico 06 -	Evolução do <i>Lead Time</i> no período de análise considerado.....	161
Gráfico 07 -	Evolução do valor financeiro do atraso de entrega.....	164
Gráfico 08 -	Evolução do giro do estoque.....	165

LISTA DE ABREVIATURAS

ANFAVEA	Associação Nacional dos Fabricantes de Veículos Automotores
CCRs	Recursos com Capacidade Restrita (<i>Capacity Constrained Resource</i>)
CGV	Cadeia Global de Valor
DBR	<i>Drum Buffer Rope</i>
ERP	<i>Enterprise Resource Planning</i>
GPT	Gestão do Posto de Trabalho
IROG	Índice de Rendimento Operacional Global
JIT	<i>Just-In-Time</i>
MFP	Mecanismo da Função Produção
MFV	Mapa do Fluxo de Valor
MRP	<i>Material Requirements Planning</i>
OEE	<i>Overall Equipment Effectiveness</i>
PCP	Programação e Controle da Produção
PPCP	Planejamento, Programação e Controle da Produção
PIB	Produto Interno Bruto
ROI	Retorno Sobre o Investimento (<i>Return on Investment</i>)
RSL	Revisão Sistemática da Literatura
STP	Sistema Toyota de Produção
TI	Tecnologia da Informação
TOC	Teoria das Restrições (<i>Theory of Constraints</i>)
TPC	Tambor Pulmão e Corda
TRF	Troca Rápida de Ferramenta
UEN	Unidade Estratégica de Negócios
VSM	<i>Value Stream Mapping</i>
WIP	<i>Work In Progress</i>

SUMÁRIO

1	INTRODUÇÃO.....	019
1.1	PROBLEMA DE PESQUISA.....	021
1.2	OBJETIVOS.....	025
1.2.1	Objetivo Geral.....	025
1.2.2	Objetivos Específicos.....	025
1.3	JUSTIFICATIVA.....	026
1.3.1	Justificativa acadêmica.....	026
1.3.2	Justificativa empresarial.....	033
1.4	DELIMITAÇÕES.....	034
1.5	ESTRUTURA DO TRABALHO.....	035
2	FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA.....	037
2.1	<i>LEAN MANUFACTURING</i>	037
2.1.1	Métodos e Ferramentas/Técnicas do <i>Lean Manufacturing</i>.....	044
2.1.1.1	VSM.....	044
2.1.1.2	<i>Kanban</i>	047
2.1.2	Teoria das Restrições.....	050
2.2	TAMBOR/PULMÃO/CORDA (TPC).....	052
2.2.1	Análise crítica comparativa entre <i>Lean</i> e TOC.....	055
2.2.2	A variabilidade e a gestão dos <i>buffers</i>.....	058
3	MÉTODO.....	061
3.1	CONSIDERAÇÕES INICIAIS.....	061
3.2	MÉTODO DE PESQUISA – O ESTUDO DE CASO.....	065
3.2.1	Aspectos gerais do Estudo de Caso.....	065
3.2.2	Limitações do método Estudo de Caso.....	070
3.2.3	Justificativas para a utilização do método Estudo de Caso.....	071
3.2.4	Etapas conceituais do método de Estudo de Caso.....	072
3.3	MÉTODO DE TRABALHO.....	074
4	MÉTODO PARA APLICAÇÃO INTEGRADA DAS TÉCNICAS DO <i>LEAN MANUFACTURING</i> E TEORIA DAS RESTRIÇÕES EM FORNECEDORES DA INDÚSTRIA AUTOMOBILÍSTICA.....	082
4.1	CLASSES DE PROBLEMAS.....	082

4.1.1	Variabilidade.....	083
4.1.2	Variabilidade e estratégias de mitigação dos seus impactos.....	084
4.1.3	Sistema <i>Kanban</i> e o Método Tambor-Pulmão-Corda e a Variabilidade.....	085
4.2	PROGRAMAÇÃO DE PRODUÇÃO “EMPURRADA”	086
4.3	RESTRIÇÕES.....	088
4.3.1	Relação entre Variabilidade, Sistema “Empurrado” e Restrições.....	090
4.4	PROPOSIÇÃO DO MÉTODO.....	093
4.4.1	Artefato VSM.....	095
4.4.2	Artefato <i>Kanban</i>	098
4.4.3	Artefato Focalização.....	099
4.5	PROJETO E DESENVOLVIMENTO DO MÉTODO.....	100
4.6	APRESENTAÇÃO DO MÉTODO.....	102
4.6.1	Envolvimento da Alta Gestão – Etapa 1.....	104
4.6.2	Definir Escopo – Etapa 2.....	105
4.6.3	Definir Equipe – Etapa 3.....	107
4.6.4	Capacitar Equipe – Etapa 4.....	108
4.6.5	Elaborar cronograma de implantação do método – Etapa 5....	110
4.6.6	Mapear estado atual – Etapa 6.....	112
4.6.7	Análise Crítica do Estado Atual – Etapa 7.....	113
4.6.7.1	Variabilidade.....	113
4.6.7.2	Restrições.....	113
4.6.7.3	Programação empurrada.....	114
4.6.8	Elaborar mapa do Estado Futuro – Etapa 8.....	114
4.6.9	Implementar Estado Futuro – Etapa 9.....	116
4.6.10	Avaliar e monitorar os resultados - Etapa 10.....	116
5	DESCRIÇÃO E AVALIAÇÃO CRÍTICA DO MÉTODO APLICADO NA EMPRESA X.....	118
5.1	CONTEXTO DE APLICAÇÃO.....	118
5.2	APLICAÇÃO DO MÉTODO.....	123
5.2.1	Envolvimento da Alta Gestão – Etapa 1.....	123

5.2.2	Definição do escopo do projeto – Etapa 2.....	125
5.2.3	Definição da equipe – Etapa 3.....	127
5.2.4	Capacitação da equipe – Etapa 4.....	128
5.2.5	Elaborar cronograma de implementação do método – Etapa 5.....	130
5.2.6	Mapear Estado Atual – Etapa 6.....	130
5.2.7	Análise Crítica do Estado Atual – Etapa 7.....	132
5.2.8	Elaborar o mapa do Estado Futuro – Etapa 8.....	145
5.2.9	Implantação do Estado Futuro – Etapa 9.....	147
5.2.9.1	Readequação do <i>layout</i> do supermercado.....	147
5.2.9.2	Padronização do fluxo físico na estamperia.....	148
5.2.9.3	Implantação do Tambor/Pulmão/Corda (TPC).....	149
5.2.9.4	Gerenciar o pulmão com o uso do <i>Kanban</i> eletrônico.....	152
5.2.9.5	Fluxo físico de abastecimento entre o supermercado e a solda.....	153
5.2.9.6	Gestão e Rotinas.....	155
5.2.10	Avaliar e monitorar resultados – Etapa 10.....	158
5.2.11	A evolução do indicador de estoque em processo (WIP) no período considerado.....	158
5.2.12	A evolução do indicador de tempo de atravessamento/ <i>lead time</i> no período considerado.....	159
5.2.13	A evolução do indicador pontualidade nas entregas no período considerado.....	163
5.2.14	A evolução do indicador do Giro do Estoque em Dias.....	164
5.4	ANÁLISE CRÍTICA DO MÉTODO APLICADO NA EMPRESA X....	165
6	CONCLUSÕES, LIMITAÇÕES E RECOMENDAÇÕES PARA TRABALHOS FUTUROS.....	171
6.1	CONCLUSÕES.....	171
6.1.1	Contribuições do trabalho sob uma perspectiva teórica.....	171
6.1.2	Principais contribuições sob a ótica das empresas.....	173
6.2	LIMITAÇÕES DO ESTUDO.....	175
6.2.1	Sugestões para a realização de trabalhos futuros.....	177

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....	178
APÊNDICE A – Lista completa dos trabalhos analisados.....	185

1 INTRODUÇÃO

Os novos desenvolvimentos na economia global exigiram uma mudança de paradigma, especialmente nas indústrias, que passaram da mera busca pela maximização do lucro para a ênfase na satisfação do cliente. Atualmente, o cenário industrial aponta para um aumento da complexidade no atendimento à demanda dos clientes, o que implica na necessidade de projetar cadeias de suprimentos mais flexíveis e reduzir os ciclos de vida dos produtos. Esse panorama sugere que as empresas se concentrem na utilização mais eficiente de seus recursos, buscando atender às necessidades dos clientes ao mesmo tempo em que reduzem os custos (Karikalan *et al.*, 2019; Ojha & Venkatesh, 2022; Ramkumar *et al.*, 2021; Silva; Nunes, 2023; Vanalle *et al.*, 2020).

Os fornecedores que atuam na cadeia global de valor do setor automotivo enfrentam desafios em busca de melhorar a sua eficiência econômica-financeira, mediante melhorias sistemáticas e sistêmicas em seus sistemas de produção. As estratégias de excelência em fabricação continuam a desempenhar um papel significativo na transformação da produção nas fábricas, garantindo, dessa forma, a sustentabilidade e o crescimento lucrativo dos negócios (Delice *et al.*, 2023; Gholampour; Rahman Bin Abdul Rahim; Gholampour, 2018).

Entre as principais teorias adotadas pelas empresas, estão o Sistema Toyota de Produção e a Teoria das Restrições (TOC), duas abordagens utilizadas com muita frequência na gestão dos sistemas de produção. Estas abordagens são distintas, porém, ambas têm como objetivo melhorar a eficiência técnico-econômica, reduzir o desperdício e os tempos de atravessamento, e aumentar a produtividade nas empresas (Hopp; Spearman, 2021; Pacheco *et al.*, 2019).

Inicialmente, o Sistema Toyota de Produção (STP) foi desenvolvido como uma forma de responder aos desafios enfrentados pela indústria automotiva no Japão pós-guerra, como a escassez de recursos, a necessidade de melhorar a eficiência da produção e a lucratividade. Na sequência, evoluiu para se tornar o que conhecemos como *Lean Manufacturing*, devido a uma série de mudanças e adaptações ao longo do tempo. Nesta direção, o livro *A máquina que mudou o mundo*, escrito por James P. Womack, Daniel T. Jones e Daniel Roos, teve uma contribuição significativa para o desenvolvimento e a disseminação do conceito de *Lean* em todo o mundo (Sangwa; Sangwan, 2023).

De outra parte, é relevante destacar uma contribuição essencial do STP, que foi a adoção do Mecanismo da Função Produção (MFP), originalmente proposto por Shingo no livro *O Sistema Toyota de Produção: do ponto de vista da Engenharia de Produção* (Shingo, 1996). Aqui, começa seminalmente a preocupação teórica com a melhoria dos fluxos nos sistemas de Produção. Do ponto de vista da Engenharia de Produção, sob uma ótica técnica, o MFP é uma eficiente estrutura analítica para modelar e compreender o funcionamento dos sistemas de produção em ambientes produtivos genéricos. Sendo assim, trata-se de um elemento essencial para desenvolver aquilo que Shingo intitulava como “melhores formas de pensar”, aplicando de forma mais ampla possível aos sistemas produtivos, com o objetivo de eliminar desperdícios, aumentar a eficiência e, conseqüentemente, elevar a satisfação dos clientes (Sangwa, Sangwan, 2023; Zagreb, 2022).

Além disso, a Teoria das Restrições (TOC), proposta seminalmente por Goldratt e Cox no livro *A Meta* (1986), auxilia na compreensão das especificidades dos sistemas de produção, permitindo a identificação de gargalos, a eliminação de atividades desnecessárias e a redução dos tempos de espera. Dessa forma, estabelece fluxos mais fluidos e eficientes, partindo do pressuposto de que a soma dos ótimos locais difere do ótimo global do sistema (Pacheco *et al.*, 2019). A compreensão dos conceitos básicos da TOC permite avaliar se as melhorias realizadas em determinadas operações representam, de fato, uma melhoria global no sistema, utilizando princípios fundamentais, como o processo, a operação gargalo e os recursos com capacidade restrita, denominados *Capacity Constraints Resource* (CCRs) (Pacheco; Antunes Junior; De Matos, 2021; Urban, 2019).

Os acadêmicos e profissionais ligados à Engenharia de Produção desempenham um papel fundamental nesse contexto. Eles são responsáveis por aplicar e desenvolver conhecimentos técnicos e estratégicos na prática para tornar os sistemas de produção mais eficazes, reduzir custos, melhorar a qualidade, aumentar a eficiência nas indústrias e contribuir para o desenvolvimento e o aprimoramento contínuo da gestão de operações, garantindo sua competitividade e sustentabilidade (Danese; Manfè; Romano, 2018; Hines; Taylor; Walsh, 2020).

Neste sentido, o desenvolvimento de métodos para facilitar a implantação de práticas de melhoria contínua nos sistemas de produção é essencial para acadêmicos e profissionais da área de Engenharia de Produção, que atuam na

gestão de operações. Esse processo envolve a busca constante, por meio do aprimoramento dos sistemas produtivos, da redução de ineficiências, a fim de diminuir os custos operacionais, e da redução do consumo de recursos, dado que estes são limitados. Essa forma de abordagem parece ser fundamental para aumentar a competitividade, atender às expectativas dos clientes e promover a sustentabilidade dos negócios (Mohd Aripin *et al.*, 2023).

Em um mundo que é cada vez mais globalizado e competitivo, é fundamental estudar e desenvolver maneiras de aplicar teorias, sistemas e conceitos consolidados, como o *Lean* e a TOC, a fim de auxiliar as empresas a alcançarem as melhores práticas, melhorando, assim, suas operações. Isto tenderá a impulsionar a eficiência, a produtividade e a qualidade dos sistemas produtivos (Pacheco *et al.*, 2019). Neste contexto, o foco desta pesquisa está no desenvolvimento e na aplicação de um modelo híbrido, para integrar as abordagens, os métodos, as ferramentas e as técnicas do *Lean* e da TOC na indústria automotiva. Na próxima seção, será apresentado o problema de pesquisa.

1.1 PROBLEMA DE PESQUISA

Nos anos 1990, ocorreu a abertura do mercado brasileiro em geral e, de forma específica, da indústria nacional. Essa política global resultou em uma significativa atração de investimentos estrangeiros no setor automotivo, levando à construção de diversas fábricas no país. No contexto dessa expansão da capacidade produtiva da indústria automobilística no Brasil, as empresas instaladas no país enfrentaram uma concorrência acirrada e foram impactadas por mudanças significativas na dinâmica do setor (Pagani; Firme; Santos, 2022).

Atualmente, a indústria automotiva integra um setor altamente complexo e dinâmico no mercado global. É uma indústria que, em razão de sua dinâmica competitiva e, visando a atender às necessidades dos clientes, exige melhorias contínuas ao longo de sua cadeia de produção, de forma geral, e dos sistemas de produção, em particular. Neste cenário, as empresas do setor estão sempre buscando maneiras de melhorar a produção, diminuir gastos e proporcionar entregas mais ágeis aos clientes finais (Nascimento Vianini, 2019; Silva; Nunes, 2023).

Na Cadeia Global de Valor (CGV), os fornecedores de peças metálicas desempenham um papel essencial. Assim como no cenário global, os fornecedores brasileiros de peças e componentes do setor enfrentam desafios competitivos nas dimensões de qualidade, custo, prazo de entrega e inovação tecnológica, pois sua atuação está diretamente relacionada à qualidade e eficiência da linha de montagem final das montadoras (Hassan *et al.*, 2022).

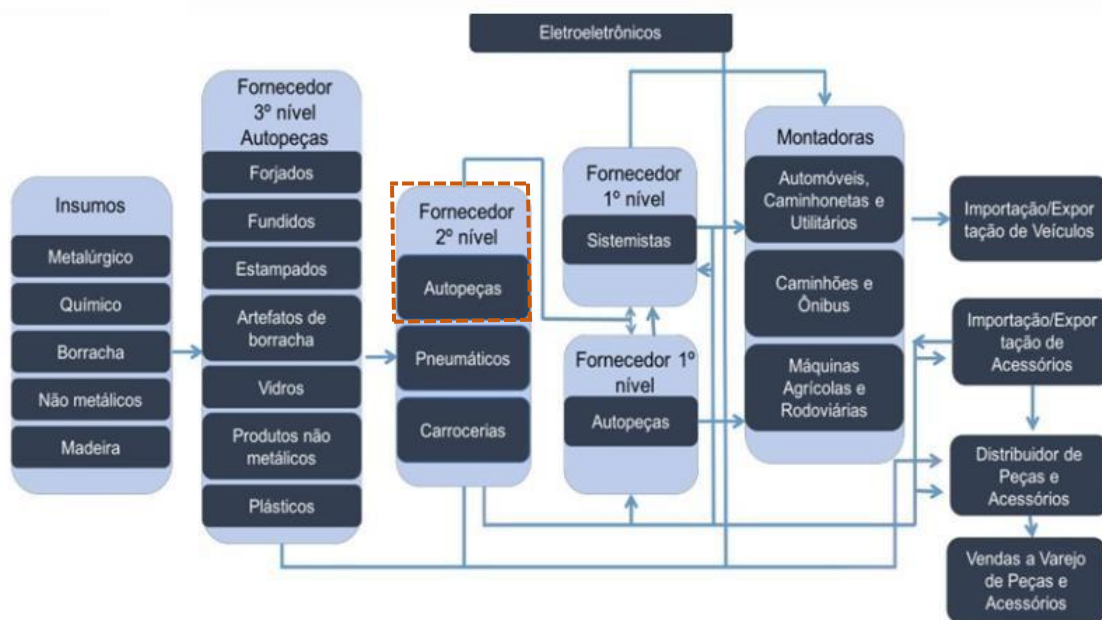
Os fornecedores brasileiros precisam buscar constantemente novas formas e princípios de gestão para se adaptarem às demandas das montadoras estrangeiras. A busca pela melhoria contínua, com foco em maior eficiência e redução de custos, é um elemento crucial para que os fornecedores do setor automotivo brasileiro se tornem mais competitivos, oferecendo produtos de qualidade a preços mais acessíveis.

No cenário atual, a indústria automotiva brasileira está entre as dez maiores fabricantes de automóveis do mundo. O país abriga fábricas de 23 montadoras internacionais, que produzem veículos tanto para o mercado local quanto para os mercados regionais da América Latina (Bonassa, Cunha; Isler, 2023). Esse expressivo número de montadoras instaladas, aliado à produção total do país, resulta em uma concorrência acirrada entre elas. A importância da indústria automobilística se evidencia ainda mais quando consideramos seu impacto na ampla cadeia produtiva que movimenta. Esse setor abrange fabricantes, fornecedores de matérias-primas, empresas fornecedoras, distribuidoras, postos de gasolina, seguradoras, oficinas mecânicas, agências de publicidade, entre outros, gerando uma quantidade significativa de empregos no país (Soares; Guimarães; De Lara, 2019).

A cadeia automotiva é uma das mais extensas da indústria brasileira, contribuindo com 22% do PIB industrial e 4% do PIB total. Além disso, emprega diretamente e indiretamente cerca de 1,6 milhão de pessoas, gerando R\$ 40 bilhões em tributos diretos sobre veículos. Essa indústria tem um amplo efeito multiplicador na economia, envolvendo produtores de insumos primários, fabricantes de veículos e autopeças, redes de distribuição, além de serviços como postos de gasolina, borracharias, oficinas mecânicas, consórcios e seguradoras (Pagani; Firme; Santos, 2022).

Na Figura 1, é apresentado um esquema geral da cadeia produtiva da indústria automobilística.

Figura 01 – Esquema Geral da Cadeia Produtiva Automobilística.



Fonte: Anfavea (2023).

É importante observar que os fornecedores de autopeças de segundo nível desempenham um papel crucial na entrega de peças e materiais essenciais para a montagem de veículos nas montadoras. No entanto, é comum que ocorram atrasos, falta de sincronização e baixa eficiência no fornecimento, resultando em altos custos, desperdício de tempo e recursos, além de riscos para a qualidade dos produtos finais. Dessa forma, há uma lacuna de pesquisa sobre como aprimorar a eficiência desses fornecedores e identificar oportunidades contínuas de melhoria em suas operações. (Bögöny *et al.*, 2020).

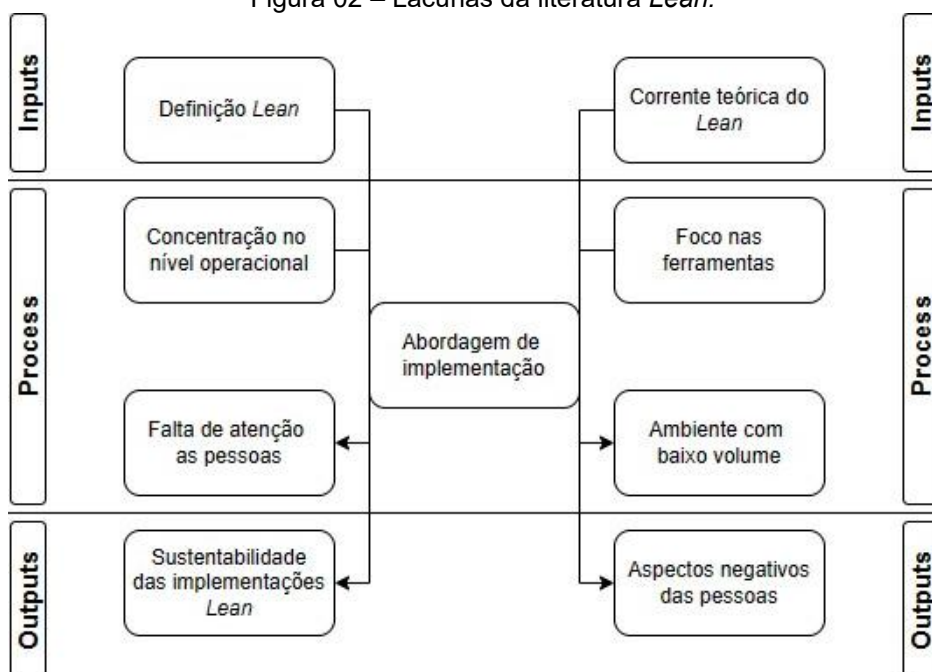
Embora grandes corporações tenham alcançado resultados significativos com a adoção de técnicas do *Lean*, há evidências de que implementações autônomas nem sempre cumprem suas promessas. Além disso, algumas empresas que adotam essas práticas podem retroceder ou até mesmo interromper sua aplicação (Hines; Taylor; Walsh, 2020). Pesquisadores perceberam lacunas significativas entre as descrições do *Lean*, usadas pelos profissionais da indústria, e os vários estudos acadêmicos sobre o tema. Os autores observaram que a prática *Lean* é amplamente baseada na

experiência, ou seja, em uma prática de tentativa e erro (Hines; Taylor; Walsh, 2020; Hopp; Spearman, 2021).

Em estudos de Revisão Sistemática da Literatura (RSL) sobre o estado da arte das pesquisas em *Lean Manufacturing*, os pesquisadores identificaram, por um lado, que o apelo ao *Lean* evoluiu ao longo dos anos, expandindo-se para novos contextos de aplicação, como serviços e desenvolvimento de produtos. Por outro lado, destacaram a falta de conhecimento conceitual e a escassez de estudos sobre a integração do *Lean* com outras abordagens que possam contribuir para a adaptação das estratégias de implementação ao contexto organizacional, apontando essas lacunas como fatores determinantes para o insucesso de muitas iniciativas (Danese; Manfè; Romano, 2018).

Os autores destacam que, embora nas últimas três décadas as organizações tenham adotado, cada vez mais, metodologias *Lean* em seus sistemas produtivos, em muitos desses casos os resultados não têm sido tão positivos como previamente projetados. Neste sentido, constatarem potenciais causas para o insucesso da jornada *Lean* dessas organizações, conforme ilustrado na Figura 02.

Figura 02 – Lacunas da literatura *Lean*.



Fonte: Adaptado de Hines; Taylor; Walsh, 2020.

Essas críticas e lacunas, apresentadas na Figura 02, indicam desafios no entendimento conceitual do *Lean*, incluindo suas estratégias, abordagens de

implementação e a sustentabilidade como fator de sucesso. No entanto, a principal limitação identificada na literatura sobre *Lean* está na ausência de conexões teóricas e na falta de modelos ou métodos estruturados que orientem de forma eficaz as abordagens de implementação (Hines; Taylor; Walsh, 2020).

Neste estudo, propõe-se a investigação da seguinte problemática de pesquisa: de que maneira é possível desenvolver um método eficaz para a implementação de melhorias nos processos dos sistemas produtivos, utilizando os princípios e conceitos do *Lean* e da Teoria das Restrições (TOC), especificamente em empresas fornecedoras de componentes para montadoras de automóveis?

1.2 OBJETIVOS

1.2.1 Objetivo Geral

O objetivo geral deste estudo é propor um método de implantação para aplicar os princípios, métodos e técnicas do *Lean* e da Teoria das Restrições, com o intuito de otimizar os fluxos nos sistemas de produção de fornecedores da indústria automotiva.

1.2.2 Objetivos Específicos

Os objetivos específicos deste trabalho são os seguintes:

- a) realizar uma revisão teórica focada nos princípios, métodos e técnicas do *Lean* e da Teoria das Restrições, que são centrais para a melhoria sistêmica e sistemática dos processos nos sistemas de produção;
- b) analisar o fluxo de produção específico do fornecedor do setor automotivo e identificar os gargalos, desperdícios e ineficiências presentes, por meio da aplicação das ferramentas e técnicas do *Lean* e da Teoria das Restrições;
- c) testar e avaliar a eficácia do método proposto em um fornecedor do setor automotivo, analisando os resultados e o sistema de indicadores em termos de redução de desperdícios, aumento da produtividade e otimização do fluxo de produção.

1.3 JUSTIFICATIVA

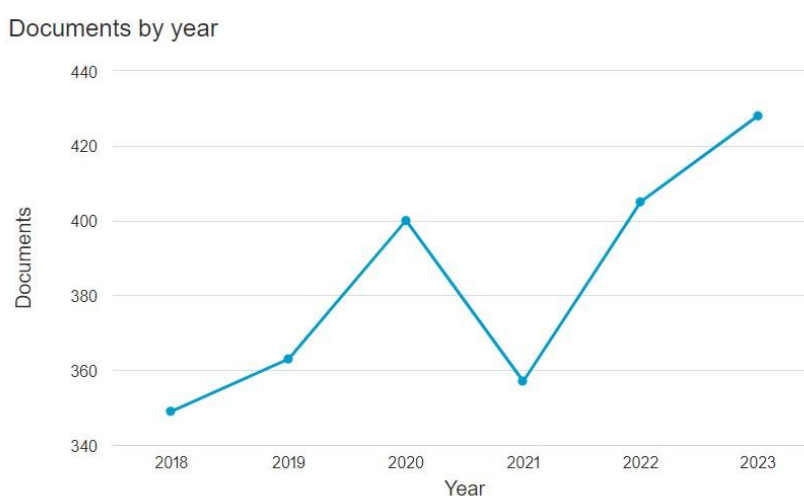
São as seguintes justificativas acadêmicas e empresariais para a realização da presente pesquisa:

1.3.1 Justificativa acadêmica

O *Lean Manufacturing* tem sido um tema de crescente interesse para pesquisadores e profissionais ao longo dos últimos anos. Essa busca por pesquisas e publicações sobre *Lean* reflete o reconhecimento de sua importância na gestão moderna, à medida que mais empresas procuram otimizar seus processos para se tornarem mais competitivas no mercado global (Danese; Manfè; Romano, 2018; El-Khalil, 2022; Mohd Aripin *et al.*, 2023; Palacios Gazules; Giménez Leal; De Castro Vila, 2024; Sangwa; Sangwan, 2023).

O Gráfico 01, a seguir, apresenta a produção científica anual sobre *Lean Manufacturing*. Vale ressaltar que, para essa pesquisa, classificada como quantitativa, foi utilizada a seguinte *string* de busca na base *Scopus*: “*Lean*” AND “*Manufacturing*”, dentro de *Article Title*, *Abstract* e *Keywords*, considerando, como tipo de documento, artigos publicados no período compreendido entre os anos de 2018 a 2023.

Gráfico 01 – Produção científica anual sobre *Lean Manufacturing*.



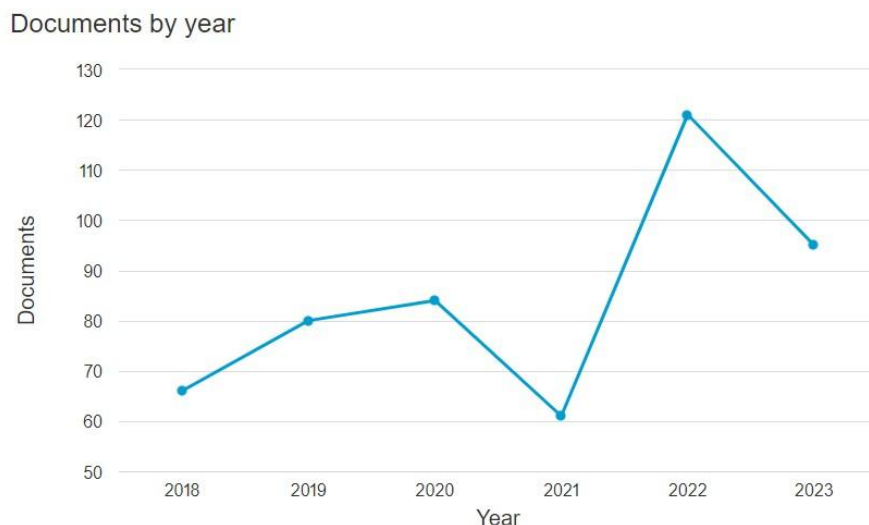
Fonte: Elaborado pelo autor, com base em pesquisa realizada na *Scopus*.

No ano de 2021, houve uma redução no número de publicações, se comparado ao ano de 2020. Embora ainda mantendo o mesmo volume de publicações de 2018 e

2019, nos anos seguintes – 2022 e 2023 –, identifica-se um incremento no número de produções científicas sobre o *Lean*. É possível observar que os pesquisadores têm se dedicado a estudar os aspectos do *Lean* e, por consequência, seu impacto na eficiência operacional e na satisfação do cliente. O crescente número de publicações sobre o tema reflete a relevância do *Lean* como uma abordagem que pode trazer benefícios significativos para as organizações. Fica claro que ganhos incrementais estão sendo buscados nas pesquisas de um tema já consolidado desde a década de 1990, e isso tem impulsionado pesquisas e debates acadêmicos sobre o assunto. Como resultado, mais *insights* e práticas recomendadas têm sido desenvolvidas, contribuindo para a disseminação e consolidação do *Lean Manufacturing* como uma importante abordagem para a melhoria contínua nos sistemas produtivos (Ojha; Venkatesh, 2022).

Ao analisar de forma exploratória as produções científicas sobre o *Lean Manufacturing*, é possível verificar que as pesquisas são homogêneas e que abordam diferentes tópicos de pesquisa (Figura 03). Essa homogeneidade é caracterizada pela presença de um *cluster* de pesquisas que abordam o *Lean* nas áreas de manufatura (*cluster* azul).

Gráfico 02 – Produção científica anual sobre Teoria das Restrições.

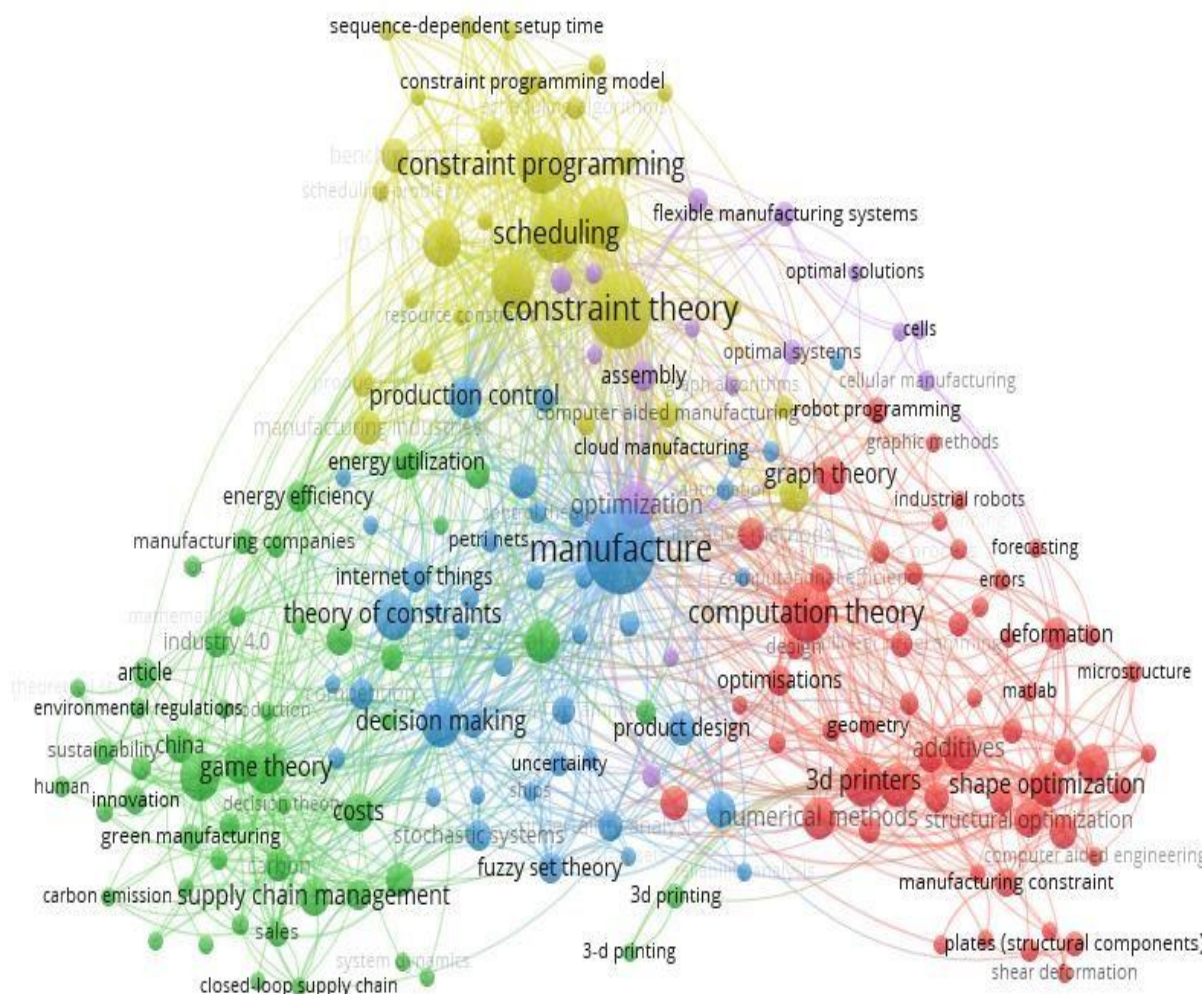


Fonte: Elaborado pelo autor, com base em pesquisa realizada na *Scopus*.

O aumento do interesse dos pesquisadores e a consequente evolução das publicações sobre a TOC refletem sua crescente importância na pesquisa e na gestão empresarial em geral, especialmente na área de Sistemas de Produção. Além disso, evidencia-se o reconhecimento dos benefícios dessa teoria para as organizações que a adotam.

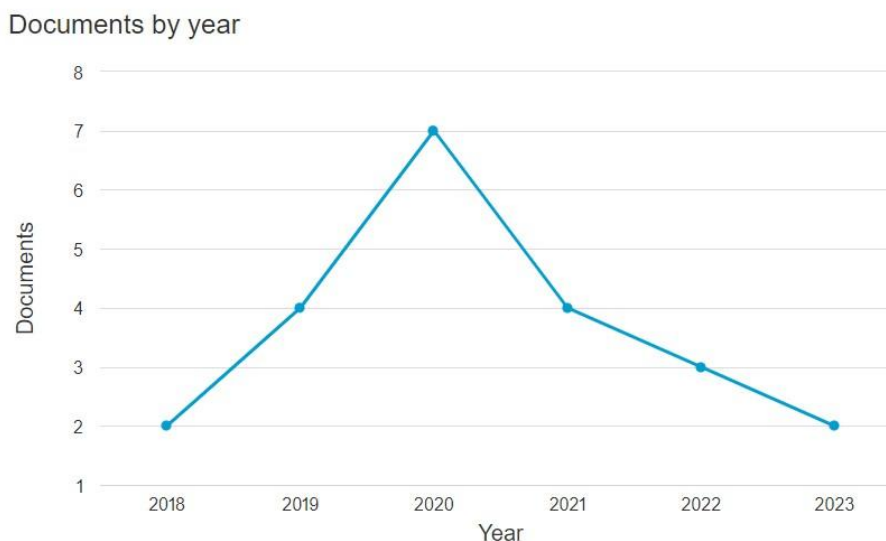
Ao analisar de forma exploratória as produções científicas sobre a TOC, é possível verificar, de forma similar ao *Lean*, que a ocorrência de palavras-chave apresenta a manufatura como *cluster* central, conforme apresentado na Figura 04, a seguir.

Figura 04 – Análise da coocorrência de palavras-chave.



Fonte: Elaborada pelo autor.

O Gráfico 03 apresenta os resultados da produção científica anual, utilizando a mesma base (*Scopus*) e com a *string* de busca *Lean AND Manufacturing AND Theory AND of AND Constraints AND Manufacturing*, utilizando o horizonte de tempo de 2017 a 2023, definido como “apenas artigo” no filtro de tipos de documentos, sem considerar nenhuma outra limitação.

Gráfico 03 – Produção científica integrando *Lean Manufacturing* e TOC.

Fonte: Elaborado pelo autor, com base em pesquisa realizada na *Scopus*.

O menor número de publicações sobre a integração do *Lean* e da TOC pode ser atribuído a diversos fatores. Embora essas metodologias ofereçam benefícios significativos em termos de eficiência e produtividade na manufatura, elas tendem a ser vistas como conceitos separados, independentes e autônomos. Conforme Pacheco *et al.* (2019), provavelmente isto possa limitar a percepção dos pesquisadores e profissionais sobre a possibilidade de integração da TOC e do *Lean*.

Além disso, a falta de conhecimento sobre como integrar efetivamente esses dois métodos pode desencorajar pesquisadores e profissionais de explorar essa abordagem. Há, também, uma tendência de os especialistas se concentrarem em uma única metodologia, ao invés de investirem tempo e esforços para entender e integrar múltiplas abordagens (Patel *et al.*, 2022). Esses fatores podem contribuir para o número menor de publicações sobre a integração do *Lean Manufacturing* e da Teoria das Restrições, em comparação com as publicações sobre essas duas teorias de forma individual.

Com base nos resultados das buscas apresentadas, a escassez de publicações sobre a integração do *Lean Manufacturing* e da Teoria das Restrições pode ser considerada uma lacuna relevante na literatura acadêmica, além de representar uma significativa oportunidade de pesquisa. A combinação dessas teorias, com seus princípios, métodos e técnicas, tem o potencial de fornecer *insights* e abordagens inovadoras para aprimorar a eficiência e a produtividade em ambientes de manufatura e operações. Além disso, investigar como essas metodologias podem ser integradas

e aplicadas em conjunto pode contribuir para o desenvolvimento de novos modelos e práticas, gerando benefícios adicionais para as organizações.

Explorar a integração do *Lean Manufacturing* e da Teoria das Restrições, portanto, pode proporcionar avanços significativos na área de gestão de operações e produção (Pacheco *et al.*, 2019; Antunes, 1998). Dessa forma, pesquisas que abordam esse tema podem oferecer uma oportunidade de aplicação prática de teorias e conceitos estudados no campo da gestão de operações. Isso permitirá validar e aprimorar esses conceitos, contribuindo para o desenvolvimento do conhecimento acadêmico atualmente existente sobre o tema (Pacheco *et al.*, 2019).

Além disso, ao conduzir um estudo, é possível realizar uma análise aprofundada dos impactos dessas melhorias na eficiência operacional, na colaboração entre departamentos, na satisfação dos clientes e nos resultados econômico-financeiros da empresa. Essa análise pode fornecer dados e informações relevantes para a tomada de decisões e para a gestão estratégica da organização (Hopp; Spearman, 2021).

Ao abordar um problema real enfrentado pela indústria automotiva, é possível gerar aprendizados e *insights* que podem ser compartilhados com a comunidade acadêmica e profissional, contribuindo para o desenvolvimento do conhecimento na área (Karikalan *et al.*, 2019). A pesquisa oferece aos estudantes e pesquisadores envolvidos a oportunidade de aprofundar seu conhecimento em gestão da cadeia de suprimentos, adquirir habilidades na análise de dados e no uso de ferramentas de melhoria contínua, além de desenvolver uma visão estratégica da indústria automotiva e seus desafios (Silva; Nunes, 2023).

Este estudo distingue-se das integrações propostas em investigações anteriores ao abordar as barreiras que interrompem o fluxo produtivo. Muitas dessas barreiras decorrem da falta de integração entre os departamentos, como o Planejamento e Controle da Produção (PCP) e a logística, em relação à área de produção. Frequentemente, essas duas áreas são vistas como funcionais, e suas interações com o fluxo produtivo não são devidamente exploradas.

Em resumo, a importância desta pesquisa no contexto acadêmico reside na contribuição para o conhecimento, no preenchimento de lacunas na literatura, na relevância prática, no potencial de aplicação e nas oportunidades de aprendizado e desenvolvimento profissional para os envolvidos no tema, no âmbito acadêmico.

1.3.2 Justificativa empresarial

No ambiente econômico-competitivo, as empresas, em todo o mundo, estão sempre à procura de melhores oportunidades de melhoria contínua, que permitam a transformação competitiva dos seus sistemas produtivos. Uma das abordagens de manufatura populares, que podem ser praticadas pelas empresas para aumentar a eficiência da produção e criar valor agregado aos clientes, é a implementação do *Lean Manufacturing* (Yuik; Yuik; Puvanasvaran, 2020).

Ao identificar e propor soluções para os desafios enfrentados pelos fornecedores na cadeia de suprimentos do setor automotivo, a pesquisa tem o potencial de melhorar a eficiência operacional das empresas envolvidas, contribuindo, assim, para a competitividade de toda a cadeia de produção. Com isso, é possível, potencialmente, obter a redução de custos e o aumento da produtividade mediante a melhoria do fluxo de materiais no tempo e no espaço. Além disso, ao melhorar a eficiência da utilização dos gargalos e as ineficiências nos sistemas de produção, é possível garantir uma linha de montagem fluida e entregas pontuais, que podem gerar economia de recursos e redução dos custos operacionais (Martins *et al.*, 2021; Ojha; Venkatesh, 2022).

Neste contexto, a pesquisa sobre a implantação eficaz dos princípios, métodos e técnicas *Lean* poderá ter uma relevância prática, a partir de uma perspectiva econômico-financeira considerável. Isto poderá impactar, de maneira significativa, na competitividade das empresas e no desempenho da cadeia de suprimentos como um todo. A adoção dos princípios, métodos e técnicas conceituais do *Lean* permitirá, também, a identificação e a eliminação dos desperdícios nos processos de produção, gerando economia de recursos e redução de custos para a empresa (Maware; Parsley, 2022).

De outra parte, a efetivação das técnicas da Teoria das Restrições possibilitará a uma empresa identificar e gerenciar suas principais restrições, permitindo uma melhor capacidade de resposta às mudanças do mercado, resultando em maior flexibilidade e agilidade para atender às necessidades dos clientes (Modi; Lowalekar; Bhatta, 2019). Além disso, a implantação conjunta dos princípios, métodos e técnicas do *Lean Manufacturing* e da Teoria das Restrições poderá ajudar as empresas na identificação e na redução de desperdícios nos sistemas produtivos, o que tende a

resultar em uma utilização mais eficiente dos recursos, na redução de custos e na melhoria da sustentabilidade (Pacheco *et al.*, 2019).

Nesta direção, com a implantação eficaz e bem-sucedida dos princípios e métodos integrados, a empresa pode obter uma vantagem competitiva significativa, resultando em melhorias na produtividade técnica e econômica, na redução dos custos e na entrega de produtos de alta qualidade de maneira mais rápida (com a redução dos tempos de atravessamento). Dessa forma, a empresa poderá se posicionar melhor no mercado, conquistando uma maior fatia de clientes.

1.4 DELIMITAÇÕES

Esta pesquisa está fundamentada no ambiente dos sistemas de produção, do ponto de vista do Mecanismo da Função Produção (MFP), desenvolvido por Shigeo Shingo (Shingo, 1996). Shingo (1996) define, de forma genérica, qualquer sistema de produção como uma rede de processos e operações. O autor afirma que a Função Processo e o acompanhamento do objeto de trabalho (produtos, serviços e ideias) no tempo e no espaço permitem atingir as principais metas de produção. Já a Função Operação e o acompanhamento do sujeito do trabalho (pessoas e equipamentos) no tempo e no espaço desempenham um papel de suporte nos sistemas produtivos, devendo sustentar as melhorias centrais propostas pela Função Processo. Ao entender os sistemas de produção como uma rede de processos e operações, os elementos básicos que constituem a Função Processo podem ser observados no Quadro 01.

Quadro 01 – Elementos da Função Processo.

Elemento	Descrição
Processamento ou fabricação	Significa as transformações do objeto de trabalho (materiais, serviços) no tempo e no espaço.
Inspeção	Refere-se basicamente à comparação do objeto de trabalho contra um determinado padrão de qualidade previamente estabelecido.
Transporte	Implica, basicamente, na mudança de posição ou de localização do objeto de trabalho no tempo e no espaço.
Estoque ou espera	Refere-se aos períodos de tempo onde não está ocorrendo nenhum tipo de mudança no objeto de trabalho (processamento, inspeção ou transporte).

Fonte: Adaptado de Antunes (2008).

Embora o tópico de processamento ou fabricação se refira a qualquer sistema produtivo (incluindo, por exemplo, a prestação de serviços, os processos administrativos e o desenvolvimento de produtos), esta pesquisa abordará exclusivamente a Função Processo no contexto dos sistemas de produção na fábrica, ou seja, a transformação de matérias-primas e peças em produtos finais.

Nesta pesquisa, foram estabelecidas outras delimitações, que são as cercas imaginárias entre o “o que será” e “o que não será tratado” na dissertação, a saber:

- a) o método trata do desenvolvimento de aplicações dos princípios, métodos e técnicas do *Lean* e da TOC nos sistemas de produção de fornecedores de componentes da indústria automobilística;
- b) o método busca integrar o *Lean* e a TOC. Embora outras integrações sejam possíveis e desejáveis (por exemplo, Engenharia de Processos de Negócios, Estratégia de Produção, Seis Sigma), elas não serão tratadas no trabalho. Alguns métodos, como o TRF, serão abordados no contexto do *Lean* e poderão ser considerados nas proposições efetuadas;
- c) quanto às delimitações propostas acima, ou seja, no contexto do que é o trabalho, não existem restrições à utilização destes em diferentes situações em cena.

1.5 ESTRUTURA DO TRABALHO

Este estudo está estruturado em seis capítulos. No primeiro, é apresentada a contextualização do tema e são abordados alguns aspectos relacionados aos conceitos do *Lean Manufacturing* e da Teoria das Restrições. Adicionalmente, são evidenciados o problema de pesquisa e o objeto de estudo, as justificativas acadêmica e empresarial e as delimitações da pesquisa.

No segundo capítulo, são apresentados elementos relevantes do Referencial Teórico. Por meio de uma revisão bibliográfica, são abordados os principais tópicos associados ao tema: i) *Lean Manufacturing*; ii) ferramentas e técnicas do *Lean* (VSM e *Kanban*); iii) Teoria das Restrições; iv) Tambor pulmão e corda; v) Análise crítica comparativa *Lean* e TOC.

O terceiro capítulo, em sua introdução, apresenta o método de pesquisa adotado: o Estudo de Caso. Em seguida, são delineados os procedimentos de trabalho, ou seja, os passos lógicos que serão seguidos para a execução do estudo. Neste capítulo, os procedimentos metodológicos utilizados na pesquisa são detalhados, com a intenção de caracterizar e esclarecer as etapas que foram realizadas. Assim, ambos os aspectos – o método de pesquisa e o método de trabalho – recebem uma explicação cuidadosa, proporcionando uma compreensão clara do processo investigativo.

O capítulo quatro apresenta as etapas e os passos adotados para o desenvolvimento do método que fundamenta este trabalho. Além disso, ao final do capítulo, é apresentado e detalhado o método proposto, que se baseia em uma análise aprofundada da literatura. Essa estrutura não apenas evidencia a lógica por trás do projeto, mas também o alicerce em um referencial teórico sólido.

O capítulo cinco dedica-se à descrição e à avaliação crítica do método desenvolvido, imergindo em um cenário real de um fornecedor de componentes automotivos. Nesse contexto, é apresentada uma descrição detalhada do ambiente de aplicação, além de uma minúcia sobre o processo de implementação. Ao final, o capítulo oferece uma análise crítica que examina o processo de execução e os resultados obtidos, fornecendo *insights* sobre a eficácia do método em um ambiente prático.

Por fim, o capítulo seis traz as considerações finais, onde são abordadas as limitações da pesquisa e apresentadas as recomendações para futuros estudos.

2 FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA

A seguir, são apresentados os principais tópicos associados à fundamentação teórica que sustenta o presente trabalho.

2.1 LEAN MANUFACTURING

Em 1991, o livro “A máquina que mudou o mundo” introduziu o conceito de *Lean Manufacturing*, derivado do desenvolvimento seminal do Sistema Toyota de Produção. Este método revolucionário, que surgiu a partir de mudanças na gestão dos sistemas de produção, permitiu a redução significativa dos custos, a partir da eliminação de desperdícios. Com o reforço da adoção do *Lean Manufacturing*, este sistema de produção ganhou popularidade no século 20, após o trabalho de Womack *et al.* (1990), especialmente em grandes indústrias americanas (Hopp; Spearman, 2021).

O *Lean Manufacturing* foi, de forma explícita, derivado do Sistema Toyota de Produção. Por esse motivo, faz-se necessário estudar o modelo japonês. O STP é uma abordagem teórica e prática de gestão da produção/operações que teve origem na Toyota, no Japão. Foi originalmente desenvolvido na Toyota *Motor Company*, com a decisiva participação de Taiichi Ohno e Shigeo Shingo. A eficácia do STP foi reconhecida após a crise do petróleo nos anos 1970, permitindo à Toyota produzir veículos de alta qualidade de forma mais eficiente e a preços mais baixos (Hopp; Spearman, 2021).

A eficiência do STP chamou a atenção de empresas ao redor do mundo, levando-as a buscar formas de melhorar seus processos de produção, tornando-se mais competitivas. Gradualmente, as práticas de STP foram introduzidas nas empresas ocidentais, adaptadas às suas necessidades e contextos culturais. As obras teóricas dos autores seminais Shingo (1996) e Ohno (1997), relacionadas às ações práticas efetivadas na construção do STP, não possuem um método de construção completamente formalizado na literatura. Segundo Antunes (1998) e Antunes *et al.* (2008), os princípios básicos de construção do STP são três: (1) Mecanismo da Função de Produção (MFP); (2) o princípio do não custo; e, (3) as perdas nos sistemas de produção. Ainda, é possível observar na literatura uma convergência entre os pesquisadores quanto às três principais etapas para a construção do STP,

apresentadas no Quadro 02 (Danese; Manfè; Romano, 2018; Gebeyehu; Abebe; Gochel, 2022).

Quadro 02 – Etapas para a construção do STP.

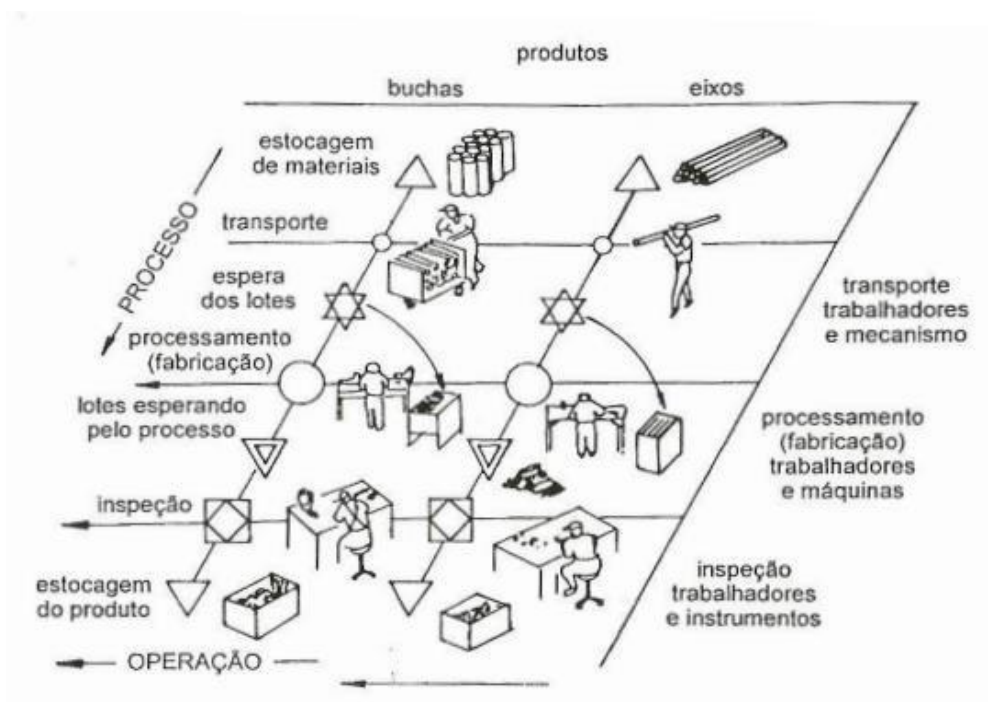
Etapa	Atividade	Premissas
1	Interpretação do sistema produtivo	Base analítica conceitual
2	Construção do sistema produtivo	Condições socioeconômicas contextuais da organização em análise
3	Criação e/ou utilização de métodos e técnicas convencionais	Promover a melhoria concreta no sistema produtivo

Fonte: Elaborado pelo autor, com base em Shingo (1996).

Proposto por Shingo (1996), o Mecanismo na Função Produção (MFP) é a principal contribuição conceitual e prática de um dos autores seminais do STP. Shingo (1996) postula que a estrutura dos sistemas produtivos, ou seja, da Função Produção, precisa ser percebida como uma rede composta da Função Processo e da Função Operação. Para utilizar com eficácia os métodos e técnicas/ferramentas do STP, é necessário entender o funcionamento da Função Produção como um todo, compreendendo-a como uma rede de processos e operações.

Neste contexto geral, a Função Processo trata do fluxo dos materiais no tempo e no espaço (Shingo 1996). Antunes (1998) sugere a adoção de um conceito mais amplo, propondo que a Função Processo seja entendida, de forma mais abstrata, como o acompanhamento do objeto do trabalho (materiais, serviços, ideias, etc.) no tempo e no espaço. Já a Função Operação trata do fluxo do sujeito do trabalho (pessoas e equipamentos) no tempo e no espaço. Essa estrutura da Função Produção é representada na Figura 05.

Figura 05 – Estrutura da Produção.



Fonte: Shingo (1996).

Shingo (1996) observa que, embora a Função Processo, na visão dos autores, seja composta por uma série de operações, é essencial visualizá-la de outra forma, a partir de dois eixos distintos, para evitar a falsa crença de que melhorias individuais nas operações da Função Operação aumentarão automaticamente a eficiência global do fluxo de produção. Esse aspecto será amplamente tratado a seguir por Goldratt, que demonstra que, em um sistema — especialmente nos sistemas produtivos —, a soma dos ótimos locais não equivale ao ótimo global do sistema. Ohno (1997), por sua vez, destaca que a verdadeira melhoria na eficiência de um sistema de produção ocorre por meio da redução de desperdícios. Portanto, o primeiro passo para aplicar o STP é identificar minuciosamente as perdas apresentadas no Quadro 03.

Quadro 03 – Desperdícios do STP.

Perda	Descrição
Superprodução	Fazer antes ou mais produtos do que o necessário
Espera	Espera de um lote quando o lote precedente esta sendo processado, inspecionado ou trabsportado
Transporte	Movimentos desnecessários de materiais ou produtos
Processamento	Atividades desnecessárias durante o processamento
Estoque	Existencia de níveis excessivos de materiais
Movimentos	Realização de movimentos desnecessários por parte dos trabalhadores
Defeitos	Correção de produtos com defeito

Fonte: Ohno (1997).

Mais amplamente, de acordo com Ohno (1997), o objetivo central das melhorias nos sistemas produtivos é reduzir o tempo entre o pedido do cliente e o recebimento do pagamento, ou seja, o tempo total de atravessamento (*lead time*) entre o pedido do cliente e o recebimento. Para alcançar estes objetivos nos sistemas produtivos, é necessário distinguir claramente a Função Processo (atividade-fim) e a Função Operação (atividade-meio).

Shingo (1996a) destaca que simplesmente imitar o STP não resultará em melhorias satisfatórias nos sistemas produtivos de maneira geral. No entanto, os conceitos subjacentes a esses sistemas são claros e podem ser aplicados de acordo com as necessidades específicas de qualquer sistema de produção, ou seja, a ideia e a prática do MFP são universais. Em outras palavras, o MFP permite a construção de sistemas de produção próprios para empresas específicas.

Nessa conjuntura, a Toyota desenvolveu um sistema de produção revolucionário, baseado na eliminação de desperdícios, na utilização eficiente de recursos e no aprimoramento contínuo dos processos. O Ocidente adaptou as ferramentas e os princípios do STP para reduzir o desperdício, o tempo de atravessamento e, assim, aumentar o valor para o cliente (Sangwa; Sangwan, 2023). Inicialmente, o *Lean* foi sendo cada vez mais aplicado nas indústrias de manufatura e, de maneira mais específica, no segmento automotivo. Na sequência, houve uma expansão para outros segmentos industriais e de serviços. Atualmente, o *Lean*

Manufacturing é considerado um paradigma de produção, cujos objetivos são criar valor para o cliente e reduzir o tempo de atravessamento nos sistemas produtivos (Tošanović; Štefanić, 2022).

Para entender genuinamente o que é o *Lean Manufacturing*, é importante trazer algumas definições encontradas na literatura. Os autores Womack e Jones (1996) desenvolveram o conceito de *Lean* como uma forma de agilizar e aumentar a capacidade produtiva da empresa, enfatizando a necessidade de alinhar as atividades que realmente agregam valor aos produtos ao longo da cadeia. O *Lean* é considerado uma filosofia, um modo de vida e uma forma de pensar, que nos auxilia a identificar e eliminar desperdícios e, assim, gerar valor para os processos e negócios (Ojha; Venkatesh, 2022).

O *Lean* pode ser descrito, ainda, como um modelo alternativo de produção integrada, que combina diversas estratégias, métodos e ferramentas para o desenvolvimento de produtos e para o gerenciamento de suprimentos e de operações em um todo coerente (Womack; Jones, 1994). Liker (2005) afirma que o *Lean* é uma filosofia que reduz o tempo desde o pedido do cliente até a entrega, eliminando desperdícios no fluxo de produção. Pacheco *et al.* (2019) afirma que o *Lean* é um programa destinado a aumentar a eficiência das operações e promover a melhoria contínua, tornando as empresas ágeis diante das mudanças nas demandas do mercado.

O *Lean* representa uma abordagem holística e estratégica para a gestão de operações, que visa o aperfeiçoamento da eficácia dos processos produtivos, proporcionando uma vantagem competitiva significativa no mercado. Além disso, busca proporcionar um fluxo contínuo ao longo da cadeia para atender às necessidades do cliente e oferecer uma maior variedade de produtos (Danese; Manfè; Romano, 2018). A filosofia *Lean* se fundamenta em cinco passos essenciais, apresentados a seguir, que visam a melhoria da eficiência operacional, a redução dos desperdícios e a oferta de maior valor aos clientes.

- a) definir o que é valor sob a ótica do cliente: este é um dos princípios fundamentais do *Lean*. Nesse contexto, os desperdícios de tempo, recursos, movimento e produção são identificados e eliminados. Isso inclui atividades que não agregam valor ao produto ou serviço final, como excesso de estoque, tempos de espera e processos redundantes;
- b) fluxo de valor de cada produto: o princípio do fluxo de valor visa a minimização do tempo de espera, mantendo um fluxo constante de trabalho;
- c) fluxo contínuo: fazer fluir, realizar essas atividades sem interrupção;

- d) produção puxada: este princípio baseia-se na demanda do cliente, em que a produção é acionada com base nas necessidades reais do mercado, ao invés de estimativas de demanda. As organizações podem aplicar esse princípio ajustando os processos de produção para atender às solicitações dos clientes, minimizando estoques e evitando excesso de produção;
- e) perfeição: o princípio da perfeição envolve a busca constante pela melhoria contínua, na intenção de eliminar defeitos, erros e ineficiências (Da Costa; Nogueira, 2023; Danese; Manfè; Romano, 2018; Sangwa; Sangwan, 2023).

É importante observar que esses princípios estão relacionados às definições conceituais de diferentes autores ao longo do tempo, e que se baseiam na eliminação de desperdícios, como defeitos, superprodução, espera, transporte, excesso de estoque, movimentações desnecessárias e excesso de processamento. Essas abordagens se caracterizam como a estratégia utilizada para alcançar o propósito fundamental do *Lean*, que é diminuir o tempo entre o pedido do cliente e a entrega desse pedido (Gebeyehu; Abebe; Gochel, 2022; Ojha; Venkatesh, 2022; Sangwa; Sangwan, 2023).

Hopp e Spearman (2021), no entanto, identificaram uma lacuna entre as descrições do *Lean*, utilizadas pelos profissionais da indústria e encontradas na pesquisa acadêmica sobre o tema, e definiram um conceito a partir de quatro “lentes”, conforme representação ilustrada na Figura 06.

Figura 06 – Conceito *Lean* sobre as lentes organizacionais.



Fonte: Hopp; Spearman (2021).

- a) lente de processo: a primeira definição de *Lean* é “a busca pela eliminação de desperdícios”. Este objetivo tem estado por trás de todos os esforços para desenvolver uma maneira melhor de produzir um bem ou serviço (Hopp; Spearman, 2021);
- b) lente de fluxo: a segunda definição é “minimizar o custo do excesso de estoque, capacidade ou tempo”. A identificação menciona que são necessários três tipos de *buffers* – buffer de estoque, de tempo e de capacidade – para tratar a variabilidade. Estes *buffers* são essenciais para o *Lean*, porque o principal desafio na entrega de bens ou serviços aos clientes é combinar eficientemente a oferta com a demanda (Hopp; Spearman, 2021);
- c) lente de rede: a terceira definição de *Lean* é “um processo sistemático para reduzir o custo do desperdício”. Ao contrário das duas primeiras definições, que ajudam a enumerar os tipos de desperdício, esta indica o foco em um processo sistemático de onde e como reduzir o desperdício (Hopp; Spearman, 2021);
- d) lente de organização: a quarta definição de *Lean* é “uma cultura organizacional que incentiva a redução contínua de custos”. O foco na cultura organizacional vai além da física dos fluxos, que esteve no centro das três primeiras lentes do *Lean*, abrangendo uma visão da organização como um todo.

O fato de o *Lean* não ser novo não diminui a sua importância. Aumentar a eficiência aumenta a produtividade, o que, por sua vez, eleva os padrões de vida. Portanto, não é exagero dizer que a eficiência – o objetivo do *Lean* – é fundamental para melhorar a condição humana (Hopp; Spearman, 2021). A filosofia *Lean* continua a evoluir e a influenciar várias indústrias ao redor do mundo, sendo considerada uma das abordagens mais eficazes para aprimorar a produtividade e a qualidade, ao mesmo tempo em que reduz os custos e os impactos ambientais (Danese; Manfè; Romano, 2018).

Ao analisar as definições contextuais dos pesquisadores, é possível observar que as abordagens *Lean* estão fundamentadas no estudo da especificação do fluxo de valor, fazendo referência, inicialmente, à Função Processo, e por conseguinte, deixando claro, a partir do fluxo como um todo, as necessidades de melhorias na Função Operação. No contexto do *Lean*, o estudo do fluxo de valor é realizado por meio de uma das principais ferramentas do *Lean*, que é o *Value Stream Mapping* (VSM). O VSM é uma abordagem sistemática para engenheiros de produção sobre como e quando empregar melhorias que atendam às demandas do cliente. Quando

combinado com outras ferramentas de *Lean*, como o *Kanban*, o VSM tem um impacto substancial na redução de estoques (Sangwa; Sangwan, 2023).

2.1.1 Métodos e Técnicas/Ferramentas do *Lean Manufacturing*

Na sequência, são tratados os principais métodos do *Lean*, considerados relevantes para a elaboração do presente trabalho.

2.1.1.1 VSM

A especificação de valor é um conceito essencial dentro do *Lean* e amplamente abordado na literatura, geralmente associado ao *Value Stream Mapping* (VSM). Essa abordagem é fundamental para identificar o valor agregado e os desperdícios nos sistemas produtivos (Bugvi *et al.*, 2021). A especificação de valor envolve a identificação das atividades que agregam valor ao produto ou serviço do ponto de vista do cliente, proporcionando uma compreensão aprofundada do processo produtivo. Isso possibilita a eliminação de atividades que não agregam valor, a redução do *lead time*, a otimização do fluxo de materiais e a melhoria da eficiência operacional (Hardcopf; Liu; Shah, 2021; Kale; Parikh, 2019).

O VSM é um método valioso para muitas empresas que buscam melhorar o seu desempenho operacional. É adequado para auxiliar na identificação de resíduos e suas fontes; visualizar a sequência de processos, informações e fluxos de materiais para toda a cadeia de valor; apoiar o processo de priorização das atividades de melhoria contínua para toda a cadeia de valor; e estabelecer as bases para o plano geral de melhoria (Silva; Nunes, 2023).

Além disso, o VSM promove o conceito de fluxo contínuo, que envolve a eliminação de interrupções no processo, garantindo que o trabalho flua de forma suave e eficiente. Ao se utilizar de mapas e gráficos para representar o fluxo de valor, a compreensão e a comunicação entre as equipes são facilitadas. Isso ajuda a identificar problemas e oportunidades de melhoria de forma mais clara e eficaz (Kale; Parikh, 2019).

O VSM é baseado no conceito de mapear e analisar o fluxo de valor de um processo, desde o início até o fim. Isso envolve a identificação de todas as etapas,

atividades e recursos envolvidos na produção de um produto ou na prestação de um serviço.

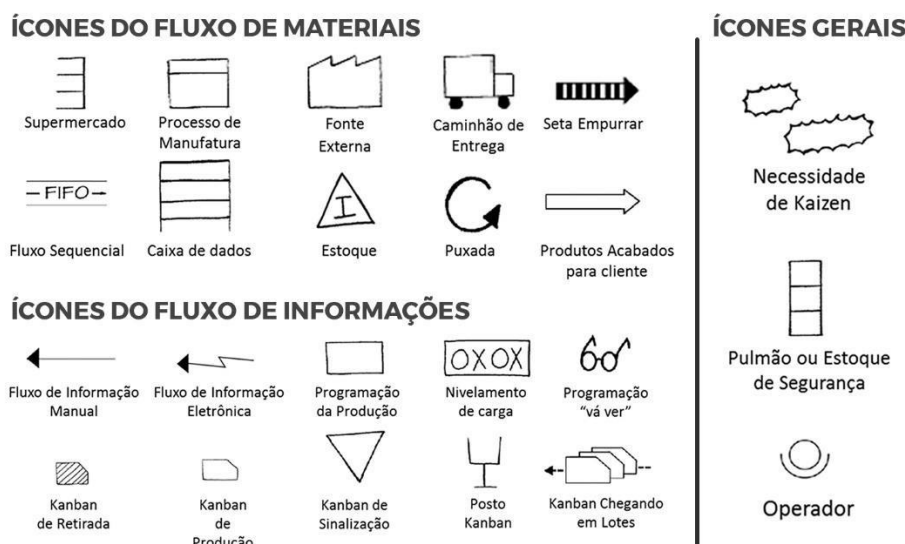
Entre os principais objetivos do VSM, os pesquisadores destacam seis pilares, que se correlacionam diretamente com os objetivos gerais do *Lean* (Martins *et al.*, 2021; Sangwa; Sangwan, 2023; Silva; Nunes, 2023), apresentados a seguir:

- a) identificação de desperdícios: o VSM permite identificar e eliminar desperdícios ao longo de toda a cadeia de suprimentos, desde a recepção de matérias-primas até a entrega do produto final. Isso pode incluir excessos de estoque, tempos de espera, processos ineficientes, entre outros;
- b) otimização do fluxo de valor: através do mapeamento, é possível identificar onde estão ocorrendo interrupções no processo de produção. Isso permite reorganizar o fluxo de valor de forma a otimizar o processo como um todo, melhorando a eficiência e a produtividade;
- c) redução do *lead time*: com a otimização do fluxo de valor, é possível reduzir o *lead time*, ou seja, o tempo necessário para que um pedido seja atendido, desde a fabricação até a entrega ao cliente. Isso pode contribuir para uma maior agilidade e rapidez na resposta às demandas do mercado automotivo, muitas vezes caracterizado por prazos justos e demandas flutuantes;
- d) melhoria na qualidade: através do VSM, é possível identificar oportunidades de melhoria e efetivar práticas que objetivam elevar a qualidade dos produtos fabricados. Uma produção mais enxuta e eficiente tende a resultar em menos erros e retrabalhos;
- e) redução dos custos: com a eliminação de desperdícios e a redução de *lead times*, é possível reduzir custos operacionais, tais como estoques excessivos, horas extras, transporte desnecessário, entre outros, contribuindo para aumentar a competitividade do fornecedor no mercado automotivo;
- f) melhoria na satisfação do cliente: ao oferecer um processo mais eficiente e ágil, é possível atender melhor às demandas e necessidades dos clientes, contribuindo para melhorar a satisfação e fidelização dos mesmos.

A eficácia do VSM como ferramenta para melhorar a eficiência do fluxo de produção está bem estabelecida. O desenvolvimento de um mapa visual em larga

escala dos processos e suas interações é benéfico para a análise de problemas e a busca por soluções. O VSM proporciona aos gestores uma compreensão mais profunda dos processos organizacionais, permitindo uma abordagem sistêmica e coordenada com as pessoas envolvidas (Bugvi *et al.*, 2021).

Figura 07 – Ícones básicos do VSM.



Fonte: Adaptado de Carvalho; Gonçalves; Silva (2019).

O VSM tem sido amplamente adotado para identificar e eliminar atividades que não agregam valor nos sistemas produtivos, com foco na Função Processo, resultando em maior eficiência e economia de custos. Devido à sua versatilidade e adaptabilidade, o VSM pode ser customizado para resolver problemas organizacionais específicos. Ele abrange todos os fluxos de processos, materiais e informações, mapeando atividades com e sem valor agregado e representando graficamente o estado atual e futuro do sistema produtivo. O objetivo é proporcionar aos usuários uma compreensão mais clara dos desperdícios que precisam ser eliminados (Gebeyehu; Abebe; Gochel, 2022).

Todo projeto de melhoria deveria começar com uma avaliação da situação atual, pois, ao examinar seus processos, as empresas podem identificar oportunidades significativas para aprimoramento. No entanto, uma vez que os problemas mais óbvios são resolvidos, o VSM não oferece uma maneira de identificar oportunidades mais amplas. Apesar de ser um primeiro passo válido, o VSM não constitui um paradigma totalmente abrangente para a análise de sistemas por várias razões: não oferece meios para diagnosticar as causas de tempos de ciclo

excessivamente longos nas operações e, embora colete dados sobre capacidade e demanda, não calcula a utilização de forma a detectar quando um processo enfrenta demanda além de sua capacidade (Hopp; Sperman, 2013).

2.1.1.2 *Kanban*

Outro método fundamental do *Lean Manufacturing* é o *Kanban*, que surgiu no Japão e se tornou popular em todo o mundo devido aos seus benefícios para a organização e a gestão do trabalho. Teve sua origem a partir da visita dos profissionais da Toyota aos supermercados americanos. A partir desta visita, Ohno imaginou que se os supermercados tivessem uma fábrica de seus próprios produtos, poderia haver um cartão de produção e um cartão de movimentação entre a loja e o departamento de produção. Com base nas informações contidas no cartão *Kanban*, o departamento de produção produziria a quantidade de mercadorias vendidas (Puche *et al.*, 2019; Thürrer; Fernandes; Stevenson, 2022).

Para Ohno (1997), os pilares/princípios do STP são o JIT e a automação com um toque humano, intitulada de Automação (*Autonomation* em inglês; *Jidoka* em japonês), sendo o *Kanban* o método por excelência para operacionalizar o princípio do *Just In Time* (JIT). O princípio do controle do fluxo de produção JIT ganhou força considerável no final dos anos de 1970, com sua adoção facilitada pelo uso de *kanbans*. O termo *Kanban*, em japonês, significa cartão visual ou sinalização, materializado usualmente mediante cartões de autorização de produção que indicam, para sinalizar as estações, a montante, e o momento apropriado para reabastecer o estoque das estações, a jusante. Os *Kanbans* viajam com um lote de componentes à medida que continuam sua jornada por vários estágios de fabricação

O método do *Kanban* é baseado em princípios como o controle de fluxo, otimização da produção, transparência, colaboração e flexibilidade. Seu uso pode trazer inúmeros benefícios para as empresas, como a redução de custos, o aumento da eficiência e a melhoria da qualidade do trabalho.

O conceito básico do *Kanban* é controlar o fluxo de produção e do trabalho de forma eficiente, limitando o trabalho em progresso e minimizando o desperdício. Isso é feito por meio de cartões ou sinais visuais, que indicam o *status* de cada tarefa ou processo na produção. Os cartões são usados para sinalizar a necessidade de

reposição de materiais, a movimentação de peças, o início ou término de um processo, entre outras coisas (Hassan *et al.*, 2022).

O *Kanban* é baseado em alguns princípios fundamentais, como a melhoria contínua, a transparência e a flexibilidade, com vistas a eliminar a sobrecarga de trabalho, otimizar os processos, reduzir o tempo de espera e aumentar a eficiência. Além disso, o sistema/método *Kanban* promove a comunicação e a visibilidade do trabalho, permitindo que as equipes acompanhem o progresso e tomem decisões fundamentadas. Ao receber um pedido do cliente (ou o pedido de uma estação a jusante), o lote é enviado ao cliente/estação a jusante; então, seu *Kanban* é destacado e transferido a montante, para reiniciar o processo de produção. Assim, os *Kanbans* tornam-se a única maneira de controlar o estoque em processo (WIP – *Work In Progress*) e autorizar as estações a montante a iniciarem a produção de um novo lote para reabastecer o estoque a jusante (Piplani; Ang, 2018; Robaaiy; Rahima; Alghazali, 2023).

Uma das características mais importantes do *Kanban* é a sua flexibilidade. Ele pode ser aplicado em diferentes contextos, não apenas na indústria, mas também em empresas de serviços, como TI, marketing, saúde, entre outros. O sistema pode ser adaptado de acordo com as necessidades específicas de cada organização e equipe. Além disso, o *Kanban* é uma ferramenta de gestão visual, o que facilita o entendimento e a comunicação entre os membros da equipe. Isso contribui para a redução de erros, melhoria da qualidade do trabalho e para o aumento da produtividade (Piplani; Ang, 2018).

O *Kanban* é um meio para conseguir atingir o JIT. Para que esta ferramenta funcione, os sistemas de produção precisam ser administrados seguindo seis regras de utilização, conforme apresentado no Quadro 04.

Quadro 04 – Funções e regras do *Kanban*.

Funções do <i>Kanban</i>	Regras para utilização
1) Fornecer informações sobre retirar ou transportar.	O processo a jusante retira o número de itens indicados pelo cartão <i>Kanban</i> do processo a montante.
2) Fornecer informação sobre a produção.	O processo inicial produz itens na quantidade e sequência indicadas pelo cartão <i>Kanban</i> .
3) Impedir a superprodução e o transporte excessivo.	Nenhum item é produzido ou transportado sem um <i>Kanban</i> .
4) Servir como uma ordem de fabricação afixada aos itens.	Serve para afixar o <i>Kanban</i> ao item.
5) Impedir produtos defeituosos pela indicação do processo que o produz.	Produtos defeituosos não são enviados ao processo seguinte.
6) Revelar problemas existentes e manter o controle dos estoques.	Reduzir o número de <i>kanbans</i> , para aumentar a sensibilidade aos problemas.

Fonte: Ohno (1997).

Sob as regras 1 e 2, o *Kanban* atua como um pedido de retirada, transporte ou entrega. A regra 3 proíbe a produção e a retirada de qualquer mercadoria sem uma necessidade real. A regra 4 determina que um cartão *Kanban* seja afixado aos materiais. A regra 5 exige que os produtos estejam livres de defeitos. Por fim, a regra 6 requer a redução do número de cartões *Kanban*. Quando essas seis regras são devidamente aplicadas, o papel do *Kanban* pode ser ampliado nos sistemas de produção.

Nesse sentido, o *Kanban* impede a superprodução e, em sua essência, funciona como a ligação entre as linhas de produção, tornando claro o que deve ser feito e promovendo melhorias. Além disso, um dos objetivos do método é identificar desperdícios, possibilitando a análise e a implementação de propostas para aprimorar os fluxos de produção. De modo geral, o sistema *Kanban* é um mecanismo de controle de estoque altamente eficaz, que pode contribuir significativamente para o gerenciamento dos níveis de estoque, minimizando desperdícios e melhorando a eficiência operacional (Che Ani; Kamaruddin; Azid, 2018; Hassan *et al.*, 2022; Tomaszewska, 2023).

Existem várias vantagens em adotar o *Kanban* nos sistemas de produção. As principais vantagens encontradas na literatura incluem:

- a) controle de estoque: o *Kanban* ajuda a controlar o estoque de forma eficiente, evitando acúmulos desnecessários e garantindo que os materiais estejam disponíveis quando necessário;
- b) flexibilidade: o sistema *Kanban* permite ajustes rápidos na produção, possibilitando uma resposta ágil às mudanças na demanda do mercado;
- c) redução de desperdícios: o *Kanban* ajuda a identificar e eliminar desperdícios, melhorando a eficiência operacional;
- d) melhoria contínua: ao visualizar o fluxo de trabalho e os processos, o *Kanban* facilita a identificação de oportunidades de melhoria contínua;
- e) capacidade de adaptação: o *Kanban* proporciona uma melhor capacidade de adaptação às necessidades do mercado e dos clientes, favorecendo a agilidade da produção;
- f) transparência: o sistema *Kanban* torna o fluxo de trabalho transparente, facilitando a comunicação entre as equipes de produção, permitindo uma visão clara do processo como um todo.

Essas vantagens fazem do *Kanban* uma ferramenta fundamental para melhorar a eficiência dos sistemas produtivos (Che Ani; Kamaruddin; Azid, 2018; Hassan *et al.*, 2022; Piplani; Ang, 2018; Puche *et al.*, 2019; Robaaay; Rahima; Alghazali, 2023; Thürer; Fernandes; Stevenson, 2022; Tomaszewska, 2023).

2.1.2 Teoria das Restrições

A Teoria das Restrições (TOC) foi inicialmente concebida pelo físico israelense Eliyahu Goldratt, na década de 1970, e amplamente divulgada no meio produtivo a partir de 1984, quando Goldratt publicou o livro “A Meta”. Nessa obra, o autor apresenta conceitos que redefiniram as melhores práticas de gestão nas organizações, destacando as principais características do funcionamento, das restrições e das variabilidades dos sistemas de produção que impedem o cumprimento do objetivo estratégico: “ganhar dinheiro hoje e no futuro”.

A TOC é uma abordagem fundamental nas áreas de Administração da Produção, Engenharia de Negócios e Produção e Gestão de Operações. Ela se baseia na ideia de que todos os sistemas têm pelo menos uma restrição que limita a capacidade total do sistema. Essa restrição, também conhecida como gargalo quando a capacidade de produção é inferior à demanda, é um ponto do sistema de produção

que impede incrementar a produção, tendo em vista o atendimento do mercado (Modi; Lowalekar; Bhatta, 2019; Pacheco; Antunes Junior; De Matos, 2021).

A TOC tem como principal objetivo aumentar a produtividade e a rentabilidade de uma organização, melhorando a sua capacidade de atender à demanda do mercado e alcançar suas metas estratégicas. Para atingir esse objetivo, a TOC propõe um processo de melhoria contínua, baseado em cinco etapas-chave:

- a) identificação das restrições: o primeiro passo é identificar as restrições que limitam a capacidade e a eficiência da organização. Isso pode ser feito por meio da análise ampla dos sistemas produtivos empresariais, identificando gargalos e outras limitações que afetam o atendimento das demandas do mercado;
- b) exploração das restrições: uma vez identificadas as restrições, o próximo passo é explorá-las ao máximo. Isso envolve a melhor utilização da restrição feita no passo 1;
- c) subordinação de tudo à restrição: o terceiro passo é garantir que todas as atividades e recursos estejam subordinados à restrição identificada. Isso significa que todas as decisões devem ser tomadas levando em consideração o impacto na restrição, para garantir que todos os recursos do sistema sejam utilizados de forma eficiente;
- d) elevar a capacidade da restrição: se o gargalo for interno, é necessário aumentar a capacidade de produção ou reduzir a demanda do gargalo, e isso pode ser feito genericamente de duas formas (Antunes, 1998). A primeira é aumentando a capacidade de produção através de: i) aumento de tempo de utilização do gargalo (por exemplo, horas extras, compra de máquinas); ou ii) aumento do Índice de Rendimento Operacional Global do Sistema (IROG). A segunda é reduzindo a demanda por meio de duas lógicas genéricas: i) redução dos tempos de processamento (por exemplo, através da engenharia de processo); ii) redução da quantidade que passa no gargalo (por exemplo, usando máquinas alternativas, terceirizando, etc.);
- e) voltar à etapa 1 e não deixar a inércia tomar conta do sistema, pois, ao aumentar a capacidade da restrição, o sistema se torna mais genérico, o que demanda uma análise renovada.

As etapas 4 e 5 refletem o caráter de melhoria contínua buscado pela Teoria das Restrições, com o objetivo de alcançar, permanentemente e sistematicamente, a meta global do sistema, que é “ganhar dinheiro hoje e no futuro” (Urban, 2019).

A aplicação da TOC, seguindo as etapas-chave, pode oferecer uma série de benefícios às organizações, contribuindo para o alcance de seus objetivos estratégicos. Alguns dos principais benefícios incluem:

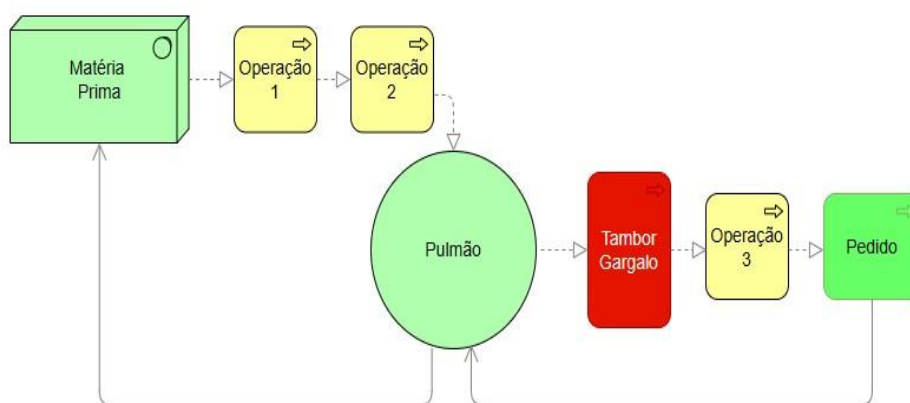
- a) aumento da produtividade: ao identificar e mitigar as restrições que limitam a capacidade de produção, a TOC permite que as organizações alcancem níveis mais altos de produtividade;
- b) redução de custos: ao melhorar a eficiência dos processos e otimizar a utilização dos recursos, a TOC pode levar a uma redução significativa nos custos operacionais;
- c) melhorias do tempo de resposta do sistema: a TOC permite que as organizações respondam mais rapidamente às demandas do mercado, reduzindo os tempos de atravessamento e aumentando, assim, a agilidade operacional;
- d) maior satisfação do cliente: ao melhorar a capacidade de atender às demandas do mercado, a TOC pode levar a uma maior satisfação dos clientes, ajudando as organizações a conquistarem novos clientes e a reter os atuais;
- e) melhoria contínua: a TOC também visa a promoção de um processo contínuo de melhorias nos sistemas empresariais e produtivos.

Como esta dissertação trata de questões relacionadas à melhoria de sistemas empresariais e de produção a partir das fábricas, torna-se relevante abordar a gestão eficiente do fluxo produtivo, isto é, o fluxo de materiais no tempo e no espaço. Nesse contexto, a abordagem da Teoria das Restrições (TOC), denominada Tambor/Pulmão/Corda (TPC), será discutida a seguir. Essa metodologia da TOC é aplicada no estudo e na implementação de estratégias de programação e controle da produção nas fábricas, sendo um método alternativo ao *Kanban*, proposto no âmbito do Sistema Toyota de Produção/*Lean Manufacturing* (Tomaszewska, 2023).

2.2 TAMBOR/PULMÃO/CORDA (TPC)

O método Tambor, Pulmão e Corda (DBR – *Drum Buffer Rope*, em inglês) é uma abordagem de gestão focada na identificação, programação e controle do gargalo dos sistemas produtivos. Tem o objetivo de maximizar o desempenho econômico-financeiro do sistema produtivo, aumentando a produtividade; reduzindo os custos; utilizando, da melhor maneira, a capacidade instalada; e atendendo às necessidades do mercado. Tudo isto é possível mediante o estabelecimento de um ritmo de produção, protegendo o gargalo e controlando o fluxo de produção (Puche *et al.*, 2019). Ele foi criado tendo como base as cinco etapas do processo de aprimoramento contínuo da TOC. Na Figura 08, a seguir, apresenta-se um esquema básico e simplificado da lógica do método Tambor/Pulmão/Corda.

Figura 08 – Estrutura de um sistema de produção TPC.



Fonte: Elaborada pelo autor.

O Tambor está associado ao ritmo de produção do gargalo e, portanto, do sistema produtivo como um todo. Se o ritmo determinado pelo Tambor define o ritmo de todo o sistema produtivo, gerir da melhor forma o Tambor contribui decisivamente para a eficaz gestão da operação como um todo. O Pulmão é um estoque de segurança, materializado na forma de estoque físico ou de tempo, criado para evitar interrupções na produção. O Pulmão de proteção está localizado antes do gargalo, e o protege para que ele esteja sempre funcionando, mesmo diante de possíveis variações na demanda ou nos diferentes recursos do sistema de produção anteriores ao gargalo (Pulmão). A Corda é o conjunto de recursos e atividades que são sincronizados com o ritmo do Tambor. Trata-se do mecanismo de controle do fluxo de

produção, garantindo que as ordens de trabalho sejam liberadas de acordo com a capacidade do gargalo (Thürer; Fernandes; Stevenson, 2022).

Além disso, a programação do Tambor determina a sequência na qual os trabalhos são liberados para o chão de fábrica (a sequência de produção da cabeça da linha/início do sistema de produção) (Thürer; Stevenson, 2018). Existem dois cenários genéricos possíveis na ótica do TPC: se a produção for bastante repetitiva, a programação do Tambor é orientada pelo *mix* de produtos. No entanto, se a produção for de alta variedade, o Tambor é movido por considerações de urgência (Puche *et al.*, 2019; Tomaszewska, 2023).

A aplicação do método do TPC tem sido amplamente utilizada em diversos setores, como manufatura, logística e serviços, com o objetivo de aumentar a produtividade, reduzir os *lead times*, minimizar estoques e melhorar o cumprimento de prazos/atendimento ao cliente. Ao focar no gargalo do sistema produtivo e gerenciar a capacidade de produção a partir dele, o TPC permite que as empresas otimizem seus recursos e fluxos de materiais, alcançando os resultados mais eficientes e lucrativos possíveis (Lizarralde-Aiastui; De Eulate; Mediavilla-Guisasola, 2020; Tošanović; Štefanić, 2022).

O TPC traz uma série de vantagens e benefícios quando adotado em sistemas de produção. Algumas das principais vantagens e benefícios do TPC incluem:

- a) foco na restrição: o TPC se concentra na restrição do sistema, conhecida como o “Tambor”, garantindo que a produção seja sincronizada com a capacidade limitada dessa restrição, maximizando, assim, o ótimo global do sistema. Permite controlar com rapidez as principais variabilidades do sistema produtivo;
- b) redução de *lead time*/tempo de atravessamento: a abordagem TPC ajuda a reduzir o *lead time*, ou seja, o tempo necessário para que um material atravesse a fábrica, o que é central para atender os clientes da forma mais rápida e ágil possível;
- c) otimização do estoque: ao sincronizar a produção com a restrição, o TPC contribui para uma melhor gestão do estoque, evitando excessos de estoques de matéria-prima, material em processo e produtos acabados, reduzindo os custos associados ao estoque desnecessário;

- d) melhoria da produtividade: a abordagem TPC busca maximizar a utilização da capacidade da restrição, o que leva a um aumento da produtividade e da eficiência do sistema como um todo;
- e) maior confiabilidade: aumenta a confiabilidade do fluxo de produção, uma vez que controla, da forma mais eficaz possível, os fluxos do sistema produtivo, evitando interrupções e atrasos;
- f) aumento da rentabilidade: ao reduzir os custos associados ao estoque, ao *lead time* e ao excesso de capacidade, o sistema TPC contribui para um aumento da rentabilidade da empresa.

Essas vantagens e benefícios fazem do TPC um método fundamental para melhorar a eficiência dos sistemas de produção como um todo (Tomaszewska, 2023).

2.2.1 Análise crítica comparativa entre *Lean* e TOC

O *Lean Manufacturing* e a Teoria das Restrições são duas teorias amplamente utilizadas na área de gestão da produção e operações. O *Lean* surgiu como uma abordagem para eliminar desperdícios e aumentar a eficiência dos processos produtivos. Por outro lado, a TOC é uma abordagem que busca identificar e gerenciar os gargalos que limitam a capacidade de produção de um sistema.

Tanto o *Lean* como a TOC são abordagens utilizadas para melhorar a eficiência e a produtividade de uma organização. Ambas têm como objetivo eliminar desperdícios e otimizar processos. Igualmente, enfatizam a importância da identificação e da resolução de gargalos para melhorar o desempenho global. No *Lean*, a ênfase está na redução de desperdícios em todas as etapas do processo de produção. Através da aplicação de ferramentas como o *Kanban*, busca-se eliminar atividades desnecessárias, como estoques excessivos, movimentações desnecessárias e tempos de espera, visando melhorar a eficiência e reduzir custos. Por sua vez, a TOC concentra-se na identificação e eliminação das restrições que limitam o desempenho do sistema como um todo (Pacheco *et al.*, 2019).

Além disso, tanto o *Lean* quanto a TOC valorizam a importância da medição e da gestão de desempenho para a identificação dos pontos fracos e melhoria dos processos. Ambas as teorias enfatizam a importância da coleta de dados precisos e do uso de métricas de desempenho para monitorar o progresso e tomar decisões baseadas em evidências.

Entre as principais medidas de desempenho e indicadores do *Lean*, destacam-se (Gupta *et al.*, 2022; Pacheco *et al.*, 2019):

- a) *lead time*: o *lead time* é uma medida fundamental no *Lean Manufacturing*, capaz de medir o tempo necessário para produzir um produto ou serviço, desde o início até a entrega ao cliente. Reduzir o *lead time* é um objetivo-chave do *Lean*, pois contribui para aumentar a eficiência e a satisfação do cliente;
- b) *WIP (Work in Progress)*: o *WIP* é uma medida do estoque em processo de produção que o *Lean* busca minimizar para reduzir custos, tempos de ciclo e desperdícios.

Entre as principais medidas de desempenho e indicadores de desempenho na Teoria das Restrições, encontram-se (Modi; Lowalekar; Bhatta, 2019):

- a) *throughput*: é a taxa na qual o sistema gera dinheiro através das vendas. Na TOC, o foco está em maximizar o *Throughput*, otimizando as restrições, para aumentar a capacidade de produção e assegurar a rentabilidade;
- b) inventário: a TOC considera o inventário uma medida relevante, especialmente no contexto das restrições do sistema, buscando minimizá-lo para evitar a formação de gargalos e otimizar a utilização dos recursos;
- c) tempo de ciclo: similar ao *lead time* do *Lean*, o tempo de ciclo é crucial na TOC, medindo a duração do processo desde a entrada do material até a saída do produto final. A redução do tempo de ciclo é um objetivo importante para melhorar o desempenho operacional.

Algumas medidas de desempenho e indicadores, como o *lead time* e o tempo de ciclo, são compartilhados por ambas as teorias, refletindo a importância de monitorar e melhorar a eficiência dos processos produtivos. As duas abordagens também estão preocupadas com a minimização do estoque (*WIP* e inventário), como forma de reduzir os desperdícios e otimizar o fluxo de valor.

Enquanto o *Lean* se concentra mais na eficiência dos processos e na redução de desperdícios em toda a cadeia de valor, a TOC tem um foco mais específico na otimização das restrições e na maximização do *Throughput*. Isso pode fornecer uma visão mais holística do desempenho organizacional, combinando a eficiência operacional do *Lean* com a maximização da capacidade da TOC. Além disso, a TOC oferece o conceito de *Throughput* contábil, que considera não apenas a geração de dinheiro, mas, também, os custos operacionais relacionados à capacidade das

restrições, fornecendo uma abordagem mais completa para avaliar o desempenho financeiro (Pacheco *et al.*, 2019).

As medidas de desempenho utilizadas pelo *Lean* e pela TOC compartilham muitos princípios e objetivos, focando na eficiência, na redução de desperdícios e na maximização da capacidade produtiva. Ao combinar as medidas de desempenho de ambas as abordagens, as organizações podem obter uma visão mais abrangente e integrada do desempenho operacional, aproveitando as vantagens de cada abordagem para alcançar resultados excepcionais. A integração desses indicadores pode proporcionar uma base sólida para a melhoria contínua e a excelência operacional em todos os níveis da organização (Modi; Lowalekar; Bhatta, 2019).

Ambas as abordagens se baseiam em princípios fundamentais da gestão de negócios e reconhecem a importância da flexibilidade e da capacidade de resposta para lidar com as mudanças do mercado e com as demandas dos clientes, a fim de garantir a competitividade e a sustentabilidade a longo prazo. Adicionalmente, incentivam a experimentação, a inovação e a busca constante por melhores práticas para garantir a melhoria contínua dos processos e a maximização do valor para o cliente (Pacheco *et al.*, 2019).

Embora tenham abordagens diferentes, essas duas teorias partem da visão sistêmica da empresa e da produção. Há vários pontos em comum, dentre os quais é possível considerar a busca pela excelência operacional e pela melhoria contínua dos sistemas de produção. Essas duas teorias compartilham uma série de semelhanças importantes que refletem a importância de identificar e eliminar desperdícios, melhorando a eficiência operacional. O Quadro 05 apresenta os passos de melhorias propostos pelo *Lean* e pela TOC (Gupta *et al.*, 2022; Pacheco *et al.*, 2019).

Quadro 05 – Comparativo entre os métodos de melhoria do *Lean* e da TOC.

Comparativo do processo de melhoria baseado em 5 passos		
Passo	<i>Lean</i>	TOC
1	Identificar o valor	Identificar a restrição
2	Mapear o fluxo de valor	Explorar a restrição
3	Criar o fluxo	Subordinar o fluxo à restrição
4	Estabelecer o sistema de puxar	Elevar a capacidade da restrição
5	Buscar a perfeição	Voltar à etapa 1 (melhoria contínua)

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

De outra parte, ambas as abordagens aplicam regras de *pull* para gerenciar as informações em sistemas de produção. O *Lean*, quando possível, usa a política *Kanban* para gerenciar o fluxo de informações nos sistemas de produção e distribuição *Just In Time*. Por sua vez, a TOC utiliza o TPC. O *Kanban* e o TPC estão difundidos e aplicados principalmente nos sistemas de produção das organizações (Puche *et al.*, 2019).

No entanto, enquanto o *Lean* tem como foco central a redução dos custos fixos e variáveis, além do aumento da produção sem acréscimo nos custos fixos instalados (otimizando a utilização dos ativos existentes), a TOC concentra-se no aprimoramento do fluxo de caixa, do lucro líquido e do retorno sobre o investimento. A abordagem da TOC prioriza, inicialmente, o "Mundo dos Ganhos" para, posteriormente, tratar da redução de custos. Além disso, a TOC lida com a variabilidade e a instabilidade da demanda nas operações por meio de amortecedores estratégicos (físicos, temporais ou de capacidade), enquanto o *Lean* busca continuamente reduzir a variabilidade dos sistemas produtivos, como, por exemplo, por meio do método da Operação Padrão. De maneira geral, pode-se afirmar que *Lean* e TOC operam sob o mesmo paradigma (Antunes, 1998). Nesse sentido, a TOC pode ser vista como um método estrutural que orienta e direciona os esforços do *Lean*, evitando que sejam aplicados em áreas onde não trariam benefícios significativos (Pacheco *et al.*, 2019).

2.2.2 A variabilidade e a gestão dos *buffers*

Em uma abordagem mais abrangente para a melhoria contínua, Womack e Jones (2021) descrevem uma sequência de cinco etapas fundamentais: definir valor, mapear o fluxo de valor, criar fluxo, estabelecer um sistema puxado e, por fim, perseguir a perfeição. Essa metodologia, amplamente reconhecida no contexto do *Lean Manufacturing*, destaca-se pelo foco na gestão dos sistemas de produção, sendo estruturada de forma sistêmica e integrada. No entanto, os autores fazem uma crítica relevante às categorias de perdas descritas na literatura *Lean*, argumentando que a lista tradicional não fornece diretrizes suficientemente precisas para diagnosticar e tratar as variáveis que dão origem a essas perdas.

Segundo Womack e Jones (2021), as empresas que desejam evoluir além de um nível básico de implantação do *Lean* precisam adotar uma visão mais ampla, que vá além da mera análise de processos. A simples aplicação de métodos *Lean* para combater desperdícios evidentes não é suficiente para promover uma transformação profunda e sustentável. Embora eficaz no tratamento de desperdícios imediatos, o *Lean* tradicional não aborda de forma completa e sistemática a variabilidade que está na raiz de muitos problemas operacionais.

A variabilidade, frequentemente negligenciada na literatura, é uma das principais causas de perdas nos fluxos de processo. Assim como o gerenciamento da variabilidade climática é essencial para o sucesso agrícola, a gestão da variabilidade nas operações produtivas é crucial para o desempenho empresarial. No entanto, grande parte das pesquisas sobre *Lean* não aborda esse aspecto de forma adequada, deixando de considerar como a variabilidade impacta diretamente o desempenho organizacional (Hopp; Spearman, 2007).

Na verdade, a variabilidade é responsável por uma parcela significativa dos desperdícios, e proteger o sistema produtivo dessas perdas requer, muitas vezes, a utilização de estoques (*buffers*), capacidade ociosa e tempo adicional. Sob essa perspectiva, os *buffers*, que muitas vezes são vistos como desperdício, tornam-se necessários para lidar com a inevitabilidade da variabilidade. Não se trata, portanto, de eliminá-los completamente, mas de reduzir a necessidade de *buffers* por meio da mitigação da variabilidade (Hopp; Spearman, 2007).

Hopp e Spearman (2007) argumentam que a gestão de *buffers* por meio de uma programação de produção puxada contribui diretamente para a mitigação dos impactos da variabilidade nos fluxos de produção, tornando o processo mais ágil, eficiente e menos suscetível a interrupções. Ao alinhar a produção à demanda real,

reduzir estoques excessivos, melhorar o *lead time* e sincronizar a cadeia produtiva, esse método permite que a empresa mantenha um fluxo constante e previsível, protegendo-se das flutuações e garantindo a minimização de desperdícios. Dessa forma, a variabilidade, que pode ser uma grande fonte de perdas e ineficiências, é controlada e seus impactos reduzidos, resultando em operações mais enxutas e eficazes.

A gestão de *buffers* por meio de uma programação de produção puxada é uma abordagem eficaz para minimizar os impactos da variabilidade nos fluxos de produção. Esse método, baseado nos princípios do *Lean*, ajusta a produção de acordo com a demanda real do cliente, evitando a produção excessiva e mantendo o controle rigoroso dos estoques.

3 MÉTODO

Neste capítulo, são apresentadas, inicialmente, as considerações gerais sobre o estudo de caso. Em seguida, é exposto e justificado o método de pesquisa adotado para a elaboração deste trabalho – o Estudo de Caso. Por fim, é detalhado o método de trabalho, ou seja, os passos lógicos encadeados utilizados na condução da dissertação.

3.1 CONSIDERAÇÕES INICIAIS

O pesquisador em engenharia de produção tem como principal objetivo gerar e disseminar conhecimento científico, além de desenvolver artefatos tecnológicos que contribuam para o avanço das empresas em diferentes setores da indústria. Sua atuação busca promover a sustentabilidade econômica, social e ambiental nos sistemas produtivos e empresariais. Uma metodologia de pesquisa eficaz na engenharia de produção envolve a combinação equilibrada entre a modelagem conceitual e a aplicabilidade das análises estatísticas e experimentais, garantindo tanto a solidez teórica quanto a relevância prática dos estudos.

A utilização de métodos científicos adequados permite controlar variáveis, estabelecer hipóteses testáveis, utilizar amostras representativas e aplicar técnicas apropriadas para a condução das pesquisas. A aplicação de um método rigoroso contribui, igualmente, para a transparência na pesquisa, permitindo que outros pesquisadores possam avaliar e analisar criticamente os resultados. Isso promove o debate científico e o avanço do conhecimento científico e tecnológico na área da engenharia de produção (Dresch *et al.*, 2019).

Neste contexto, a escolha de uma abordagem adequada é fundamental para o sucesso de qualquer empreendimento de pesquisa. De modo geral, os métodos de pesquisa podem ser entendidos como um conjunto de diretrizes e práticas amplamente aceitas pela comunidade acadêmica, com o objetivo de expandir o conhecimento científico na área em questão — no caso específico deste trabalho, em Engenharia de Produção e Sistemas.

Um estudo bem fundamentado, com uma metodologia adequada, permite assegurar que os dados coletados sejam precisos e representativos da realidade estudada. O ponto de centralidade aqui consiste em permitir que outros pesquisadores

possam reproduzir o estudo e obter resultados semelhantes, fortalecendo a credibilidade da pesquisa realizada.

Além disso, a escolha adequada da abordagem metodológica permite que o pesquisador utilize os métodos, ferramentas e técnicas mais apropriados para o desenvolvimento da pesquisa, de maneira geral, e para a coleta dos dados necessários, de forma específica. Isso inclui a definição dos instrumentos de coleta, como questionários, entrevistas ou observações, bem como a seleção das técnicas de análise mais adequadas para a interpretação dos dados coletados. Neste sentido, é importante destacar que o rigor do método científico é essencial para garantir a qualidade e a confiabilidade das pesquisas acadêmicas. Ao seguir procedimentos bem estabelecidos e utilizar métodos científicos adequadamente selecionados, os pesquisadores contribuem para o avanço da ciência e da tecnologia, promovendo a replicabilidade dos estudos e fortalecendo a credibilidade junto à comunidade acadêmica como um todo (Land *et al.*, 2021).

Por outro lado, o delineamento de uma pesquisa desempenha um papel fundamental no planejamento e na execução de um estudo acadêmico. Ele representa o plano que orientará a pesquisa, abrangendo desde os fundamentos metodológicos até a definição dos objetivos, do ambiente de pesquisa, do próprio método de pesquisa e das técnicas de coleta e análise de dados que serão utilizadas para sua realização.

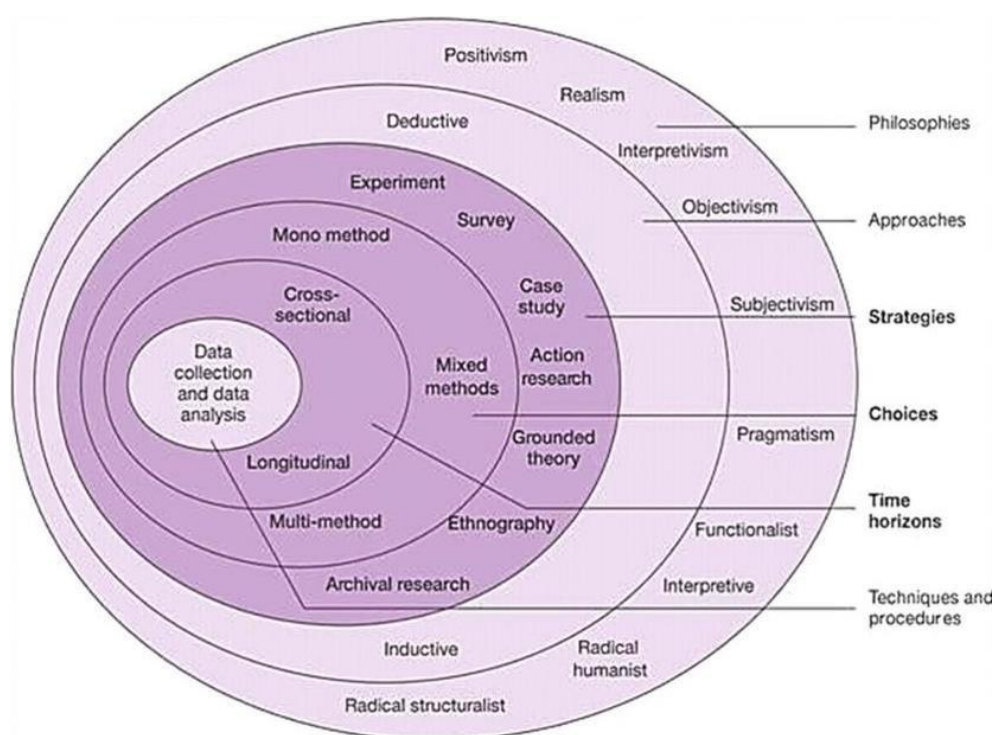
Em primeiro lugar, o delineamento da pesquisa estabelece os fundamentos metodológicos que serão utilizados. Isso inclui a escolha da abordagem adotada, o método de pesquisa selecionado e a definição dos procedimentos de coleta de dados (entrevistas, questionários, observações), bem como as técnicas de análise (análise estatística, análise de conteúdo, entre outras). Esses fundamentos garantem que a pesquisa seja conduzida de maneira consistente e confiável (Pacheco Lacerda *et al.*, 2013).

O ambiente da pesquisa precisa ser considerado no delineamento. Isso envolve a identificação do contexto em que a pesquisa será realizada, incluindo as características da população ou da amostra estudada, bem como as restrições éticas e legais envolvidas na mesma.

Para isso, Saunders, Lewis e Thornill (2009) propõem, de maneira criativa, a analogia de que a pesquisa deve ser classificada como se estivéssemos descascando uma cebola. A Cebola de Pesquisa, proposta pelos autores, é um modelo conceitual que descreve as camadas envolvidas em um estudo. Ela é composta por várias

etapas, começando pelo centro, onde se encontra o objeto de estudo, seguido pelas camadas da filosofia da pesquisa, abordagem metodológica, métodos de coleta e análise de dados, contexto e restrições e, por fim, a camada dos resultados e conclusões. Cada camada é interdependente e influencia as demais, fornecendo uma estrutura abrangente para o desenvolvimento de uma pesquisa consistente e rigorosa (Figura 09).

Figura 09 – Metáfora da cebola sistêmica da pesquisa científica.



Fonte: Saunders; Lewis; Thornhill (2009).

Assim, o delineamento dessa pesquisa será conduzido por meio do modelo proposto por Saunders, Lewis e Thornhill (2009), mediante a análise e definição de cada camada, conforme esse modelo.

Nessa perspectiva, a primeira camada aborda os aspectos relacionados à filosofia da ciência, que constitui a essência da investigação. Esse conceito, segundo os autores, abrange o desenvolvimento do conhecimento e sua natureza, ou seja, envolve pressupostos sobre a visão do pesquisador em relação ao mundo. Portanto, este estudo adota a filosofia do pragmatismo, que sustenta que o fator determinante

mais relevante na escolha da epistemologia, ontologia e axiologia é a questão de pesquisa (Saunders; Lewis; Thornhill, 2009).

Dessa forma, a primeira camada da cebola de pesquisa proposta por Saunders, Lewis e Thornhill (2009) é a filosofia da pesquisa, que envolve a compreensão dos princípios. No que concerne ao tipo de abordagem, em razão da busca por um modelo estrutural para a implementação de ferramentas do *Lean* e da TOC em um fluxo de produção do segmento automotivo, esta pesquisa não possui uma abordagem estritamente dedutiva e nem indutiva.

Dessa forma, o método predominante nesta pesquisa é o método abdutivo, que consiste em estudar os fatos e propor uma teoria para explicá-los, por meio da formulação de hipóteses explicativas para um determinado fenômeno ou situação (Lacerda *et al.*, 2015).

A estratégia de pesquisa, que é uma das camadas da cebola sistêmica da pesquisa científica, proposta por Saunders, Lewis e Thornhill (2009), envolve a definição da abordagem metodológica que será utilizada no estudo, incluindo a escolha entre pesquisa qualitativa, quantitativa ou mista. Este estudo trata do tema a partir de uma abordagem do tipo qualitativa. O estudo de caso abrange, igualmente, a definição dos métodos de coleta e análise de dados, bem como a justificativa para a escolha desses métodos. Essa camada fornece uma direção clara sobre como a pesquisa será conduzida e como os resultados serão obtidos e interpretados.

Seguindo a metáfora da cebola no contexto da pesquisa, as próximas três etapas concentram-se no processo de elaboração do projeto de pesquisa. A elaboração transforma a pergunta de pesquisa em um projeto de pesquisa, selecionando a estratégia e o método de pesquisa em conjunto com as técnicas de coleta e procedimentos de análise, além do prazo do projeto de pesquisa (Saunders; Lewis; Thornhill, 2009). Para a escolha da estratégia de pesquisa, os autores afirmam que ela deve ser orientada pelos seguintes itens: questões e objetivos de pesquisa; extensão do conhecimento existente; disponibilidade de tempo e outros recursos; e princípios filosóficos do pesquisador.

Nesse contexto, o método de pesquisa utilizado é o Estudo de Caso. A escolha desse método se deve ao fato de que, segundo Yin (2005), ele é adequado quando o objetivo principal é a compreensão aprofundada de fenômenos individuais, organizacionais e administrativos, permitindo uma análise detalhada e abrangente.

3.2 MÉTODO DE PESQUISA – O ESTUDO DE CASO

A seguir, são apresentados os elementos básicos que constituem o Estudo de Caso, suas principais limitações, as justificativas para a sua adoção na presente pesquisa e as etapas conceituais necessárias para a condução de um estudo de caso.

3.2.1 Aspectos gerais do Estudo de Caso

O estudo de caso é definido como uma investigação empírica que analisa um fenômeno específico dentro de seu contexto real, especialmente quando as fronteiras entre o fenômeno e o contexto não são claramente definidas (Yin, 2015). Esse método de pesquisa busca compreender “como” e “por que” determinados eventos ocorrem, permitindo uma análise mais aprofundada sob a ótica da descrição e da análise crítica, em comparação com os métodos estatísticos ou quantitativos. Ao focar em um único caso ou em um número limitado de casos, o pesquisador pode explorar nuances e complexidades que frequentemente se perdem em pesquisas de maior escala e com abordagem estatística e/ou quantitativa (Yin, 2001).

Assim, o estudo de caso é uma abordagem qualitativa que investiga um fenômeno em seu contexto real. Segundo Yin (2015), é uma estratégia de pesquisa que permite a análise detalhada de um caso específico. Este caso pode ser caracterizado pelo estudo de uma pessoa, grupo, organização ou evento.

Para Yin (2001), o estudo de caso se caracteriza como uma estratégia de pesquisa indicada para situações relacionadas a operações que precisam ser desenvolvidas ao longo do tempo. Dessa forma, sob a ótica da engenharia de negócios e de produção, uma das possibilidades de utilização do estudo de caso está associada à visualização do sistema produtivo como um todo, permitindo o mapeamento de seu fluxo, a identificação de perdas e problemas existentes e a proposição de ações de melhoria contínua e sistemática nos sistemas de produção. Este é precisamente o tipo de fenômeno estudado nesta dissertação.

Os estudos de caso podem ser classificados em diferentes categorias, dependendo do objetivo da pesquisa e da abordagem adotada, a saber (Stake, 1995):

- a) estudo de caso exploratório: utilizado para explorar novas áreas de pesquisa ou fenômenos pouco compreendidos. Esse tipo de estudo visa

gerar hipóteses e questões que poderão ser investigadas em profundidade em futuras pesquisas (Yin, 2015);

- b) estudo de caso descritivo: o foco aqui é descrever detalhadamente o caso em questão, proporcionando uma visão clara e abrangente do fenômeno estudado. Esse tipo de estudo é útil para documentar práticas e contextos específicos;
- c) estudo de caso explicativo: este tipo busca entender as relações de causa e efeito dentro do caso investigado. É frequentemente utilizado para explicar dinâmicas complexas e para testar teorias existentes.

Outra classificação possível e relevante quanto ao estudo de caso consiste em caracterizá-lo como: i) único; ii) múltiplo. Sendo assim, uma distinção fundamental ao projetar estudos de caso é entre projetos de caso único e de casos múltiplos. Isso implica a necessidade de decidir, antes da coleta de dados, se será adotado um estudo de caso único ou múltiplo ao formular as questões da pesquisa.

A escolha entre um estudo de caso único ou um estudo de caso múltiplo precisa ser guiado pelos objetivos da pesquisa, pela natureza do fenômeno em estudo e pelos recursos disponíveis. Yin (2015) argumenta que a decisão deve considerar a questão de pesquisa, pois isso influenciará a adequação de cada abordagem.

Em projetos de estudo de caso, as características gerais dos projetos de pesquisa servem como base para a definição de abordagens específicas. Assim, dentro da estratégia de estudo de caso, existem quatro tipos possíveis de projetos (Yin, 2001): a) projetos de caso único; b) projetos de caso único com objetos incorporados; c) projetos de casos múltiplos holísticos; d) projetos de casos múltiplos com objetos incorporados. A Figura 10 mostra que os estudos de caso único e de casos múltiplos refletem situações de projetos diferentes e que, dentro desses dois tipos, também pode haver unidades unitárias ou múltiplas de análise.

Figura 10 – Tipos básicos de projetos para estudos de caso.

	projetos de caso único	projetos de casos múltiplos
holísticos (unidade única de análise)	TIPO 1	TIPO 3
incorporados (unidades múltiplas de análise)	TIPO 2	TIPO 4

Fonte: Yin (2001).

O estudo de casos múltiplos envolve a investigação de vários casos ou unidades de análise. Essa abordagem permite a comparação entre diferentes casos e a identificação de padrões ou variações, contribuindo para uma compreensão mais ampla do fenômeno.

O estudo de caso único concentra-se em um único caso ou unidade de análise. Esse tipo de estudo permite uma análise profunda e detalhada do fenômeno em questão. Neste sentido, o estudo de caso único tende a proporcionar *insights* específicos e contextuais.

O estudo de caso único tem como objetivo explorar em profundidade um fenômeno específico. Ele é amplamente utilizado em pesquisas que buscam compreender processos complexos, como a implementação de métodos, ferramentas e técnicas em sistemas produtivos e empresariais de uma única empresa. Essa abordagem metodológica oferece diversas vantagens, especialmente quando se pretende obter uma compreensão detalhada e aprofundada do fenômeno em questão.

Uma das principais vantagens dessa abordagem é a capacidade de proporcionar uma análise detalhada e contextualizada do fenômeno que está sendo estudado. Ao focar em um único caso, o pesquisador pode explorar minuciosamente as particularidades do contexto em que o fenômeno ocorre. Isso permite que a pesquisa leve em consideração fatores sociais, culturais, econômicos e históricos que tendem a influenciar fortemente o caso em análise. Segundo Yin (2015), essa imersão

no contexto é essencial para entender as complexidades do fenômeno, revelando aspectos que poderiam ser negligenciados em pesquisas mais amplas ou que abarcam múltiplos casos.

Além disso, o estudo de caso único permite uma profunda imersão nos dados e nas nuances do caso. Essa profundidade proporciona ao pesquisador uma oportunidade de explorar as experiências dos participantes, suas interpretações e significados atribuídos aos eventos e interações. O contato direto com o objeto de estudo, por meio de entrevistas, observações e análise de documentos, entre outras técnicas, possibilita a coleta de informações ricas e contextuais. Stake (1995) ressalta que essa abordagem é especialmente valiosa em áreas onde as dinâmicas sociais e comportamentais desempenham um papel crucial, como na psicologia, na educação ou em práticas organizacionais. Através dessa abordagem, o pesquisador pode captar sutilezas que, em um estudo de casos múltiplos, tendem a ser mais difíceis de observar em função da necessária comparação entre diferentes contextos.

O estudo de caso único é uma abordagem que não apenas favorece uma análise detalhada e contextualizada do fenômeno em questão, mas também possibilita uma imersão profunda nos dados, resultando em uma compreensão mais ampla e complexa do objeto de estudo. Segundo Merriam (1998), essa profundidade de análise é essencial para a construção de conhecimento significativo, capaz de contribuir para o desenvolvimento de práticas e teorias em diversas áreas do saber.

De acordo com Yin (2001), no contexto da pesquisa que adota o método de estudo de caso, há seis fontes de evidência que podem ser consideradas, a saber: i) documentação; ii) registros em arquivos; iii) entrevistas; iv) observações diretas; v) observações participantes e vi) artefatos físicos. Na Figura 11, são apresentadas as seis fontes de evidências, considerando os pontos fortes e fracos de cada delas (Yin, 2001).

Figura 11 – Seis fontes de evidência - pontos fortes e fracos.

FONTE DE EVIDÊNCIAS	PONTOS FORTES	PONTOS FRACOS
Documentação	<ul style="list-style-type: none"> • estável – pode ser revisada inúmeras vezes • discreta – não foi criada como resultado do estudo de caso • exata – contém nomes, referências e detalhes exatos de um evento • ampla cobertura – longo espaço de tempo, muitos eventos e muitos ambientes distintos 	<ul style="list-style-type: none"> • capacidade de recuperação – pode ser baixa • seletividade tendenciosa, se a coleta não estiver completa • relato de visões tendenciosas – reflete as idéias preconcebidas (desconhecidas) do autor • acesso – pode ser deliberadamente negado
Registros em arquivos	<ul style="list-style-type: none"> • [Os mesmos mencionados para documentação] • precisos e quantitativos 	<ul style="list-style-type: none"> • [Os mesmos mencionados para documentação] • acessibilidade aos locais graças a razões particulares
Entrevistas	<ul style="list-style-type: none"> • direcionadas – enfocam diretamente o tópico do estudo de caso • perceptivas – fornecem inferências causais percebidas 	<ul style="list-style-type: none"> • visão tendenciosa devido a questões mal-elaboradas • respostas tendenciosas • ocorrem imprecisões devido à memória fraca do entrevistado • reflexibilidade – o entrevistado dá ao entrevistador o que ele quer ouvir
Observações diretas	<ul style="list-style-type: none"> • realidade – tratam de acontecimentos em tempo real • contextuais – tratam do contexto do evento 	<ul style="list-style-type: none"> • consomem muito tempo • seletividade – salvo ampla cobertura • reflexibilidade – o acontecimento pode ocorrer de forma diferenciada porque está sendo observado • custo – horas necessárias pelos observadores humanos
Observação participante	<ul style="list-style-type: none"> • [Os mesmos mencionados para observação direta] • perceptiva em relação a comportamentos e razões interpessoais 	<ul style="list-style-type: none"> • [Os mesmos mencionados para observação direta] • visão tendenciosa devido à manipulação dos eventos por parte do pesquisador
Artefatos físicos	<ul style="list-style-type: none"> • capacidade de percepção em relação a aspectos culturais • capacidade de percepção em relação a operações técnicas 	<ul style="list-style-type: none"> • seletividade • disponibilidade

Fonte: Yin (2001).

A documentação fornece um contexto histórico e factual que pode enriquecer a análise. Os registros em arquivos oferecem dados cruciais para a compreensão dos processos e das tomadas de decisão, permitindo uma visão detalhada do objeto de

estudo. As observações diretas possibilitam ao pesquisador captar interações e comportamentos em tempo real, proporcionando uma perspectiva contextual difícil de obter por outros meios de pesquisa. As observações participantes aprofundam essa compreensão, permitindo que o pesquisador se envolva diretamente no ambiente, revelando dinâmicas que poderiam passar despercebidas. Por fim, os artefatos físicos, como documentos, objetos e materiais relacionados ao estudo, oferecem evidências tangíveis que podem corroborar ou contradizer outras fontes de dados (Yin, 2001).

3.2.2 Limitações do método Estudo de Caso

O método de pesquisa do estudo de caso é amplamente reconhecido por sua capacidade de fornecer análises profundas e contextualizadas de fenômenos complexos. No entanto, esse método apresenta várias limitações que devem ser consideradas ao planejar e executar uma pesquisa. Uma das principais limitações é a questão da generalização dos resultados obtidos. Como os estudos de caso frequentemente se concentram em um único caso ou em um número reduzido de casos, as conclusões podem não ser facilmente transferíveis para outros contextos ou populações (Yin, 2015). Essa limitação pode resultar em críticas sobre a validade externa dos achados, especialmente em campos que exigem generalizações em larga escala.

Outra limitação significativa está relacionada ao viés do pesquisador. A interpretação dos dados em um estudo de caso é frequentemente influenciada pelas experiências e preconceitos pessoais do pesquisador, o que pode afetar a objetividade da análise. Stake (1995) destaca que a subjetividade na interpretação dos dados pode levar a uma representação distorcida do fenômeno em estudo, especialmente se o pesquisador não adotar medidas rigorosas de controle de viés. Além disso, a dependência de dados qualitativos pode dificultar a replicação do estudo, uma vez que outros pesquisadores podem encontrar dificuldades em reproduzir exatamente as mesmas condições e contextos.

A questão do tempo e dos recursos também é uma preocupação relevante a ser considerada nos estudos de caso. Esses estudos frequentemente exigem investimentos significativos de tempo para a coleta e análise de dados, o que pode limitar a viabilidade de pesquisas mais amplas ou de longo prazo. Merriam (1998)

observa que a abordagem intensiva desse tipo de pesquisa pode representar um obstáculo, especialmente para pesquisadores com recursos limitados. Além disso, a coleta detalhada de dados pode ser dificultada por questões logísticas ou éticas, como o acesso a participantes e a garantia da confidencialidade das informações.

Eisenhardt (1989) afirma que o estudo de caso tem como objetivo, dentre outros, testar uma teoria existente. O presente trabalho busca testar a teoria que atribui benefícios (efeitos positivos) à utilização integrada dos métodos, ferramentas e técnicas do *Lean* e da TOC em um sistema produtivo de um fornecedor do setor automotivo.

Finalmente, a pesquisa é classificada como aplicada, pois objetiva gerar conhecimento para aplicação prática, dirigida à solução de problemas específicos. Quanto aos objetivos, a pesquisa é classificada como explicativa, pois objetiva explicar a razão do fenômeno, aprofundando o conhecimento de uma determinada realidade (Yin, 2005).

3.2.3 Justificativas para a utilização do método Estudo de Caso

O método do estudo de caso é amplamente reconhecido como uma abordagem eficaz para a investigação de fenômenos complexos em contextos reais. Sua justificativa se baseia em diversas características que o tornam especialmente adequado para responder a questões de pesquisa que buscam compreender a dinâmica de um fenômeno específico. Em primeiro lugar, o estudo de caso permite uma exploração aprofundada de situações contemporâneas, possibilitando que os pesquisadores observem diretamente os eventos à medida que ocorrem. Essa característica é fundamental, pois muitos fenômenos sociais, organizacionais ou culturais são dinâmicos e interligados, tornando inviável sua análise de forma isolada do contexto em que estão inseridos (Yin, 2014).

Além disso, a natureza do estudo de caso oferece uma abordagem holística, permitindo ao pesquisador captar as nuances e complexidades do fenômeno em questão. Isso é particularmente importante em áreas onde as variáveis interagem de maneira intrincada, como nas ciências sociais e humanas. A pesquisa se beneficia do fato de que não se pode separar o fenômeno do seu contexto. As interações, relações e influências externas são fundamentais para uma compreensão completa e precisa (Merriam, 1998).

Outro aspecto relevante do estudo de caso é a sua fundamentação em fontes de evidência diversificadas. Ao utilizar múltiplas fontes, como observações, documentos e registros, o pesquisador pode triangulá-las para obter uma visão mais robusta e confiável do fenômeno. Essa triangulação não apenas fortalece a validade dos achados, mas também enriquece a análise, permitindo a identificação de padrões e discrepâncias que poderiam passar despercebidos em abordagens mais quantitativas ou experimentais (Yin, 2001).

Adicionalmente, o estudo de caso é especialmente valioso quando a pesquisa se baseia no desenvolvimento prévio de proposições teóricas. Através dessa abordagem, os pesquisadores podem testar, refinar ou até mesmo desenvolver novas teorias que emergem da análise do caso específico. Este ciclo de interação entre teoria e prática é fundamental para a evolução do conhecimento, permitindo que os achados de casos individuais contribuam para a construção de um entendimento mais amplo sobre o fenômeno estudado (Merriam, 1998).

Portanto, a escolha do método de estudo de caso nesta dissertação se justifica não apenas por sua capacidade de aprofundar a análise de fenômenos contemporâneos em contextos específicos, mas também por sua flexibilidade em empregar múltiplas fontes de evidência e por sua interação com teorias existentes. Essa abordagem se mostra indispensável para aqueles que buscam compreender a complexidade dos fenômenos sociais e organizacionais, oferecendo *insights* que podem ser fundamentais tanto para a academia quanto para a prática profissional (Stake, 1995).

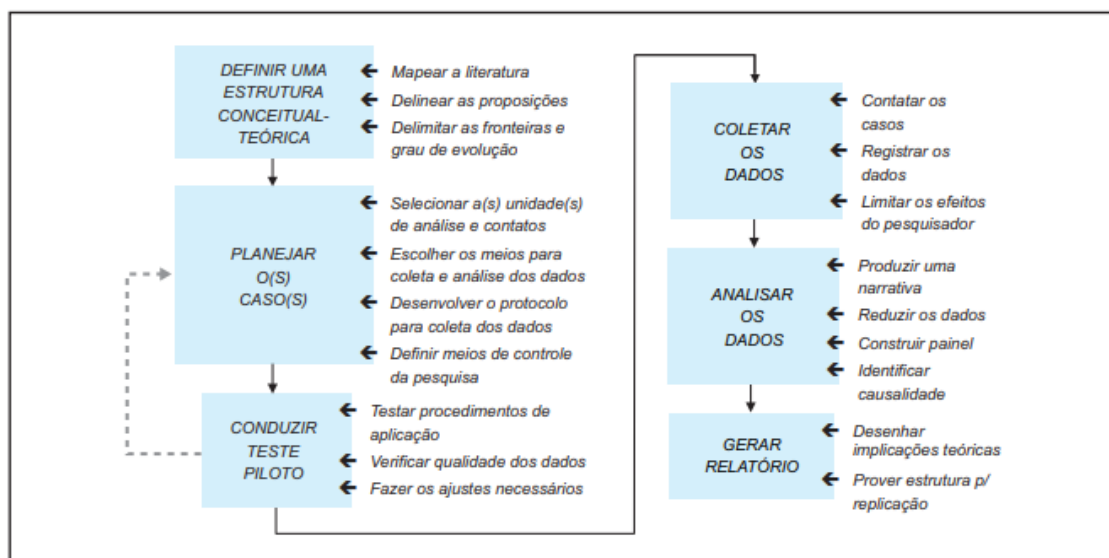
Em síntese, o método de estudo de caso foi escolhido porque a pesquisa requer uma análise aprofundada do fenômeno. A pesquisa pode ser considerada um estudo de caso descritivo e, em certo nível, explicativo. Trata-se de uma pesquisa essencialmente qualitativa. Ainda, são utilizadas como fontes de evidência: i) documentação; ii) registros em arquivos; iii) observações diretas; iv) observações participantes e v) artefatos físicos.

3.2.4 Etapas conceituais do método de Estudo de Caso

Inicialmente, neste subitem, aborda-se o tema das etapas conceituais necessárias para a condução rigorosa de um estudo de caso. E para que este estudo atinja os seus objetivos, é fundamental que sejam seguidas as etapas essenciais para

a realização da pesquisa. O detalhamento das etapas necessárias para a condução do estudo de caso está sintetizado na Figura 12 (Cauchick Miguel *et al.*, 2010, p.134):

Figura 12 - Etapas para a condução de Estudos de Caso.



Fonte: Cauchick Miguel *et al.* (2010, p.134).

A condução de um estudo de caso envolve diversas etapas essenciais para garantir a rigorosidade e a relevância da pesquisa. A primeira etapa consiste em definir uma estrutura conceitual e teórica. Isso envolve mapear a literatura existente, delimitar os objetivos da pesquisa e estabelecer as fronteiras do estudo, ou seja, a delimitação da pesquisa. Essa fase é crucial, pois fornece o contexto teórico que orientará o desenvolvimento do trabalho, englobando tanto a seleção das unidades de análise apropriadas quanto a definição do processo de coleta e análise dos dados a serem utilizados na dissertação.

Em seguida, temos a etapa de planejamento do(s) caso(s). Nesta etapa, o pesquisador deve escolher o(s) caso(s) a ser(em) estudado(s) e desenvolver um protocolo explícito para a coleta dos dados. Isso inclui a definição de procedimentos de pesquisa e o tratamento ético dos dados, garantindo a proteção dos participantes em relação às suas contribuições ao trabalho. Um aspecto importante nesta fase é a realização de um teste-piloto, que permite ajustar os instrumentos de coleta de dados e verificar se eles são adequados para o contexto do estudo.

A coleta de dados é a próxima etapa e deve ser realizada de maneira sistemática. O pesquisador deve registrar e organizar as informações obtidas de

diversas fontes, como documentos, entrevistas, observações diretas e participantes, e artefatos. Essa diversidade de fontes é fundamental para enriquecer a análise e permitir a triangulação dos dados, ou seja, a observação do mesmo fenômeno a partir das diferentes fontes adotadas na execução da pesquisa.

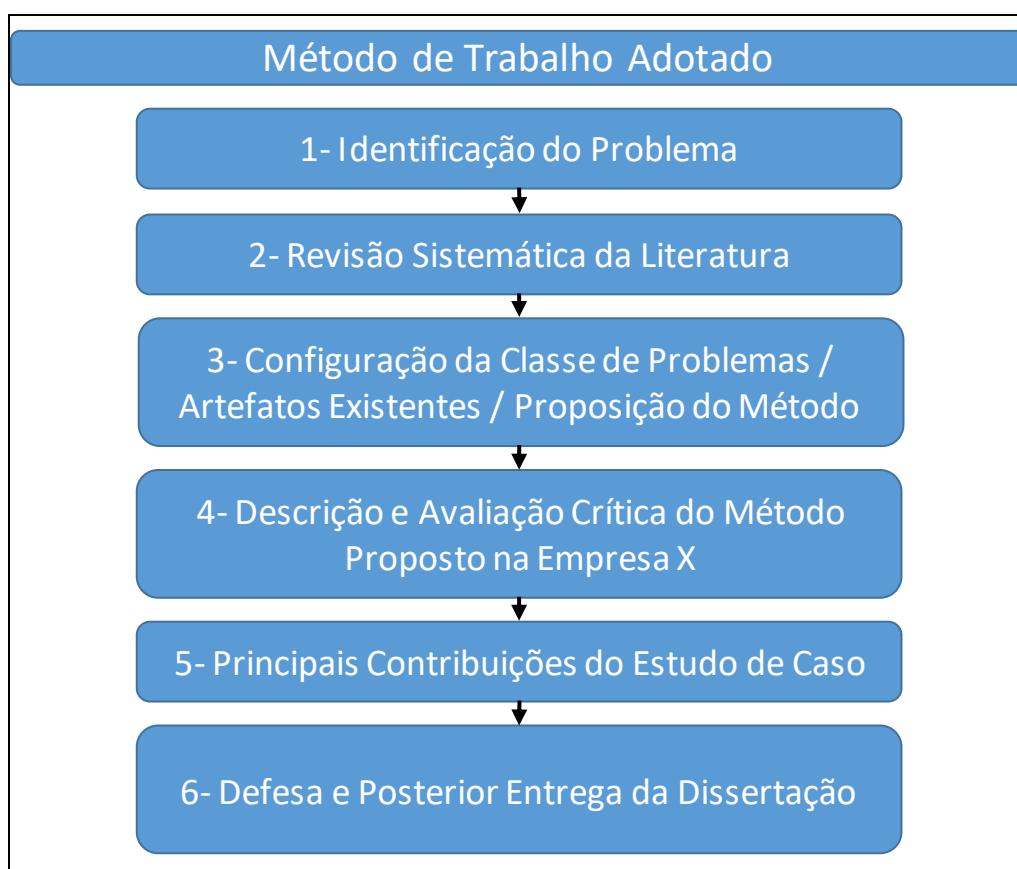
Uma vez realizadas as coletas, a próxima etapa consiste na análise rigorosa dos dados. Neste contexto, o pesquisador precisa produzir, com a máxima precisão possível, uma interpretação dos dados coletados. Isto implica em desenvolver uma identificação de padrões, temas e relações relevantes. É nesta fase que a compreensão do fenômeno em estudo se aprofunda, permitindo ao pesquisador elaborar conclusões significativas e relevantes para os avanços da compreensão teórica e prática do fenômeno em cena.

Finalmente, há uma etapa fundamental, que é a geração do relatório. O relatório deve sintetizar os achados da pesquisa, contextualizá-los dentro da literatura existente e oferecer recomendações práticas, quando pertinente. Essa comunicação dos resultados é essencial para que o estudo contribua para o avanço do conhecimento na área e possa ser utilizado por outros pesquisadores e profissionais.

3.3 MÉTODO DE TRABALHO

Nesta seção, será apresentado o método de trabalho utilizado para o desenvolvimento do presente estudo. Conforme Saunders, Lewis e Thornhill (2009), o método de trabalho é um conjunto de técnicas e procedimentos sistemáticos para obter e analisar dados. Para Yin (2005), o método de trabalho é o caminho a ser seguido para atingir os objetivos da pesquisa. Nesse sentido, o método de trabalho adotado para conduzir esta pesquisa é composto pela seguinte sequência de etapas, as quais estão ilustradas na Figura 13.

Figura 13 – Método de trabalho.



Fonte: Elaborado pelo autor.

A primeira etapa do método de trabalho consiste na identificação do problema. O ponto de partida é que os insucessos na implementação do *Lean*, em sua maioria, são atribuídos à adoção de melhorias que se concentram apenas nas operações, ou seja, são feitas abordagens baseadas na busca dos ótimos locais. A Teoria das Restrições (TOC) emerge como uma abordagem significativa para identificar gargalos nos fluxos dos sistemas produtivos, considerando que a melhoria no gargalo é vista como uma melhoria global do sistema produtivo. Assim, a integração dessas duas abordagens pode, potencialmente, aumentar as taxas de sucesso na aplicação de técnicas *Lean* nos processos produtivos. Este estudo tem como objetivo testar essas hipóteses, investigando o seguinte problema de pesquisa: como desenvolver um método que permita a melhoria dos processos nos sistemas produtivos, utilizando de maneira integrada os princípios e conceitos do *Lean* e da TOC, em empresas fornecedoras de componentes para montadoras de automóveis?

Nesta etapa, foram analisadas as oportunidades que podem ser geradas por meio da integração dos princípios, métodos e técnicas/ferramentas do *Lean* e da TOC,

bem como os problemas que precisam ser discutidos para avançar no desenvolvimento teórico e prático do tema de pesquisa. Em seguida, foram explicitados o objeto de estudo e a formulação do problema de pesquisa. A partir dessa caracterização, foram delineados o objetivo geral e os objetivos específicos do trabalho e, posteriormente, foi definida a sua estrutura.

Na segunda etapa, foi conduzida uma Revisão Sistemática da Literatura (RSL), com o objetivo de auxiliar na conscientização do problema e na busca por estudos que apresentem soluções previamente existentes para facilitar o desenvolvimento deste trabalho. A RSL foi realizada em um conjunto de Base de Dados (*Scopus/Elsevier e Web of Science*).

Nesta pesquisa, buscou-se o apoio da literatura nos temas relacionados ao *Lean* e à TOC, no contexto geral. Nesta etapa, encontram-se as justificativas acadêmicas que evidenciaram o crescente interesse acadêmico pelo tema de pesquisa e auxiliaram no desenvolvimento do referencial teórico, que é apresentado no Capítulo 2. Cabe destacar, ainda, que a RSL foi conduzida buscando identificar os conceitos e aplicações teóricas e empíricas do *Lean* e da TOC relacionada, conforme o protocolo adotado nesta Revisão Sistemática de Literatura - Quadro 06.

Quadro 06 – Protocolo de pesquisa.

Elemento	Escolha
Questão de pesquisa	Como criar um método para implantar a melhoria dos processos no Sistemas produtivos através dos conceitos do Lean e da TOC em empresas fornecedoras de componentes para montadoras de automóveis?
Conceito	Conceito Lean/VSM e Kanban/Conceito TOC/TPC
Contexto	Sistemas de produção fornecedores do setor automotivo
Horizonte	Ultimos 5 anos(2018 á 2023)
Idiomas	Inglês
Questão de revisão	Como integrar ferramentas e tecnicas do Lean e da TOC para melhorar a eficiencia em fluxos de produção?
Critérios de busca	Artigos científicos. Artigos que abordam ferramentas e técnicas do Lean, TOC e possíveis integrações
Strings e termos de busca	TITLE-ABS-KEY ("Lean Manufacturing") - ("Theory of constraints")
Fontes de busca	Scopus e Web of Science
Índice de busca	Título dos artigos, resumos e palavras chave

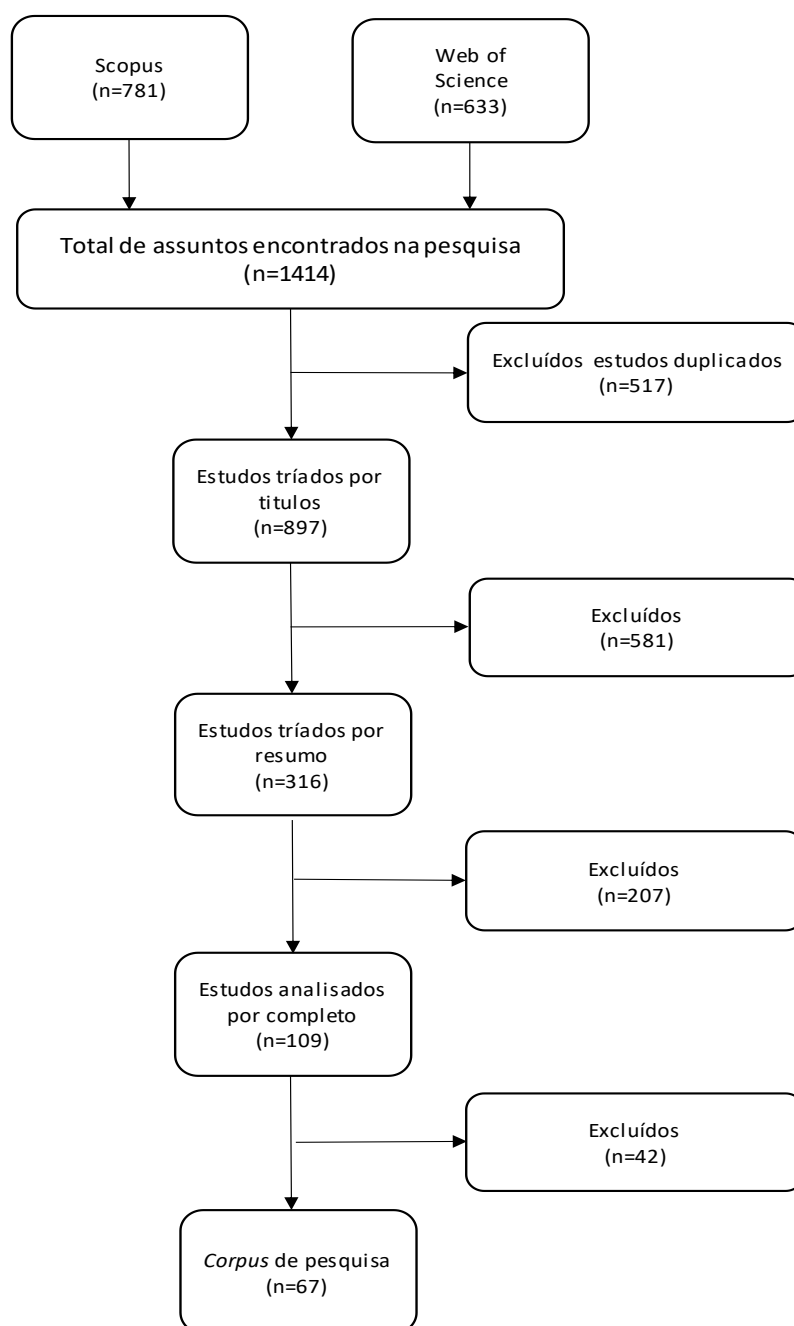
Fonte: Elaborado pelo autor.

A lógica conceitual está alinhada ao tópico de pesquisa dessa dissertação e está baseada na necessidade de desenvolver um método para aplicar os princípios e métodos do *Lean* e da TOC em sistemas de produção de fornecedores de componentes da cadeia de valor do setor automotivo. Foram selecionados documentos na língua inglesa, assumindo uma estratégia configurativa. Para definição das palavras-chave, buscou-se o apoio na literatura.

Esta etapa se justifica por fornecer conhecimento desenvolvido com base na literatura sobre o tema desta pesquisa e, adicionalmente, por ressaltar a importância de se construir um artefato para enfrentar uma classe de problemas reais em cena. Com a identificação e conscientização do problema especificado, os objetivos da

pesquisa foram formulados, de modo que seu atendimento fornecesse as respostas para o problema que motivou este estudo. Assim, a Revisão Sistemática da Literatura foi realizada, e seus resultados são apresentados no fluxograma ilustrado na Figura 14.

Figura 14 – Fluxograma dos resultados da Revisão Sistemática da Literatura (RSL).



Fonte: Elaborada pelo autor.

Inicialmente, foram encontrados 1.414 documentos. Após uma primeira análise, mediante a verificação de que 517 trabalhos estavam duplicados, estes foram excluídos. Em seguida, foram analisados os títulos dos artigos. Para ser incluído na pesquisa, o artigo deveria mencionar os termos *Lean Manufacturing* e/ou Teoria das Restrições em sistemas de produção. Desta forma, foram excluídos 581 artigos. Assim, foram analisados os resumos de 316 documentos, dos quais 207 foram excluídos. Como critério de inclusão, estabeleceu-se que seriam considerados os artigos que incluíssem análises teóricas ou empíricas de aplicações do *Lean* e/ou da TOC em sistemas de produção.

Nos artigos acessados para elegibilidade, buscou-se identificar os conceitos, modelos, métodos e abordagens que pudessem auxiliar na estruturação de um método para aplicar as ferramentas e técnicas de ambas as teorias, de maneira integrada. Nesta etapa, foram excluídos 41 artigos. Os 67 artigos restantes configuram o *corpus* de análise. No Apêndice A, é possível verificar a lista completa dos trabalhos, com as seguintes informações: título, autor(es), *journal*, ano de publicação, quantidade de citações e as principais contribuições de cada artigo. As análises destes trabalhos são realizadas no capítulo 2 desta dissertação. Esta etapa auxiliou o pesquisador a evidenciar classes de problemas e artefatos com problemas similares aos que se quer resolver.

A terceira etapa concentrou-se na definição da classe de problemas e na identificação dos artefatos existentes. Buscou-se identificar trabalhos e modelos de implementação que integrassem *Lean* e TOC, com base no referencial teórico construído na etapa anterior. Nesse contexto, a identificação de artefatos relacionados ao problema de pesquisa desta dissertação pode oferecer soluções relevantes (Lacerda *et al.*, 2013). Além disso, nesta etapa, foi realizada a proposição do método, por meio de uma análise crítica do estado da arte identificado anteriormente, com o objetivo de compreender características e especificidades que possam contribuir para a busca de uma solução satisfatória para o problema de pesquisa.

Para a compreensão das interfaces dos princípios, métodos e técnicas do *Lean* e da TOC, foram desenvolvidos mapas e diagramas que representam as relações identificadas entre os elementos conceituais das duas teorias envolvidas, mostrando como isso pode levar a soluções integradas nos fluxos dos sistemas de produção. A partir daí, foi proposta a elaboração de um esquema para estruturar a lógica de implantação do método proposto, levando em conta o contexto global envolvido.

Finalmente, é apresentado o método proposto, originado de uma avaliação crítica da base encontrada na literatura. O método foi representado de forma gráfica. Além disso, todas as suas etapas e passos detalhados foram apresentados e descritos, de forma a torná-lo compreensível e passível de ser aplicado em um ambiente real.

Na quarta etapa, foi descrita e analisada a aplicação do método a partir de um caso real. Esta etapa constitui a avaliação crítica do método. O método foi projetado, detalhado e aplicado em uma unidade do segmento automotivo, em uma indústria metalmeccânica de grande porte, apresentando suas respectivas evidências detalhadas por meio de registros fotográficos, planilhas e infográficos que representam o contexto estudado e os fenômenos gerados a partir de sua implementação.

As fontes de evidência utilizadas na pesquisa foram variadas e estratégicas para garantir uma análise abrangente do fenômeno estudado, bem como a elaboração da triangulação de dados. Inicialmente, foram consultados documentos e registros da empresa, incluindo apresentações, manuais, planilhas e painéis. Esses arquivos forneceram uma base sólida de informações formais sobre os procedimentos, normas e resultados esperados, permitindo uma análise do que foi efetivamente implementado.

Além disso, foi utilizada a observação direta. O autor participou ativamente das apresentações de acompanhamento do processo de implantação, o que possibilitou uma compreensão mais profunda das dinâmicas em tempo real. Essa participação permitiu captar nuances que poderiam ser perdidas caso tivesse sido adotada apenas uma análise documental.

Adicionalmente, foram analisados artefatos visuais, como quadros, gráficos e outras representações utilizadas nas apresentações. Esses artefatos ajudam a ilustrar dados e resultados de maneira mais acessível e compreensível, permitindo uma análise crítica sobre como a informação era apresentada e percebida pelos envolvidos no processo.

A triangulação dos dados foi realizada através da combinação dessas diferentes fontes de evidência. O objetivo foi obter uma visão mais completa e robusta do fenômeno estudado. Por exemplo, foi feita uma comparação entre os dados documentais e as observações diretas, no intuito de verificar a consistência entre o que estava registrado e o que foi observado nas apresentações. Também foram

analisadas as diferenças entre a percepção do autor como observador e sua experiência ao participar ativamente de algumas etapas do método. Finalmente, os artefatos visuais foram confrontados com dados quantitativos encontrados nos registros. Essa abordagem de triangulação garantiu uma análise mais rica e fundamentada, permitindo não apenas identificar a eficácia do método proposto, mas também compreender as nuances e complexidades de sua implementação no contexto real.

A quinta etapa explana as principais contribuições do estudo de caso. Isso foi feito por meio de um relato detalhado e crítico da implantação de cada uma das etapas do método proposto, com seus respectivos resultados, conclusões e críticas. Além disso, as contribuições consideradas significativas neste trabalho são apresentadas com foco nas questões relacionadas, principalmente, ao ambiente complexo dos fluxos dos sistemas de produção. Adicionalmente, foram relatados e discutidos criticamente os resultados da aplicação do método proposto. Por fim, foram abordadas as limitações encontradas, consideradas relevantes sob a ótica da presente pesquisa.

A sexta etapa incluiu a realização da defesa e a posterior entrega da dissertação. Essa etapa compreendeu o relato e a comunicação do método proposto à comunidade científica, destacando as principais contribuições teóricas, conceituais e práticas. Além disso, o método foi colocado à prova, pois será avaliado pela banca especializada à qual este trabalho será submetido.

4 MÉTODO PARA APLICAÇÃO INTEGRADA DAS TÉCNICAS DO *LEAN MANUFACTURING* E TEORIA DAS RESTRIÇÕES EM FORNECEDORES DA INDÚSTRIA AUTOMOBILÍSTICA

Este capítulo contempla o método proposto para aplicação integrada das técnicas do *Lean* e da TOC em fornecedores da indústria automobilística. Para isto, inicialmente são apresentadas as classes de problemas identificadas na análise da literatura. Em seguida, são analisados criticamente os métodos, ferramentas e técnicas utilizados para mitigar cada classe de problemas. Finalmente, é proposto o método para equacionamento do problema.

4.1 Classes de Problemas

A partir da ampla revisão de literatura realizada no Capítulo 2 deste estudo, foram identificadas três principais classes de problemas que afetam de forma significativa a eficiência dos fluxos de produção. Esses desafios, recorrentes em diversos contextos industriais, são a **variabilidade**, a **programação empurrada** e as **restrições**.

Cada um desses fatores desempenha um papel crucial na criação de ineficiências e interrupções ao longo do processo produtivo. A **variabilidade** refere-se às flutuações e incertezas que ocorrem ao longo das etapas de produção, seja na demanda, nos tempos de ciclo ou na qualidade dos insumos, dificultando a previsibilidade e o controle. Já a **programação “empurrada”** trata-se de um modelo em que a produção é organizada de maneira rígida e inflexível, sem considerar as necessidades reais do sistema produtivo, resultando em estoques desnecessários e desperdícios de recursos.

Compreender essas três classes de problemas permite traçar estratégias mais eficazes para otimizar os processos e superar as barreiras que dificultam a máxima eficiência nos sistemas de produção.

No Quadro 07, é apresentada uma síntese, feita por diferentes autores consolidados na literatura, em relação aos temas: variabilidade, produção empurrada e restrições.

Quadro 07 - Compilação dos autores em relação aos tópicos variabilidade, programação empurrada e as restrições.

Variabilidade	Programação "Empurrada"	Restrições
A variabilidade pode levar a estoques excessivos devido à necessidade de amortecer a incerteza nos tempos de produção e demanda variável(Hopp; Spearman, 2021).	Liberação de pedidos baseada em carga maquina não gargalo resulta em excesso de estoques (Thürer & Stevenson, 2018).	Um ponto do sistema de produção que limita a produção, tendo em vista o atendimento do mercado (Modi; Lowalekar; Bhatta, 2019; Pacheco; Antunes Junior; De Matos, 2021).
Para minimizar o custo do excesso de estoque é necessário buscar formas de combinar eficientemente a oferta com a demanda (Hopp; Spearman, 2021).	A liberação de ordem é uma função chave na Teoria das Restrições, na forma do método Tambor-Pulmao-Corda (TPC) (Thürer et al., 2022)	Liberação de pedidos baseada em carga máquina não gargalo resulta em excesso de estoques (Thürer & Stevenson, 2018)
Com previsões mais precisas da variabilidade da demanda, as empresas podem gerenciar seus níveis de estoque de maneira mais eficiente (Hopp; Spearman, 2021).	A soma dos ótimos locais é diferente do ótimo global do sistema (Goldratt, 1984)	O gargalo é onde a ação precisa ser focada para aumentar a capacidade de produção (Alzubi <i>et al.</i> , 2019)
Quando combinado com outras ferramentas de <i>Lean</i> , como o Kanban, o VSM tem um impacto substancial na redução de estoques (Sangwa; Sangwan, 2023).	A produção puxada é um princípio baseia-se na demanda do cliente, em que a produção é acionada com base nas necessidades reais do mercado, ao invés de estimativas de demanda (Sangwa & Sangwan, 2023)	Uma vez identificadas as restrições, o próximo passo é explorá-las ao máximo Goldratt (1986),
Com a otimização do fluxo de valor, é possível reduzir os <i>lead times</i> (Bugvi <i>et al.</i> , 2021).	O kanban é uma maneira eficiente de controlar o estoque em processo (WIP – <i>Work In Process</i>) e autorizar as estações a montante a iniciarem a produção de um novo lote para reabastecer o estoque a jusante (Piplani; Ang, 2018; Robaaiy; Rahima; Alghazali, 2023).	O gargalo é uma limitação física ou operacional no sistema de produção (Gupta <i>et al.</i> ., 2022).
Se faz necessário a adoção de um mecanismo de controle de estoque altamente eficaz, que possa ajudar as empresas no gerenciamento dos níveis de estoque (Che Ani; Kamaruddin; Azid, 2018; Hassan <i>et al.</i> , 2022; Tomaszewska, 2023).		Todas as decisões devem ser tomadas levando em consideração o impacto na restrição (Antunes, 1998)
		O estabelecimento de um ritmo de produção, protegendo o gargalo e controlando o fluxo de produção (Puche <i>et al.</i> , 2019)

Fonte: Elaborado pelo autor.

4.1.1 Variabilidade

Segundo Pound (2015), em um mundo ideal, não haveria variabilidade em nenhum aspecto da produção, nem na demanda, nem na transformação dos produtos. Nesse cenário perfeito, os gestores teriam pleno conhecimento das quantidades exatas de insumos e produtos necessários, bem como do tempo preciso para produzi-los. Isso possibilitaria a implementação de um sistema de estoques zero e uma taxa de entregas pontuais de 100%. No entanto, como a variabilidade é uma realidade inevitável tanto na natureza quanto no ambiente produtivo, torna-se essencial

compreender suas causas e efeitos. Para isso, é necessário estudar a demanda e os fluxos dos processos de transformação e, a partir dessa análise, integrá-los em um sistema eficiente de gestão de estoques (Hopp; Spearman, 2021).

De acordo com Ohno (1996), o maior desafio, do ponto de vista do controle de produção, é manter um fluxo constante, assegurando que esse processo ocorra sem excesso de estoque, para evitar desperdícios. Nesse contexto, Hopp e Spearman (2021) destacam que, embora o método *Just in Time* (JIT) — que preconiza a produção apenas quando necessário — seja amplamente adotado e reconhecido por seus benefícios, como a redução de estoques, melhoria da eficiência operacional e aumento da qualidade, ele também enfrenta críticas e desafios. Essas dificuldades estão frequentemente associadas à variabilidade real nos processos produtivos.

O sucesso do JIT depende de uma cadeia de suprimentos altamente eficiente e confiável. Qualquer interrupção ou atraso no fornecimento de insumos pode afetar diretamente a produção, causando paralisações e falta de produtos para atender à demanda. Além disso, a estratégia JIT, que em certos casos desconsidera o estudo aprofundado da variabilidade, implica a manutenção de níveis mínimos de estoque ou até mesmo a operação com estoque zero em determinados casos. Essa abordagem pode se tornar arriscada em situações de flutuações inesperadas na demanda ou variações na capacidade de produção (Sangwa; Sangwan, 2023). De outra parte, a ênfase excessiva no JIT pode resultar em subutilização da capacidade produtiva, uma vez que a produção é ajustada estritamente para atender à demanda imediata, sem considerar as oportunidades de economia de escala ou um uso mais eficiente dos recursos disponíveis.

4.1.2 Variabilidade e estratégias de mitigação dos seus impactos

Para mitigar os impactos da variabilidade no fluxo de produção, as empresas podem adotar estratégias oriundas do *Lean* e da TOC. Essas abordagens auxiliam na identificação e no controle das fontes de variabilidade. Caso a empresa não compreenda adequadamente a variabilidade na demanda por seus produtos, corre-se o risco de superestimar a quantidade necessária a ser produzida, resultando em estoques excessivos e no descompasso com a demanda real (Robaaiy; Rahima; Alghazali, 2023b).

Ao entender de forma adequada as causas da variabilidade, as empresas podem implementar estratégias para reduzir os tempos de ciclo, melhorar a eficiência e aumentar a velocidade dos sistemas produtivos. O estudo preditivo da variabilidade de demanda e capacidade torna-se crucial para a implementação de melhorias que minimizem as perdas nos fluxos produtivos. A capacidade de prever e antecipar essa variabilidade permite que as empresas adotem medidas proativas, mitigando os impactos negativos e otimizando seus processos produtivos (Da Costa; Nogueira, 2023).

A antecipação da variabilidade na demanda possibilita ajustes mais eficazes nos planos de produção e na programação de atividades, evitando gargalos, minimizando estoques excessivos e otimizando a utilização dos recursos disponíveis. Desta forma, com previsões mais precisas da variabilidade, as empresas conseguem gerenciar os níveis de estoque de maneira mais eficiente, reduzindo os custos com armazenamento, minimizando a obsolescência de produtos e evitando a escassez de materiais (Hopp; Spearman, 2021).

Ademais, a antecipação da variabilidade na capacidade de produção permite que as empresas ajustem seus recursos conforme a demanda projetada, prevenindo a subutilização ou a superutilização dos recursos e garantindo que a capacidade produtiva esteja sempre alinhada com as necessidades do negócio. Ao negligenciar o estudo e o gerenciamento da variabilidade nos processos, nas demandas e na cadeia de suprimentos, as empresas correm o risco de acumular estoques excessivos, gerando custos financeiros adicionais, a obsolescência de produtos e o desperdício do espaço de armazenamento. Isso resulta em menor eficiência nos processos de produção, comprometendo o desempenho econômico e financeiro da empresa.

4.1.3 Sistema *Kanban*, Método Tambor-Pulmão-Corda e a Variabilidade

O *Kanban* é uma ferramenta visual de controle do fluxo de trabalho, amplamente integrada ao sistema JIT. Quando aplicado de forma eficaz, o *Kanban* ajuda a minimizar significativamente os efeitos indesejáveis da variabilidade na demanda, proporcionando maior controle, flexibilidade e eficiência aos fluxos produtivos (Ojha; Venkatesh, 2022; Singh; Singh, 2020).

O *Kanban* fornece uma representação visual clara do fluxo de trabalho, permitindo que os envolvidos no processo produtivo visualizem o *status* das tarefas,

identifiquem os gargalos e antecipem problemas, promovendo a tomada de decisões assertivas. Essa transparência aumenta a visibilidade em toda a cadeia de valor, facilitando a identificação de restrições e permitindo ajustes rápidos e flexíveis no fluxo do objeto de trabalho (Thürer; Fernandes; Stevenson, 2022).

Outro sistema eficiente para lidar com a variabilidade é o método Tambor-Pulmão-Corda. Nesse sistema, o Tambor define a taxa de produção ideal com base na demanda dos clientes, evitando a superprodução. O Pulmão funciona como um *buffer* estratégico, posicionado entre os processos que lidam com a variabilidade e incertezas, protegendo o fluxo produtivo de interrupções e, desta forma, assegurando a estabilidade do sistema. Por fim, a Corda sincroniza os processos, garantindo que cada etapa só inicie quando a anterior estiver pronta, evitando o acúmulo de estoques e minimizando a variabilidade nos sistemas produtivos (Piplani; Ang, 2018; Thürer; Fernandes; Stevenson, 2022).

4.2 PROGRAMAÇÃO DE PRODUÇÃO “EMPURRADA”

O sistema de produção “empurrada” é caracterizado pelo início da produção de um item sem que haja uma demanda real por parte do cliente ou do processo seguinte na cadeia produtiva. Dessa forma, esse modelo apresenta diversas desvantagens que podem impactar negativamente a eficiência, a qualidade e a rentabilidade de uma empresa (Martins *et al.*, 2021).

Uma das principais desvantagens do sistema de produção “empurrada” é a tendência à geração das chamadas perdas por superprodução. Quando a produção é baseada em previsões de demanda imprecisas ou excessivamente otimistas, as empresas correm o risco de produzir mais do que o necessário, o que resulta em estoques excessivos e, por consequência, na geração de desperdício dos recursos.

O sistema de produção “empurrada” geralmente leva à formação de estoques elevados em diferentes estágios do processo produtivo. Esses estoques podem resultar em custos adicionais de armazenamento, obsolescência e dificuldade de identificar problemas de qualidade no momento em que eles ocorrem (Martins *et al.*, 2021).

Com a produção sendo “empurrada” ao longo da cadeia produtiva, o *lead time* (tempo de atravessamento) pode aumentar significativamente. Isso ocorre devido ao

acúmulo de estoques em vários estágios do processo, o que pode resultar em atrasos na entrega e na insatisfação dos clientes.

O sistema de produção “empurrada” tende a ser inflexível diante de mudanças na demanda do mercado ou de imprevistos na cadeia de suprimentos. A rigidez desse modelo pode dificultar a adaptação rápida a novas condições e necessidades do cliente. Além disso, a falta de sincronização entre a produção e a demanda real resulta em baixa eficiência e produtividade nos sistemas produtivos. Nesse contexto, os trabalhadores podem ficar ociosos, aguardando materiais ou instruções, o que impacta negativamente o rendimento global da empresa (Tošanović; Štefanić, 2022).

Existem diversas razões pelas quais muitas empresas continuam operando com um modelo de programação da produção “empurrada”, mesmo cientes dos problemas e ineficiências que esse sistema pode gerar. Em muitos casos, essa abordagem está enraizada na cultura organizacional, pois foi adotada por anos sem questionamentos. A resistência à mudança, aliada à falta de conscientização sobre alternativas mais eficazes, pode dificultar a transição para um sistema de produção “puxada”, que alinha melhor a produção à demanda real.

Em alguns casos, as empresas podem não ter uma visibilidade clara de toda a sua cadeia de suprimentos. Isto dificulta a implementação de um sistema de produção puxada, baseado na demanda real dos clientes. Em ambientes onde as metas de produção são altamente enfatizadas e medidas com base na quantidade produzida, as empresas podem sentir a pressão de manter a produção em níveis elevados, mesmo que a demanda seja incerta (Hopp; Spearman, 2021).

Em setores onde a demanda é altamente variável e imprevisível, algumas empresas podem enfrentar desafios ao adotar um sistema de produção “puxada”, que depende da demanda real do cliente. A incerteza na demanda pode levar essas empresas a optar pelo modelo “empurrado”, na tentativa questionável de garantir a disponibilidade de produtos.

Quando uma empresa adota o sistema de produção “empurrada”, isso não apenas afeta os níveis de estoque, mas prejudica a gestão dos gargalos e dos *Capacity Constraints Resources* (CCRs) nos sistemas produtivos. Os níveis de estoque tendem a aumentar em diferentes estágios do processo. Isso pode levar a uma variabilidade maior no fluxo de produção, tornando mais difícil identificar e gerenciar de forma eficaz os gargalos e as restrições (Tomaszewska, 2023).

Para superar essas desvantagens, muitas empresas estão adotando o sistema de produção “puxada”. A principal diferença entre os sistemas “empurrado” e “puxado” está no modo como as liberações de trabalho são gerenciadas. No sistema “empurrado”, as liberações são programadas independentemente da demanda real, enquanto no sistema “puxado”, as liberações são autorizadas com base na demanda do cliente. Esse modelo tende a reduzir estoques, melhorar a qualidade, aumentar a flexibilidade e otimizar a cadeia produtiva como um todo. A transição de um sistema “empurrado” para um sistema “puxado” exige mudanças culturais, organizacionais e de processos, mas os benefícios a longo prazo geralmente superam as expectativas (Martins *et al.*, 2021; Tošanović; Štefanić, 2022).

4.3 RESTRIÇÕES

Segundo Goldratt (1986), uma restrição é qualquer elemento que impede uma organização de alcançar os seus objetivos. Pode ser um processo de fabricação, um recurso, uma política ou qualquer outro fator que limite a capacidade de produção ou a eficiência da empresa.

Em um contexto de produção, os termos restrição e gargalo são frequentemente usados para descrever pontos específicos em um processo de produção onde a capacidade é limitada, causando atrasos ou interrupções no fluxo de trabalho. A restrição pode ocorrer em diferentes estágios de um processo de produção e pode ser causada por vários fatores, como a falta de recursos, máquinas quebradas, falta de mão de obra qualificada, entre outros (Urban, 2019).

Para compreender o comportamento da função processo, é fundamental diferenciar dois tipos de recursos que restringem os fluxos de materiais nos sistemas produtivos: os gargalos e os chamados CCRs. Os gargalos são recursos cuja capacidade disponível é inferior à demanda do mercado no período de tempo considerado para análise. Por outro lado, os CCRs são recursos que, em média, possuem capacidade superior à necessidade, mas que, em função das variabilidades que ocorrem nos sistemas produtivos ou devido a variações significativas da demanda, podem apresentar restrições de capacidade de forma conjuntural (Antunes *et al.*, 2008).

Identificar e controlar as restrições em sistemas produtivos é essencial para otimizar o desempenho global de uma linha de produção. Em termos simples, a

restrição é o elo mais fraco da cadeia produtiva, determinando a capacidade máxima de produção de todo o sistema. Gerenciar essas restrições de forma eficaz é crucial para impulsionar, de maneira contínua e sistemática, a eficiência global do sistema de produção, garantindo o melhor desempenho possível para a empresa como um todo.

Em um fluxo de produção, as restrições representam pontos críticos que precisam ser identificados e gerenciados para garantir um fluxo de trabalho suave, eficiente e produtivo em um ambiente real de produção. A eliminação, minimização e controle desses obstáculos pode levar a melhorias significativas no desempenho e na eficácia do sistema de produção como um todo (Pacheco; Antunes Junior; de Matos, 2021).

Diversas causas geram variabilidade nos sistemas produtivos, e essas causas estão diretamente relacionadas aos CCRs. Entre os principais fatores que contribuem para essa variabilidade, destacam-se as deficiências nos processos de sequenciamento da produção, decorrentes das dificuldades enfrentadas pelas empresas na organização de seus recursos produtivos. Esses desafios incluem paradas não programadas, variações no mix de produtos, alterações frequentes na demanda dos clientes e problemas no fornecimento de matérias-primas e componentes (Antunes *et al.*, 2008).

Os CCRs examinados serão gerenciados de forma a eliminar sistematicamente as múltiplas fontes de variação. Isso pode ser alcançado por meio de ações como a melhoria da manutenção, aumentando a confiabilidade dos equipamentos; a sincronização da produção, para garantir a disponibilidade das peças; e o nivelamento da capacidade em relação à demanda. No caso dos gargalos, que são considerados desafios estruturais, é necessário frequentemente investir em melhorias e adotar métodos, ferramentas e técnicas, como as abordagens do *Lean*. Em alguns casos, podem ser necessários investimentos mais substanciais, incluindo a aquisição de novos ativos, como máquinas e equipamentos (Antunes *et al.*, 2008).

É importante observar que, para os CCRs, a aquisição de máquinas e equipamentos pode ser um equívoco. A ideia central é gerenciar de forma mais eficiente os recursos já existentes, uma vez que as fontes de variabilidade podem ser minimizadas ou eliminadas sem a necessidade de novos ativos. Os investimentos em CCRs não devem ser associados ao aumento da capacidade, uma vez que já estão disponíveis na fábrica (Antunes *et al.*, 2008).

Em um sistema de produção “empurrada”, é comum que os recursos, como máquinas e mão de obra, sejam utilizados de forma desigual e muitas vezes ineficiente. Isso pode resultar na subutilização de recursos em alguns pontos do processo e na superutilização em outros, agravando as restrições, sejam elas gargalos ou CCRs.

Em um sistema de produção “empurrada”, pode ser difícil priorizar as tarefas de maneira eficaz, resultando em congestionamentos nas restrições do processo. A ausência de uma abordagem sistêmica na gestão das prioridades pode obscurecer a real natureza dessas restrições. O excesso de estoques e a falta de sincronização entre os processos comprometem a visibilidade e a transparência do fluxo de produção, dificultando a identificação precisa das restrições que impactam o desempenho do sistema (Thürer; Stevenson, 2018).

Para superar essas dificuldades e identificar corretamente as restrições no fluxo de produção, as empresas devem considerar a adoção de um sistema de produção “puxada”, baseado na demanda real do cliente. Além disso, é fundamental implementar sistemas de gestão visual, utilizar métodos de análise de fluxo de valor e promover uma cultura de melhoria contínua. Ao otimizar os fluxos de produção e eliminar as práticas da produção “empurrada”, as empresas podem aumentar a eficiência, melhorar a qualidade e fortalecer a capacidade de identificar e gerenciar adequadamente as restrições no processo produtivo (Da Costa; Nogueira, 2023).

4.3.1 Relação entre Variabilidade, Sistema “Empurrado” e Restrições

As relações entre variabilidade, fluxo de produção “empurrada” e restrições em um ambiente produtivo são interdependentes e podem impactar-se mutuamente de forma significativa. A variabilidade nos processos de produção pode gerar flutuações na demanda, tempos de espera imprevisíveis, qualidade inconsistente, falhas na manutenção, entre outros problemas. Esse cenário pode provocar um desequilíbrio entre a capacidade produtiva e a demanda, resultando em estoques excessivos, tempos de espera prolongados e um aumento na probabilidade de ocorrência de gargalos e restrições (Hopp; Spearman, 2021).

Um fluxo de produção “empurrada” pode mascarar a existência das restrições em um sistema de produção, pois a produção continua sendo “empurrada” através do sistema, independentemente das capacidades reais. Isso pode levar a um acúmulo

de estoques antes dos gargalos, tornando mais difícil identificar e resolver os pontos críticos que limitam a capacidade de produção. Em particular, estes fluxos de produção “empurrada” tendem a gerar um amplo leque de restrições no fluxo produtivo, dando a entender que o gargalo está constantemente se modificando de lugar.

Por outro lado, as restrições, sejam elas CCRs ou gargalos, afetam o fluxo de produção “empurrada” e a variabilidade, pois representam os pontos críticos que limitam a capacidade produtiva do sistema. Quando há gargalos e restrições, o fluxo de produção “empurrada” pode resultar em congestionamentos e tempos de espera excessivos antes desses pontos críticos. Além disso, a variabilidade pode agravar esses gargalos e restrições, tornando mais difícil prever e controlar o fluxo de trabalho (Urban, 2019).

Num sistema de produção “empurrada”, a programação é impulsionada por previsões de demanda ou cronogramas de produção, o que leva à produção de itens antes que sejam realmente necessários. Isso tende a resultar em altos níveis de estoque, uma vez que os produtos são fabricados antecipadamente e armazenados até que sejam utilizados no recurso produtivo seguinte. Isso pode resultar em custos adicionais de armazenamento, obsolescência de produtos, maior espaço ocupado e capital de giro desnecessariamente retido.

A produção “empurrada” também pode levar à criação de CCRs no fluxo produtivo. Quando os produtos são fabricados antecipadamente, eles podem se acumular em determinadas etapas do processo, causando congestionamento e atrasos. Isso pode resultar em interrupções na produção, aumento do tempo de atravessamento e redução da eficiência global do sistema (Martins *et al.*, 2021; Urban, 2019).

Portanto, a programação empurrada é frequentemente considerada a principal classe de problema em fluxos de produção, devido aos seus efeitos negativos na eficiência, nos custos globais de produção e na capacidade de resposta do sistema de produção. A programação “empurrada” é frequentemente identificada como a principal causa de estoques elevados e CCRs em fluxos de produção (Hassan *et al.*, 2022; Piplani; Ang, 2018; Tomaszewska, 2023).

Outro problema comum está relacionado ao excesso de estoques, que pode impactar negativamente na eficiência dos fluxos de produção. Nesse caso, o *Lean* propõe a aplicação do sistema de produção “puxada”, o *Kanban*, que busca reduzir o

estoque ao mínimo necessário para atender à demanda do cliente. Já a TOC visa identificar, controlar e otimizar a restrição mais crítica do processo, evitando assim o acúmulo desnecessário de estoques (Urban, 2019).

Adicionalmente, a comunicação ineficiente entre os diferentes departamentos e equipes pode ser um desafio na melhoria dos fluxos do objeto nos sistemas produtivos. Nesse cenário, métodos como o *Kanban* podem ser utilizados para visualizar e controlar o fluxo de trabalho, garantindo uma comunicação mais eficaz e uma colaboração mais fluida entre as equipes (Piplani; Ang, 2018; Thüerer; Fernandes; Stevenson, 2022).

Para mitigar esses problemas, muitas empresas têm adotado a produção “puxada”, que se baseia na demanda real para acionar a produção, reduzindo estoques e minimizando os impactos das restrições no fluxo produtivo. Nesse contexto, identificar e gerenciar as restrições, minimizar a variabilidade e implementar um fluxo de produção “puxada” são estratégias essenciais para aumentar a eficiência dos sistemas produtivos (Mohd Aripin *et al.*, 2023; Romero-Silva; Santos; Hurtado, 2018).

Ao lidar com os desafios de melhorar o desempenho dos sistemas de produção, é importante identificar as classes de problemas mais comuns e aplicar os artefatos do *Lean* e da TOC de forma estratégica e integrada. Ao abordar a melhoria dos fluxos nos sistemas produtivos, é essencial compreender as classes de problemas frequentemente enfrentadas e mais citadas pelos autores. Esses problemas podem variar desde gargalos na produção até os diferentes desperdícios observáveis (refugos, retrabalhos, superprodução e etc.).

De outra parte, existem métodos, ferramentas e técnicas do *Lean* e da TOC que podem ser combinados e utilizados para enfrentar cada uma dessas classes de problemas (Pacheco *et al.*, 2019). A ideia é que a combinação da TOC e do *Lean* pode contribuir significativamente para a otimização dos processos produtivos e o aumento da eficiência operacional (Pacheco *et al.*, 2019).

Para lidar com as variabilidades, a TOC sugere o uso do conceito de *buffer*, que pode ajudar a proteger o processo de produção contra interrupções causadas pelos gargalos. Além disso, o princípio do *Lean* oferece métodos, ferramentas e técnicas como o VSM, que ajuda a identificar e eliminar atividades que geram custo e não agregam valor aos produtos e serviços (Da Costa; Nogueira, 2023; Pacheco *et al.*, 2019; Pacheco; Antunes Junior; de Matos, 2021).

4.4 PROPOSIÇÃO DO MÉTODO

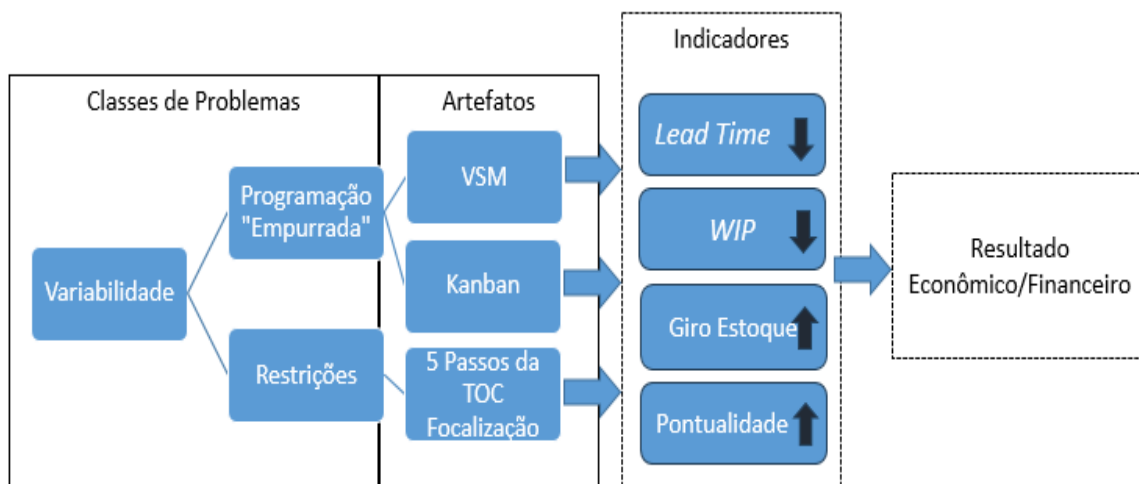
As três classes de problemas identificadas na RSL parecem se originar da classe central: a variabilidade. Quando combinada com a programação “empurrada”, essa variabilidade está associada a um sistema de produção no qual as tarefas são iniciadas com base em um cronograma ou previsão, ou ainda para manter os equipamentos da fábrica com alta taxa de ocupação, sem considerar a capacidade ou a demanda real do fluxo global. Isso pode levar a ineficiências e ao acúmulo excessivo de estoques.

O estoque em excesso implica em capital parado e oculta os problemas de qualidade e eficiência, além de aumentar os custos de armazenagem e os riscos de obsolescência dos estoques. Já as restrições são pontos no sistema de produção que limitam a capacidade geral devido à sua velocidade de processamento reduzida, podendo causar atrasos e acúmulo de trabalho.

Para dar início à construção de um artefato que integre métodos técnicas/ferramentas do *Lean* e da TOC em sistemas de produção, torna-se essencial realizar uma análise crítica dos artefatos previamente identificados. Essa análise permite explorar a viabilidade de cada método, avaliando sua adequação e potencial de aplicação em diferentes cenários.

A Figura 15 ilustra um diagrama-base que serve como fundamento para a proposição do método. O diagrama esquematiza a relação entre os problemas comuns em ambientes de produção, os métodos e as ferramentas/técnicas que podem ser utilizados para abordar essas questões, bem como os resultados esperados com a implementação dessas soluções. Esse diagrama tem como objetivo integrar de forma clara as etapas de diagnóstico, aplicação e melhoria contínua, oferecendo uma visão estruturada para aprimorar o desempenho.

Figura 15 – Diagrama-base para a construção do método.



Fonte: Elaborado pelo autor.

Para resolver esses problemas, o diagrama sugere o uso de métodos, técnicas e ferramentas do *Lean* e da TOC.

VSM (*Value Stream Mapping*) é um método que permite a visualização dos fluxos de materiais e informações necessários para levar um produto ou serviço ao cliente, ajudando na identificação de desperdícios e oportunidades de melhoria. O mapeamento do fluxo de valor também pode ser estudado a partir do Mecanismo da Função Produção. O MFP é um método introduzido por Shigeo Shingo, dentro do Sistema Toyota de Produção. O MFP define que um sistema produtivo é composto por uma rede de processos e operações, que incluem (Shingo, 1996):

1. Objetos da produção – produtos finalizados ou em processo;
2. Agentes da produção – pessoas e máquinas envolvidas na fabricação;
3. Métodos – formas como as atividades são executadas;
4. Espaço – locais onde as ações ocorrem e onde os materiais são movimentados;
5. Tempo – duração das atividades.

Shingo posicionava processos e operações em eixos perpendiculares, referindo-se a isso como “mecanismo”. Ele defendia que, para melhorar a produção, era necessário analisar de forma integrada os processos, as operações e suas inter-relações.

Kanban é um sistema visual utilizado para controlar a produção e o fluxo de itens ao longo do processo produtivo. Ele é empregado na implementação de um sistema “puxado”, que ajusta a produção com base na demanda real, em vez de previsões.

Já a focalização refere-se à aplicação da TOC, que se concentra na identificação da restrição do sistema para melhorar o fluxo e o *throughput*.

Os resultados esperados da aplicação dessas ferramentas são indicados no lado direito do diagrama:

- a) *lead times*: espera-se que haja uma redução nos tempos de atravessamentos, o que significa que a produção se torna mais rápida e ágil para responder às demandas dos clientes;
- b) WIP: a redução do estoque em processo indica uma menor quantidade de inventário intermediário, o que pode contribuir para a diminuição de custos e o aumento da eficiência dos sistemas produtivos;
- c) giro: o aumento do giro implica uma maior rotatividade de estoque, o que geralmente é positivo, pois significa que a empresa está vendendo seu inventário mais rapidamente;
- d) pontualidade: aumentar a pontualidade indica que os pedidos estão sendo entregues no prazo, o que melhora a satisfação do cliente e a confiabilidade do fornecedor.

4.4.1 Artefato VSM

O VSM é um método amplamente utilizado para identificar e melhorar os fluxos dos objetos do trabalho nos sistemas produtivos. O VSM é uma representação visual de todos os processos necessários para levar um produto ou serviço do início ao fim, mapeando tanto o fluxo de materiais quanto o fluxo de informações associados a esses processos (Da Costa; Nogueira, 2023). Ao aplicar o VSM para melhorar o fluxo nos sistemas de produção, espera-se alcançar algumas vantagens que incluem:

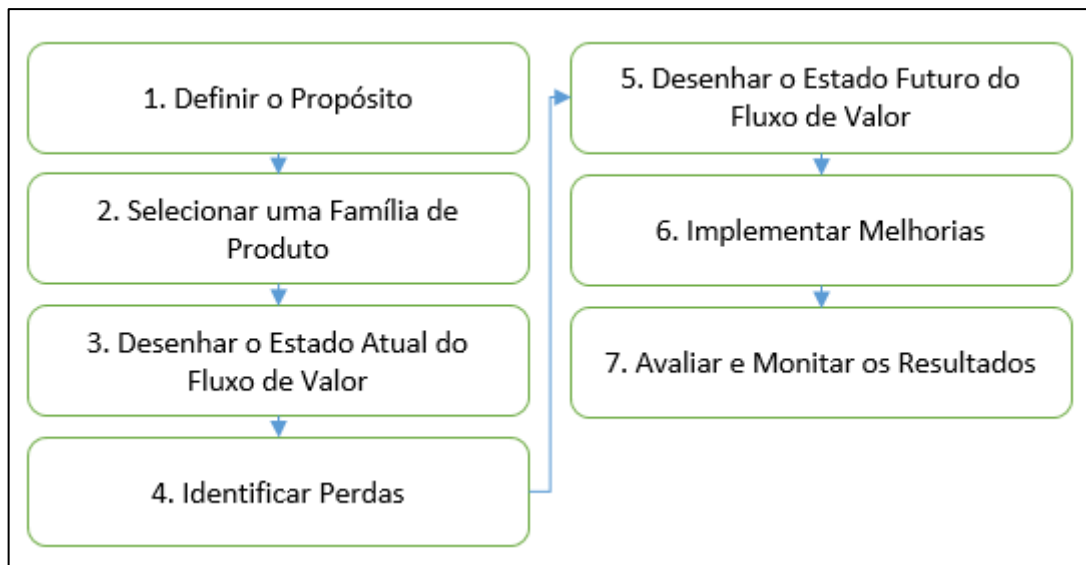
- a) identificação de desperdícios: o VSM permite identificar desperdícios ao longo da cadeia de valor, como estoques excessivos, tempos de espera, movimentações desnecessárias, retrabalho, entre outros. Com essa identificação, é possível implementar ações para reduzir ou eliminar esses desperdícios, aumentando a eficiência econômica do processo;

- b) visualização do fluxo: ao mapear o fluxo de valor, é possível visualizar com clareza como os materiais e informações percorrem os diferentes processos, identificando restrições/gargalos, tempos de ciclo, *lead times*, entre outros aspectos. Esse mapeamento permite uma compreensão abrangente do processo e facilita a identificação de oportunidades de melhoria no sistema produtivo;
- c) estabelecimento de objetivos: com o VSM, é possível estabelecer metas claras e mensuráveis para a melhoria do sistema de produção. Ao visualizar o estado atual e o estado futuro desejado, a equipe pode trabalhar em conjunto para implementar mudanças que levem ao alcance desses objetivos;
- d) promoção da comunicação e colaboração: o VSM é um método que utiliza ferramentas visuais que facilitam a comunicação entre os membros da equipe e as partes interessadas, promovendo a colaboração na identificação de problemas e na busca por soluções;
- e) redução de *Lead Times*: ao melhorar o fluxo de produção, reduzindo tempos de espera, estoques e retrabalho, é possível reduzir os *lead times*, aumentar a eficiência e, conseqüentemente, reduzir os custos operacionais (Bugvi *et al.*, 2021; Kale; Parikh, 2019; Wang *et al.*, 2023).

O uso do VSM pode contribuir para a construção de um método voltado à melhoria do sistema de produção de um fornecedor de componentes para uma montadora de automóveis. Sua aplicação oferece diversos benefícios, como a identificação de desperdícios, a visualização do fluxo produtivo, o estabelecimento de objetivos claros, a promoção da comunicação e colaboração, além da redução de *lead times* e custos. Essa abordagem auxilia a empresa na otimização de seus processos, aumentando a eficiência e a competitividade no mercado. O VSM torna-se, assim, um embasamento essencial para uma análise holística do fluxo de produção, orientando a aplicação de outras ferramentas (Alzubi *et al.*, 2019; Sangwa; Sangwan, 2023).

Na Revisão de Literatura sobre o artefato VSM, foi possível identificar uma similaridade nos passos sugeridos pelos diversos autores que abordam esse método. Embora possam haver variações na forma como os passos são descritos ou organizados, geralmente os autores concordam em uma série de etapas fundamentais para a análise do estado atual usando o VSM. A Figura 16 apresenta alguns dos passos comuns que podem ser encontrados na literatura.

Figura 16 - Etapas do VSM.



Fonte: Elaborado pelo autor.

A seguir, são descritos sucintamente os passos que constituem o método VSM:

- a) definir o propósito: antes de começar, é essencial definir claramente o propósito e o escopo do mapeamento do fluxo de valor. Isso envolve estabelecer os objetivos da análise e identificar os processos específicos que serão mapeados;
- b) selecionar uma família de produto: escolher o processo a ser mapeado é uma etapa crucial. Pode-se optar por um processo específico, uma linha de produção ou até mesmo o fluxo de valor completo de uma organização. Definir claramente o início e o fim do processo a ser mapeado permite delimitar as fronteiras da análise e manter o foco na atividade em questão. Nesse sentido, é essencial determinar a família de produtos caracterizada por uma determinada complexidade que será mapeada;
- c) desenhar o estado atual do fluxo de valor: nesta etapa, é necessário mapear o estado atual do fluxo de valor, capturando todas as etapas, atividades, fluxos de materiais e informações envolvidos no processo. Isso ajuda a identificar as oportunidades de melhoria e de redução/eliminação dos desperdícios;
- d) identificar as perdas: durante o mapeamento do estado atual, é importante identificar e analisar todos os desperdícios e ineficiências presentes no

sistema produtivo. Isso pode incluir tempos de espera, movimentações desnecessárias, excesso de estoque, entre outros;

- e) desenhar o estado futuro do fluxo de valor: com base nas análises realizadas, é hora de desenhar o estado futuro ideal desejado do fluxo de valor. Isso envolve a criação de um mapa que representa como o processo ideal deveria funcionar, eliminando desperdícios e otimizando os processos que constituem o sistema produtivo;
- f) implementar melhorias: após definir o estado futuro, é necessário planejar e implementar as melhorias necessárias para alcançar esse estado. Isso pode envolver a reestruturação de processos, a introdução de novas tecnologias ou práticas de trabalho, entre outras ações, possíveis de serem planejadas e executadas;
- g) avaliar e monitorar os resultados: uma vez implementadas as melhorias, é fundamental avaliar e monitorar os resultados obtidos, ou seja, se os indicadores melhoraram. Isso permite verificar se as mudanças realizadas estão realmente gerando os benefícios esperados.

4.4.2 Artefato *Kanban*

O *Kanban* é uma ferramenta que utiliza técnicas visuais para auxiliar no controle e na gestão do fluxo de materiais em sistemas de produção. Quando implementado, contribui para a organização e eficiência dos processos. Frequentemente, o *Kanban* é utilizado em conjunto com o VSM para aprimorar a eficiência dos sistemas produtivos. Entre as vantagens de sua aplicação na gestão da produção, os autores destacam as seguintes (Puche *et al.*, 2019; Thüerer; Fernandes; Stevenson, 2022):

- a) controle de estoques: o *Kanban* pode ser usado para controlar os níveis de estoque de forma visual. Cada etapa do processo de um sistema de produção pode ter um quadro *Kanban*. Esse quadro geralmente é formado por cartões que representam a localização física dos produtos ou componentes em cada etapa do fluxo de produção. Os cartões que correspondem ao produto físico são movimentados para a próxima etapa e, conseqüentemente, acionam a produção ou a reposição de estoque quando necessário (Robaaiy; Rahima; Alghazali, 2023a);

- b) gestão de fluxo: o *Kanban* auxilia no controle do fluxo de materiais nos sistemas produtivos, garantindo que as operações subsequentes recebam apenas o necessário, na quantidade e qualidade certas, e no momento exato. Isso contribui para evitar acúmulos de estoque, minimizar tempos de espera e manter um fluxo contínuo e balanceado no sistema produtivo;
- c) identificação de problemas: o uso do *Kanban* torna os problemas e as interrupções no fluxo de trabalho visíveis, uma vez que qualquer desvio do padrão planejado pode ser facilmente detectado. Isso permite uma melhor eficácia na resolução de problemas nos sistemas produtivos;
- d) melhoria contínua: o *Kanban* tende a facilitar a análise do desempenho dos sistemas produtivos, identificando oportunidades de aprimoramento dos fluxos de produção. Os dados visuais fornecidos pelo *Kanban* permitem que as equipes identifiquem padrões nos sistemas produtivos e implementem mudanças para aprimorar o processo ao longo do tempo (Piplani; Ang, 2018; Thüerer; Fernandes; Stevenson, 2022);
- e) integração com o VSM: o *Kanban* pode ser integrado ao VSM. Essa integração tende a oferecer uma abordagem abrangente de aprimoramento do fluxo de valor em sistemas produtivos. Enquanto o VSM auxilia na visualização e compreensão do fluxo de valor como um todo, o *Kanban* pode complementar o uso do VSM ao proporcionar uma ferramenta prática para controlar o fluxo do objeto do trabalho, gerenciar estoques, identificar desvios e fomentar a melhoria contínua nos processos que constituem o sistema produtivo (Che Ani; Kamaruddin; Azid, 2018; Hassan *et al.*, 2022; Puche *et al.*, 2019; Robaaai; Rahima; Alghazali, 2023b, 2023a).

4.4.3 Artefato Focalização

A Teoria das Restrições (TOC - *Theory of Constraints*) é uma abordagem de gerenciamento que se concentra na identificação e na gestão das restrições que limitam a capacidade de um sistema em atingir a sua meta global. Ao aplicar a TOC para melhorar um sistema produtivo, deve-se observar os seguintes passos (Mohd Aripin *et al.*, 2023; Pacheco; Antunes Junior; de Matos, 2021; Urban, 2019):

- a) identificação da restrição: o primeiro passo é identificar a restrição no sistema produtivo. A restrição é o ponto do sistema produtivo que limita a capacidade de produção do sistema como um todo. Pode ser uma máquina, um processo específico, as finanças e a demanda do mercado;
- b) expansão da capacidade da restrição: uma vez identificada a restrição, é importante buscar meios de aumentar a capacidade dessa restrição para que ela não limite a capacidade de geração de dinheiro do sistema. Isso pode envolver a realocação de recursos, investimento em melhorias, redução do tempo de *setup*, entre outras ações;
- c) sincronização com a demanda: é fundamental sincronizar a produção da restrição com a demanda, evitando a superprodução. Dessa forma, a restrição determinará o ritmo de produção, evitando a acumulação de estoques desnecessários ou atrasos no sistema produtivo;
- d) proteção da restrição: uma vez que a capacidade da restrição foi expandida e a produção está sincronizada com a demanda, é fundamental proteger a restrição contra interrupções e variações que possam comprometer seu desempenho. Para isso, podem ser implementadas medidas como o uso de *buffers* estratégicos, garantindo o funcionamento contínuo e eficiente da restrição;
- e) elevação da restrição: após otimizar a capacidade da restrição atual, é possível que uma nova restrição surja em outro ponto do processo. Nesse caso, é importante repetir o processo de identificação, expansão, sincronização e proteção da nova restrição, em um ciclo contínuo de melhorias no sistema produtivo.

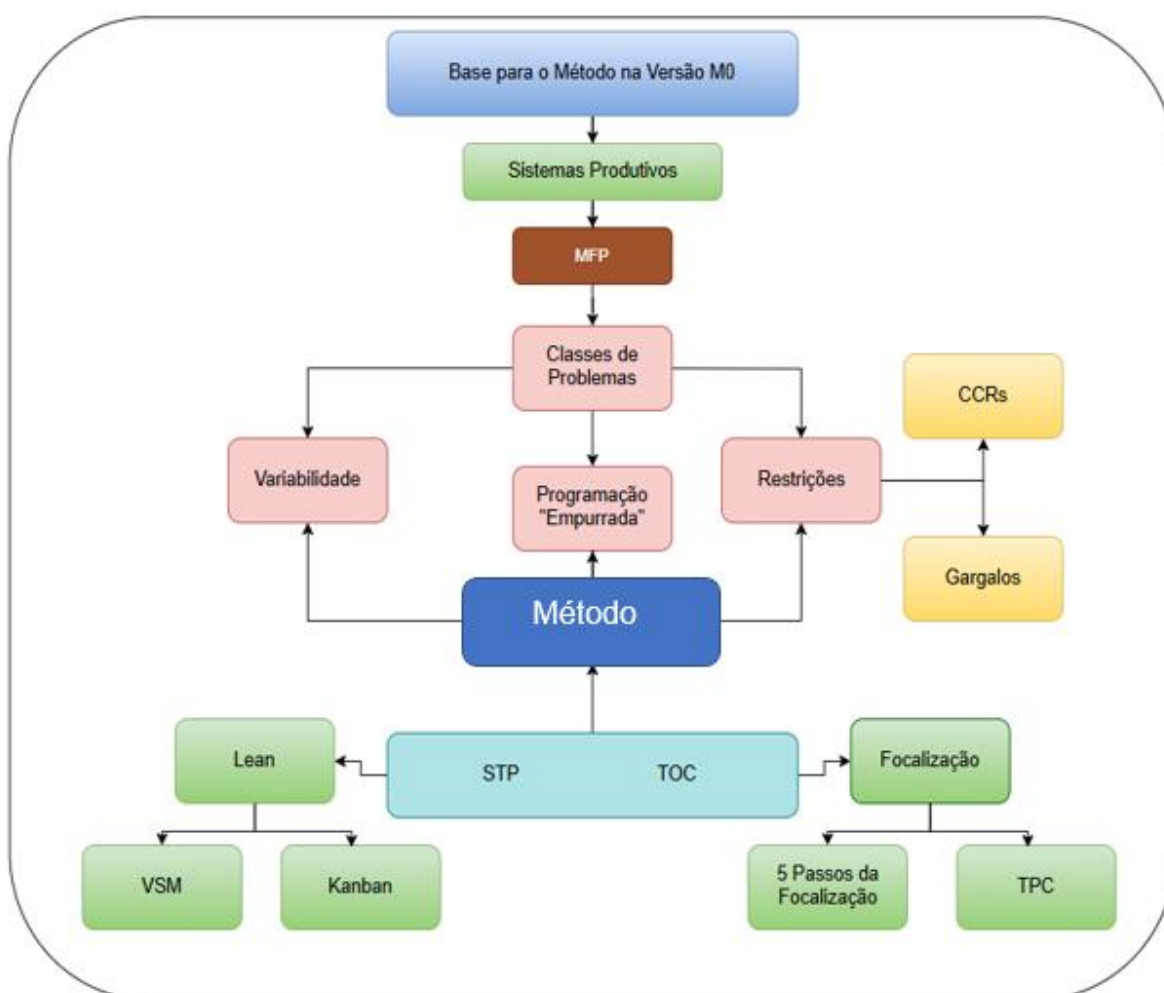
Ao utilizar os passos da focalização da TOC para melhorar os fluxos dos sistemas produtivos, é possível identificar e gerir de forma eficiente as restrições, sejam elas CCRs ou gargalos, aumentar a eficiência operacional, reduzir os *lead times*, otimizar o uso de recursos e melhorar a produtividade global do sistema produtivo (Alzubi *et al.*, 2019; Gupta *et al.*, 2022; Pacheco *et al.*, 2019).

4.5 PROJETO E DESENVOLVIMENTO DO MÉTODO

A partir das classes de problemas e dos respectivos artefatos identificados na RSL, torna-se relevante apresentar um esquema que facilite a compreensão da relação entre as classes de problemas e o desempenho dos sistemas produtivos.

Para ilustrar a relação entre os Sistemas *Lean* e TOC, as classes de problemas discutidas no capítulo anterior e os artefatos identificados na literatura, foi elaborado um diagrama que representa um sistema de melhoria contínua dos sistemas produtivos. O diagrama proposto, apresentado na Figura 17, demonstra a possível conexão entre os conceitos, métodos, ferramentas e técnicas que fundamentam a construção do método proposto.

Figura 17 – Diagrama-base para a construção do método.



Fonte: Elaborada pelo autor.

Com base na RSL apresentada no Capítulo 2 desta dissertação, a seguir é apresentada uma análise sucinta dos tópicos do diagrama, bem como suas possíveis

conexões e inter-relações no estudo do desempenho dos sistemas produtivos. O diagrama proposto serve como base para o desenvolvimento do método.

O tópico "Sistemas Produtivos" indica que o método se baseia em um cenário de produção industrial. Em seguida, o mecanismo da função produção é apresentado como o próximo tópico, após os sistemas produtivos, sendo esse o recurso utilizado no método proposto para compreender as operações e processos que compõem os sistemas de produção.

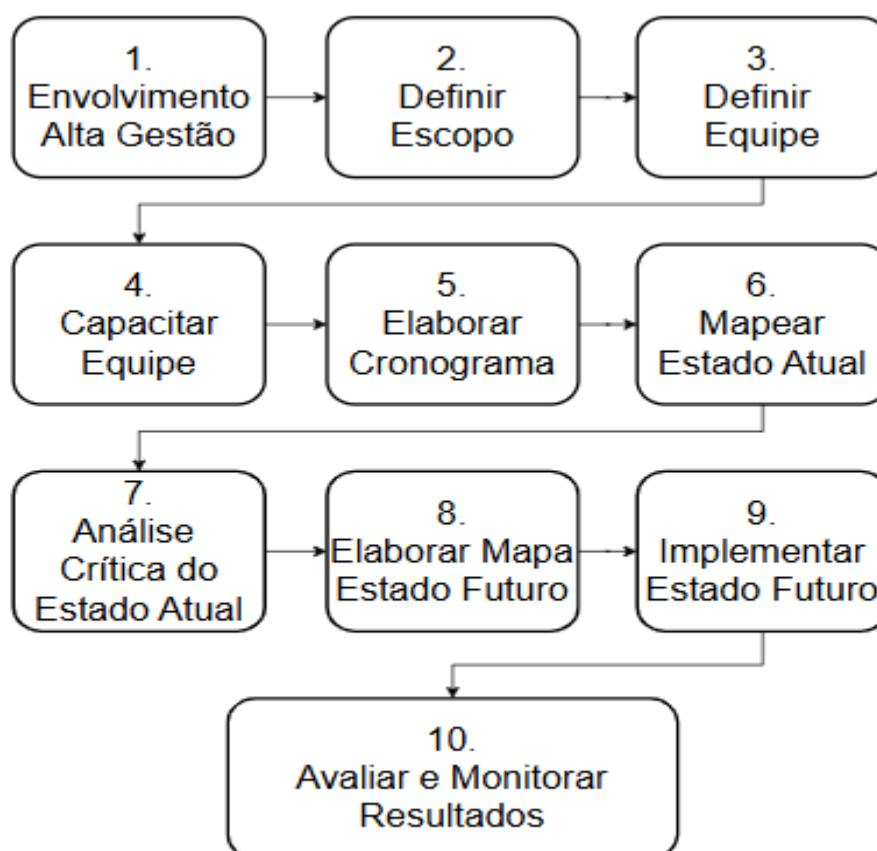
O bloco central representa a metodologia principal, que engloba todas as fases anteriores, abordando a variabilidade, a programação empurrada e as restrições. Ele serve como ponto de partida para a melhoria do sistema produtivo. O *Lean* e a TOC são metodologias de suporte. Isto é, o **Lean** está associado aos métodos, ferramentas e técnicas, como o **VSM (Mapeamento do Fluxo de Valor)** e o **Kanban**. Por sua vez, a **TOC** está associada à "Focalização", um método baseado em identificar e resolver **restrições e gargalos**, usando técnicas e ferramentas como os "5 Passos da Focalização" e o **TPC**.

Assim, o diagrama proposto visa utilizar um conjunto de métodos, técnicas e ferramentas do *Lean* e da TOC para identificar, analisar e mitigar essas classes de problemas nos sistemas produtivos, com o objetivo de melhorar o desempenho do sistema como um todo.

4.6 APRESENTAÇÃO DO MÉTODO

Com base nos pressupostos adotados na etapa de projeto, na sequência é apresentado o método e detalhadas as suas etapas. O método proposto é composto por 10 etapas gerais. Os passos seguem uma ordem lógica, porém, em certos casos, pode ocorrer o uso simultâneo das etapas, uma vez que determinadas etapas podem ser desenvolvidas de forma independente e paralela. A Figura 18 apresenta o método proposto.

Figura 18 - Método proposto para melhorar o desempenho dos sistemas produtivos de fornecedores de componentes automobilísticos.



Fonte: Elaborada pelo autor.

O processo de aplicação do método foi segmentado em 10 etapas distintas. Essa divisão meticulosa tem o objetivo de facilitar a compreensão aprofundada e a organização sistemática dos marcos significativos do método. A elaboração do esquema, ilustrado na Figura 18, foi fundamentada no arcabouço teórico delineado nas Figuras 16 e 17 desta dissertação.

Não obstante, o método em questão tem o intuito de elucidar a importância de uma análise crítica e reflexiva acerca da sequência de execução das etapas do método, considerando a interdependência inerente à fase precedente.

Adicionalmente, o conceito subjacente sugere que a adoção do método siga os ciclos inerentes a cada fase, garantindo a integridade do processo de implementação do método proposto.

A seguir, é apresentado, de forma detalhada, o desdobramento de cada uma das fases do método proposto.

4.6.1 Envolvimento da Alta Gestão – Etapa 1

A etapa inicial trata do envolvimento da alta administração, assegurando maior assertividade nos processos de aprimoramento em relação aos objetivos e necessidades estratégicas da organização. Ao estabelecer conexões entre as estratégias comerciais, de produção e os métodos decorrentes dessa interligação, busca-se fornecer metas claras a todos os envolvidos na execução do método, respaldando as decisões que serão adotadas ao longo das fases.

Além disso, como desdobramento desse estágio, tem-se a definição do escopo de atuação, que abrange a família de produtos que será o foco do trabalho, bem como o alinhamento sobre os indicadores. Outro resultado essencial dessa etapa é a definição dos prazos para a implantação de cada fase, os quais serão representados, na etapa 5, por meio de um cronograma contendo as principais etapas do projeto.

Para o alinhamento com a alta direção da organização, é importante abordar diversos tópicos relevantes que demonstrem a importância, os benefícios e as oportunidades de melhoria que a aplicação do VSM pode trazer para os processos da empresa. Abaixo, estão listados os tópicos que devem ser abordados em uma reunião de aprovação do projeto com a alta direção:

- a) introdução ao *Value Stream Mapping*: explicar de forma sucinta o que é o VSM e como funciona. Embora, para a alta gestão, conceitos e ferramentas não constituam algo desconhecido, é fundamental destacar a importância de mapear e analisar os fluxos de valor para identificar oportunidades de melhoria, bem como demonstrar conhecimento conceitual suficiente para atuar na gestão do projeto;
- b) objetivos do projeto: definir claramente os objetivos do projeto, explicando o que se espera alcançar com a implantação do método na organização;
- c) benefícios potenciais: apresentar os benefícios potenciais da aplicação do método, como a redução dos desperdícios, a melhoria da eficiência, o aumento dos níveis de pontualidade de entrega e a redução dos *lead times*. Destacar ainda os impactos positivos que o método pode ter nos resultados financeiros e na satisfação dos clientes;
- d) escopo do projeto: descrever o escopo do projeto e o que a implementação do método visa alcançar, incluindo os processos que serão mapeados e

analisados, explicando as etapas e os recursos necessários para a implantação do método;

- e) equipe envolvida: explorar como a colaboração entre as áreas pode ser crucial para o sucesso do projeto, destacando a importância de formar uma equipe com expertise interdepartamental, enfatizando o papel de cada área;
- f) etapas para implantação: apresentar as etapas para a implantação do método proposto, discutindo possíveis obstáculos e planos de contingência;
- g) indicadores de desempenho: apresentar os indicadores de desempenho que serão monitorados para avaliar o impacto do método nos sistemas produtivos da empresa, além de discutir como os resultados serão acompanhados e comunicados à alta direção;
- h) orçamento e recursos: apresentar um orçamento estimado para a implantação do método, incluindo custos operacionais e investimentos necessários, defendendo a alocação de recursos e o retorno estimado sobre o investimento.

Ao abordar esses tópicos de forma clara e estruturada, espera-se demonstrar à alta direção da empresa a importância e os benefícios da implementação do projeto do método, garantindo o apoio e a aprovação necessários para sua execução com sucesso.

4.6.2 Definir Escopo – Etapa 2

A definição do escopo de um projeto é essencial para garantir seu sucesso e eficácia, fornecendo uma base sólida e clara para orientar todas as fases e atividades. A importância dessa definição se destaca pelos seguintes motivos:

- a) clareza de objetivos: a definição do escopo ajuda a estabelecer metas claras e específicas para o projeto, garantindo que todos os envolvidos tenham uma compreensão comum do que precisa ser alcançado;
- b) limites e fronteiras: o escopo define o que está incluído e o que está excluído do projeto, estabelecendo limites claros para evitar que o projeto se desvie do seu propósito original;
- c) controle e gerenciamento: ao delimitar o escopo, é possível controlar e gerenciar melhor os recursos, tempo e custos do projeto, garantindo que as atividades realizadas estejam alinhadas com os objetivos estabelecidos;

- d) comunicação efetiva: um escopo bem definido facilita a comunicação entre as partes interessadas, ajudando a evitar mal-entendidos e conflitos durante a execução do projeto;
- e) avaliação de desempenho: com um escopo claro, é mais fácil avaliar o progresso e o desempenho do projeto em relação aos objetivos estabelecidos, permitindo ajustes quando necessário;
- f) tomada de decisões: o escopo tende a fornecer uma base sólida para a tomada de decisões durante o projeto, ajudando a priorizar tarefas, recursos e atividades de acordo com as necessidades e requisitos definidos;
- g) seleção da família de produtos: a seleção da família de produtos visa atender a uma premissa do VSM e pode ser realizada por meio de uma análise preliminar, considerando a capacidade e a demanda, assim como a taxa de ocupação dos recursos, tanto máquinas quanto pessoas. Além disso, o método sugere que sejam estabelecidos critérios, como, por exemplo, a participação do faturamento da família de produtos em relação ao total da organização, o ciclo de vida do produto e o potencial de ganhos. Nesse ponto, é fundamental envolver a direção e a área de controladoria e/ou contabilidade para validar essa escolha. Tais critérios visam assegurar a relevância do projeto, considerando a relação entre os fluxos do sistema produtivo e o desempenho econômico-financeiro. Cabe destacar que outros critérios podem ser considerados, como o volume de peças em estoque ou em processo de fabricação. Para o método proposto, os critérios listados a seguir servem como base para a escolha da família de produtos;
- h) volume de produção: optar por uma família de produtos com uma produção significativa tende a possibilitar a identificação de melhorias substanciais no fluxo de valor;
- i) variedade de produtos: dar prioridade a uma família que represente a diversidade dos produtos fabricados permitirá capturar a complexidade do processo e identificar oportunidades objetivas de simplificação do sistema produtivo;
- j) importância estratégica: dar prioridade a uma família de produtos que seja estrategicamente importante para a empresa e seus clientes permite que as melhorias no fluxo de valor tenham um impacto significativo no desempenho econômico-financeiro da empresa.

Após a definição da família de produtos, o próximo passo é revisar os indicadores e os objetivos em conjunto com os integrantes da equipe. **Definir indicadores e metas:** é essencial definir os indicadores e as respectivas metas nessa etapa do projeto, alinhar essas definições com a alta gestão e, posteriormente, com a equipe de implantação.

Os indicadores e metas fornecem uma referência clara para medir o progresso e o sucesso do projeto, direcionando os esforços para objetivos específicos e mensuráveis. Estabelecer indicadores e metas torna o desempenho do projeto transparente, responsabilizando as partes envolvidas pela obtenção dos resultados esperados.

Os indicadores auxiliam na coleta de dados relevantes para análise e tomada de decisão, tanto pela alta gestão quanto pela equipe de implantação. Com metas claras e desafiadoras, espera-se motivar e engajar a equipe, pois as metas fornecem um senso de propósito e direção, auxiliando no alinhamento das expectativas entre a alta gestão e a equipe de implantação. Isso facilita a comunicação e garante que todos estejam na mesma página em relação aos objetivos do projeto. Além disso, o controle dos indicadores possibilita identificar desvios rapidamente e realizar as contramedidas necessárias para garantir que o projeto alcance seus objetivos, permitindo o monitoramento contínuo do progresso e a avaliação do desempenho em relação aos resultados esperados.

A definição de indicadores e metas, seu alinhamento com a alta gestão e, posteriormente, com a equipe de implementação, são essenciais para garantir o sucesso do projeto, promover a eficácia das ações a serem realizadas e assegurar o cumprimento dos objetivos estabelecidos.

4.6.3 Definir Equipe – Etapa 3

Nessa etapa, o método sugere a formação de uma equipe multifacetada, composta por profissionais com amplo acervo teórico e prático, que possam contribuir de forma significativa para o planejamento e a tomada de decisões durante a implantação do método. O objetivo é resolver os problemas que surgirem ao longo da execução e implantação do método proposto.

De maneira geral, a equipe deve contar com profissionais dos seguintes setores: líderes de equipes da área de produção, engenharia de produtos, engenharia

de processos, PCP e *layout*, pois esses profissionais representam os setores com maior relação com o sistema de produção. É importante observar que a correlação entre as áreas pode variar em cada organização. Assim, o método proposto destaca que o mais importante é a variedade de conhecimentos dos especialistas de cada área, que podem divergir de acordo com os contextos estruturais e organizacionais.

O método sugere que uma equipe multifuncional é crucial para a execução eficiente do mapeamento de fluxo de valor, pois reúne diferentes perspectivas e conhecimentos especializados. Isso tende a tornar possível uma análise mais aprofundada do fluxo analisado, identificando os desperdícios, as dificuldades e as oportunidades de melhoria.

A variedade de competências e experiências da equipe pode levar a soluções mais inovadoras e práticas, garantindo a execução bem-sucedida das mudanças identificadas.

4.6.4. Capacitar Equipe – Etapa 4

O método propõe um treinamento para a capacitação da equipe. Essa capacitação constitui a base para o desenvolvimento da competência necessária e o nivelamento dos conhecimentos da equipe em relação ao método, às ferramentas e às técnicas de implementação do método proposto.

Capacitar a equipe para o método de implementação proposto é essencial para garantir uma abordagem abrangente no sistema produtivo, alinhada às metas estratégicas da organização. Embora as equipes possam possuir conhecimento técnico nas áreas específicas de atuação, o método sugere que o grupo de profissionais formado na etapa anterior tenha um conhecimento conceitual uniforme e aprofundado sobre os conceitos, métodos, ferramentas e técnicas relacionados ao objetivo global de implantação e execução do método proposto. De forma geral, essa etapa visa proporcionar uma visão sistemática e abrangente para os participantes do projeto de implantação do método.

Para a capacitação da equipe, o método sugere abordar uma base conceitual ampla, capaz de abranger o Sistema Toyota de Produção (STP), com ênfase no MFP e no *Lean Manufacturing*, além dos derivados do STP e das classes de problemas existentes nos sistemas produtivos, discutidas anteriormente. Para abordar a Teoria das Restrições (TOC), o método proposto recomenda dar ênfase ao processo de

focalização, à técnica do TPC e aos potenciais benefícios que podem ser alcançados pelos sistemas produtivos com a implantação integrada das abordagens *Lean* e TOC.

É importante observar que a capacitação deve ser conduzida por pessoal qualificado, a fim de garantir a eficácia do entendimento dos conceitos, princípios, métodos, ferramentas e técnicas que constituem o método proposto, de forma direta e objetiva, com ênfase nas suas aplicações práticas.

O método propõe que o desdobramento do escopo do projeto de implantação seja realizado em conjunto com a equipe, sendo esta uma subetapa da capacitação da equipe. A partir de um escopo de projeto validado pela alta gestão, é de extrema importância desdobrá-lo com a equipe de implantação, com os seguintes objetivos:

- a) alinhamento de objetivos: ao desdobrar o escopo do projeto com a equipe de implantação, todos os membros permanecem alinhados com as metas e objetivos do projeto. Isso ajuda a evitar mal-entendidos e garante que todos estejam trabalhando na mesma direção;
- b) compreensão detalhada: o desdobramento do escopo, proposto pelo método, permite que a equipe compreenda detalhadamente o que precisará ser feito, os requisitos do projeto e as expectativas de entrega. Isso evita interpretações errôneas e garante que todos tenham uma compreensão clara do trabalho a ser realizado;
- c) engajamento: ao envolver a equipe no desdobramento do escopo, o método proposto tende a promover o engajamento e o comprometimento dos membros com o projeto. A tendência é que a equipe se sinta mais motivada para participar ativamente da definição das atividades e responsabilidades;
- d) identificação de oportunidades e desafios: ao desdobrar o escopo em conjunto, a equipe pode identificar potenciais desafios, oportunidades de melhoria e possíveis obstáculos que podem surgir durante a implantação do método proposto. Isso permite antecipar problemas e planejar soluções adequadas;
- e) estabelecimento de planos de ação: o desdobramento do escopo com a equipe de implantação ajuda a estabelecer planos de ação claros e realistas, distribuindo as responsabilidades de forma equitativa e definindo os prazos e recursos necessários para a execução do projeto.

Ao explorar o escopo do projeto com a equipe de implantação, a partir do método proposto, espera-se aumentar a capacidade de assegurar o êxito do projeto,

estimulando o alinhamento, a compreensão detalhada, o engajamento, a identificação de desafios e oportunidades e, ainda, a elaboração de planos de ação eficazes.

4.6.5 Elaborar cronograma de implantação do método – Etapa 5

As etapas anteriores do método proposto formam a base para a elaboração do cronograma de implantação. O cronograma deve conter, invariavelmente, todas as etapas do método, e o desdobramento de cada uma pode ser realizado ao longo da implantação e implementação, pois necessidades de adequação poderão surgir em diferentes etapas e contextos de aplicação. Contudo, tendo como base conceitual metodológica o método proposto, o cronograma deve observar as etapas apresentadas na Figura 19.

Figura 19 – Etapas para elaboração do cronograma.



Fonte: Elaborada pelo autor.

A seguir, é apresentada uma descrição sucinta de cada uma das etapas propostas no cronograma:

- a) definição de objetivos: estabelecer metas claras e objetivos específicos do projeto;

- b) levantamento de dados: coletar as informações sobre o processo atual e identificar gargalos e desperdícios;
- c) formação da equipe: designar responsabilidades, identificar líderes de projeto e garantir a participação de todos os membros da equipe;
- d) treinamento em *Lean* e TOC: realizar sessões de treinamento para garantir que a equipe compreenda os conceitos e metodologias a serem implementados;
- e) *workshops* práticos: realizar exercícios práticos para aplicar os conceitos aprendidos em situações reais;
- f) mapeamento do fluxo de valor atual (MFP): realizar o mapeamento do estado atual do processo para identificar oportunidades de melhoria;
- g) identificação e análise das restrições (TOC): identificar e priorizar as restrições que limitam o desempenho técnico e econômico-financeiro do sistema de produção;
- h) implementação das melhorias: estabelecer os sistemas de controle visual e "puxado" para gerenciar o fluxo do objeto de trabalho e reduzir os estoques;
- i) acompanhamento do desempenho: monitorar os indicadores-chave de desempenho para avaliar a eficácia das mudanças implementadas;
- j) reuniões de revisão: realizar reuniões regulares para revisar o progresso do projeto, identificar problemas e ajustar as estratégias conforme as necessidades e obstáculos;
- k) implementação de melhorias contínuas: promover uma cultura de melhoria contínua, incentivando a equipe a identificar e implementar constantemente melhorias no sistema produtivo;
- l) avaliação de resultados: avaliar os resultados alcançados em relação aos objetivos estabelecidos no início do projeto;
- m) documentação e lições aprendidas: documentar as lições aprendidas, as melhores práticas e as recomendações para projetos futuros.

Para garantir a eficiência e a precisão do cronograma, é necessário atribuir prazos específicos a cada etapa. Isso ajudará a manter o projeto no caminho certo e a garantir a eficácia no cumprimento dos prazos preestabelecidos. Os prazos definidos auxiliam na organização do trabalho em etapas menores e mais gerenciáveis, facilitando o planejamento e a execução eficiente do projeto. Ao definir prazos para cada etapa, é possível monitorar o progresso do projeto de forma mais

eficaz, identificando atrasos ou desvios em relação ao cronograma planejado. Isso permite detectar eventuais restrições ao bom desempenho do projeto ou áreas com maiores dificuldades na execução da implantação do método proposto, possibilitando a adoção de contramedidas antes que as dificuldades impactem o cronograma geral.

4.6.6 Mapear estado atual – Etapa 6

O mapeamento do fluxo de valor do estado atual desempenha um papel fundamental na implementação do método proposto, devendo resultar na representação abrangente de todo o fluxo físico do deslocamento do objeto de trabalho ao longo do tempo e do espaço. Adicionalmente, isso abrange o fluxo de informações, que serve como a base essencial para o funcionamento eficaz do fluxo físico do objeto de trabalho.

Compreender o estado atual do sistema produtivo com a maior aderência possível e quão distante ele está do objetivo de desempenho é essencial. Esse processo envolve a elaboração de um mapa detalhado dos processos, dos fluxos de materiais e informações, culminando em um mapeamento visual abrangente de todas as etapas do sistema produtivo.

O método propõe o desenvolvimento de um fluxograma que contemple todas as etapas dos processos e operações do sistema produtivo atual, sendo elaborado de forma detalhada, incluindo todas as etapas, atividades, decisões e movimentações de materiais ou informações.

Para o desenvolvimento do mapa do fluxo do estado atual do processo, o método propõe que o mapa seja desenhado utilizando a abordagem e os ícones do MFP, conforme proposto por Shingo (1996). O objetivo é representar de forma gráfica todas as etapas, atividades e movimentações que ocorrem desde o início até o fim do processo em análise. A proposta de utilizar a simbologia do MFP visa auxiliar a equipe na compreensão e no discernimento das atividades operacionais, bem como na identificação de como essas atividades se relacionam e constituem o sistema produtivo como um todo.

Após a criação do mapa do estado atual, o método propõe validar as informações coletadas com a equipe envolvida no projeto, a fim de garantir que o mapa reflita com precisão a realidade operacional.

4.6.7 Análise Crítica do Estado Atual – Etapa 7

A inclusão da etapa de análise crítica do mapa do estado atual no método proposto o diferencia dos projetos visuais de mapeamento do fluxo de valor. O objetivo é utilizar o mapa do estado atual do sistema produtivo para identificar a existência das classes de problemas, previamente identificadas na Revisão de Literatura deste estudo: variabilidades, a existência da programação da produção "empurrada" e as restrições. Ou seja, a etapa de análise crítica foca em detectar com clareza as três classes de problemas mais comuns, identificadas na Revisão Sistemática da Literatura desta dissertação, que prejudicam o desempenho dos sistemas produtivos.

4.6.7.1 Variabilidade

Outro aspecto importante proposto pelo método, nesta etapa, é buscar identificar e compreender as fontes de variabilidade que criam ou amplificam as restrições no sistema produtivo. Entre os direcionamentos, o método sugere que a equipe de implantação considere os seguintes dados: previsão de demanda, capacidade produtiva e turnos de trabalho. Isto é, avaliar a quantidade de produtos que o cliente deseja (demanda) e comparar com a capacidade do sistema produtivo em atender a essa demanda (capacidade de produção).

Essa análise tem como objetivo permitir que a equipe implementadora do método proposto compreenda com clareza os pontos limitantes do fluxo de produção em estudo e entenda as fontes das eventuais variabilidades que causam as restrições. Com essa clareza, a equipe tende a estar apta a atuar de forma mais assertiva nas etapas subsequentes do método proposto.

4.6.7.2 Restrições

Identificar as restrições do fluxo, ou seja, os pontos que limitam o desempenho do sistema produtivo, é fundamental para compreender como o sistema opera e como ele pode ser melhorado. Sendo as restrições os pontos que limitam o fluxo de materiais, o método visa priorizar a identificação dessas restrições no sistema produtivo.

Em vez de otimizar etapas que não limitam o fluxo, a ideia sugerida pelo método, de concentrar-se nas restrições, sendo elas gargalos ou CCRs, tende a gerar maior retorno sobre o investimento dos recursos a serem utilizados no decorrer da implementação do método proposto.

Durante essa análise, é importante observar onde ocorrem os atrasos e as interrupções, pois esses pontos frequentemente indicam potenciais restrições. Além disso, o método sugere a observação direta do chão de fábrica, pois ela pode revelar restrições que não são imediatamente evidentes nos dados coletados.

O método proposto sugere que seja realizada uma análise de todas as operações do processo de produção para identificar as restrições existentes no sistema produtivo e, a partir dessa análise, compreender a interação entre a variabilidade, o sistema de programação e as restrições do sistema de produção: 1) identificar as restrições do sistema produtivo; 2) analisar as relações entre as restrições e a variabilidade.

4.6.7.3 Programação empurrada

Analisar como é realizada a liberação das ordens de produção no sistema produtivo e a existência de critérios de liberação que orientem a programação da produção. Além disso, verificar se os critérios utilizados estão gerando perdas por superprodução e esperas ao longo do fluxo produtivo. Para isso, sugere-se analisar os seguintes itens: análise dos critérios utilizados para a liberação da produção e análise do *Work In Progress* (WIP).

4.6.8 Elaborar Mapa do Estado Futuro – Etapa 8

Após a etapa de análise crítica, o método propõe a elaboração de um mapa, com o objetivo de explorar as oportunidades de possíveis ações de melhoria no sistema produtivo, por meio dos conceitos da TOC. Essa etapa é subdividida e seguida por uma sequência de subetapas, sendo orientada pelos cinco passos da focalização:

- a) identificar a restrição: a identificação das restrições, sejam elas CCRs ou gargalos, é o passo inicial para melhorar o desempenho do sistema. Considerando que esse tópico foi abordado na etapa anterior do método

proposto, é importante que, nesta fase, a restrição identificada pela equipe na etapa de análise crítica seja apresentada à equipe de implantação, e que haja uma discussão consensual sobre os aspectos e o conjunto de dados que compõem as descobertas da etapa anterior;

- b) explorar a restrição: nessa etapa, os métodos propõem a construção de um entendimento embasado da equipe sobre quais ações devem ser realizadas para explorar a causa raiz dos problemas, isto é, as fontes de variabilidades, e entender as razões por trás da restrição. Ao propor esse aprofundamento da análise da restrição, o método tende a permitir que a equipe esteja apta a desenvolver estratégias mais eficazes para superar os obstáculos e melhorar o desempenho do sistema;
- c) subordinar o sistema à restrição: seguindo os passos da focalização, nesta etapa deve-se explorar formas de subordinar todo o sistema produtivo à restrição, de modo a alinhar as demais operações e processos do sistema em torno da restrição, com o objetivo de garantir que operem de forma sincronizada e eficiente;
- d) elevar a restrição: elevar a restrição tem como requisito implementar ações para aumentar a capacidade da restrição;
- e) utilizar o *Kanban*: utilizar o *Kanban* para gerenciar visualmente o fluxo de produção de forma "puxada", garantindo que a produção seja executada conforme os níveis de estoque previamente determinados. A proposta de implementação do *Kanban* tem como objetivo fornecer uma alternativa para reduzir os impactos da variabilidade da demanda, assegurando que a produção seja liberada de acordo com a demanda efetivamente realizada.

Ao final desta etapa, propõe-se a elaboração de um mapa visual do estado futuro, apresentando a proposta de integração das ferramentas do *Lean* e da TOC, bem como os benefícios esperados dessa integração para a melhoria do fluxo do sistema produtivo estudado. É fundamental validar a proposta de melhoria com a alta gestão antes de sua implementação, garantindo o alinhamento estratégico, a obtenção de apoio e recursos, a avaliação de riscos, a credibilidade e a legitimidade, além de considerar uma visão holística da organização. Esse processo tende a aumentar as chances de sucesso na implementação das melhorias propostas.

4.6.9 Implantar Estado Futuro – Etapa 9

Para a fase de implantação do estado futuro, o método proposto recomenda seguir os seguintes passos:

1.1 revisão do planejamento: esta fase é essencial para assegurar que o planejamento esteja atualizado e reflita a fase atual do projeto de implantação do método. Neste momento, é crucial garantir que todas as atividades das fases anteriores tenham sido concluídas, e que as atividades listadas no planejamento para a fase de implantação estejam detalhadas de forma precisa, com a sequência de ações definidas para uma implementação eficiente dos métodos, ferramentas e técnicas propostas na fase de elaboração do estado futuro;

1.2 informar sobre a alteração: apresentar a todos os colaboradores da equipe as principais mudanças que irão ocorrer acerca da introdução do novo procedimento de trabalho. Detalhar os objetivos e as razões para as mudanças, os benefícios projetados e como isso influenciará nas atividades de cada um.

4.6.10 Avaliar e monitorar os resultados - Etapa 10

Para garantir a consecução dos objetivos estabelecidos e a sustentabilidade do novo fluxo do sistema produtivo, é essencial seguir diretrizes fundamentais. A seguir, são apresentadas algumas abordagens recomendadas pelo método M0 para a avaliação e o monitoramento dos resultados de um projeto:

- a) rotina de análise dos resultados: estabelecer uma rotina de análise dos dados e dos resultados obtidos em relação aos indicadores de desempenho definidos, identificando tendências, padrões e possíveis desvios em relação às metas estabelecidas;
- b) identificar desvios e problemas: identificar eventuais desvios significativos em relação aos resultados esperados, entendendo as causas desses desvios para poder tomar as medidas corretivas necessárias;
- c) implementar ações corretivas: quando forem identificados desvios, implementar ações corretivas de forma rápida e eficaz para corrigir o curso do projeto e garantir que as melhorias sigam na direção certa. Ou seja,

promover a melhoria contínua do desempenho técnico e econômico-financeiro do sistema produtivo;

- d) avaliar a sustentabilidade: além de corrigir os desvios, avaliar a sustentabilidade do novo método de trabalho a longo prazo, certificando-se de que as práticas e os comportamentos necessários para manter as melhorias sejam incorporados de forma permanente na cultura organizacional;
- e) comunicação e engajamento: manter uma comunicação aberta e transparente sobre os resultados das melhorias com todas as partes interessadas e envolvidas na organização, promovendo o engajamento contínuo e o apoio das equipes para assegurar a sustentabilidade das mudanças no sistema produtivo.

Essas práticas listadas no método proposto tendem a garantir a eficácia da avaliação e o monitoramento dos resultados das melhorias implementadas, de forma a garantir a sustentabilidade do novo método de trabalho proposto e implementado.

5 DESCRIÇÃO E AVALIAÇÃO CRÍTICA DO MÉTODO APLICADO NA EMPRESA X

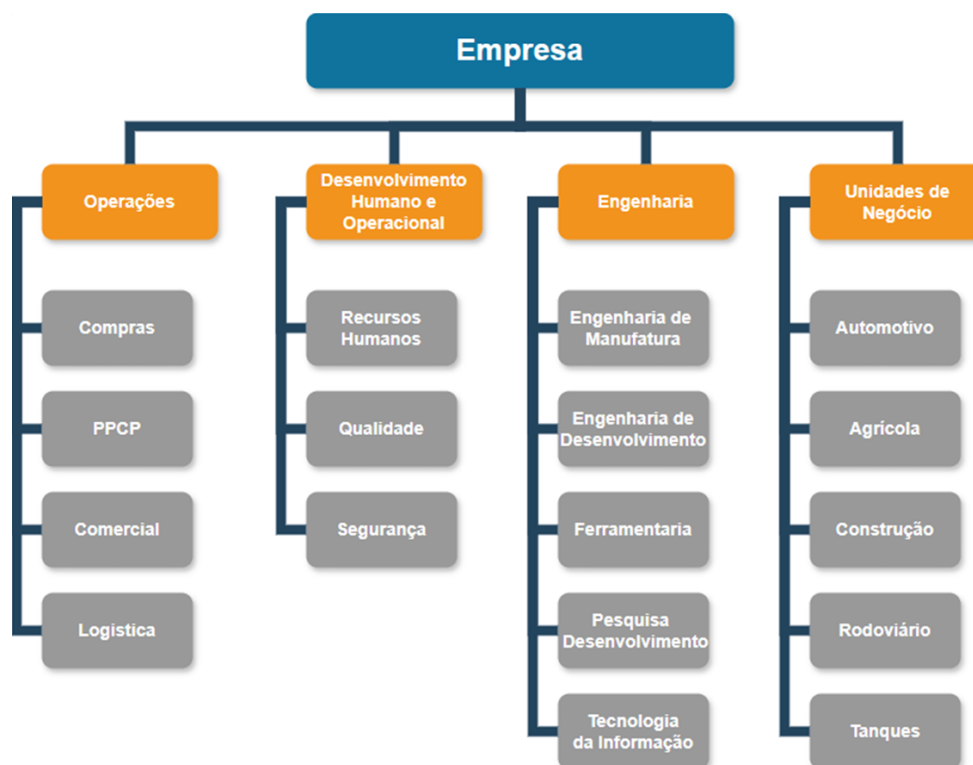
Este capítulo é dedicado à descrição e avaliação do método proposto. Para isso, detalha-se sua aplicação em um cenário real. Inicialmente, apresenta-se a descrição do contexto de aplicação. Em seguida, explicita-se a aplicação do método, destacando suas etapas. Por fim, os resultados obtidos são apresentados e discutidos de forma crítica.

5.1 CONTEXTO DE APLICAÇÃO

O método proposto foi aplicado na Empresa X, situada na cidade de Panambi, município da região Noroeste do Rio Grande do Sul. A empresa foi fundada no ano de 1947, e inicialmente dedicava-se à manutenção de equipamentos agrícolas importados. Nos anos seguintes, dedicou-se à fabricação de pequenas máquinas agrícolas e de beneficiamento de madeira. Com a nacionalização das colheitadeiras automotrizes, em 1967, a empresa inicia a produção seriada de componentes para as máquinas colheitadeiras de grãos. Com o passar dos anos, a empresa expandiu sua atuação no mercado agrícola, passando a fabricar e fornecer componentes para montadoras de tratores..

Em 1988, a empresa passou a atuar no mercado rodoviário, fornecendo componentes estruturais para montadoras de ônibus e caminhões. Alguns anos depois, em 1995, realizou uma reestruturação em seu parque fabril para ingressar no segmento automotivo, inicialmente fornecendo componentes para a montadora de automóveis General Motors. Em 2012, a empresa entra no setor de construção, fornecendo componentes para a Caterpillar, fabricante de máquinas desse segmento. Na Figura 20, é apresentado, de forma sucinta, o organograma da empresa.

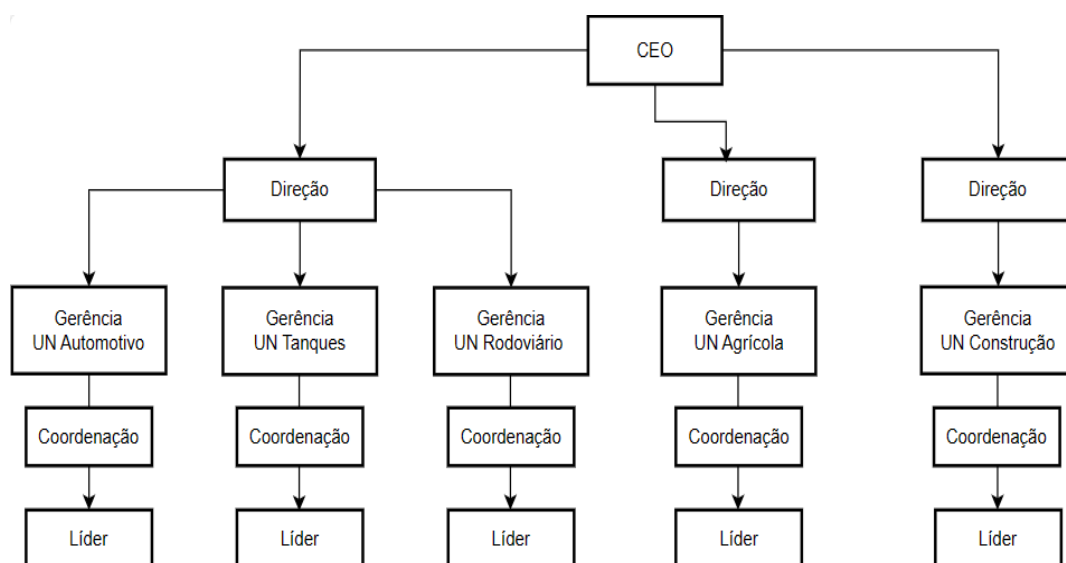
Figura 20 - Estrutura Organizacional.



Fonte: Arquivo interno da empresa.

Atualmente, a empresa possui cinco unidades estratégicas de negócio e conta com aproximadamente 2.400 funcionários. As cinco Unidades Estratégicas de Negócio são: Unidade Automotiva; Unidade Agrícola; Unidade Rodoviária, Unidade Tanques e Unidade Construção. A estrutura hierárquica da gestão da empresa é composta por um CEO, três diretores e um gerente em cada unidade de negócio. Nessas unidades, cada gerente atua por meio de uma equipe formada por coordenadores, líderes e colaboradores operacionais. A Figura 21 apresenta a distribuição dos níveis de gestão das unidades de negócio na Empresa X.

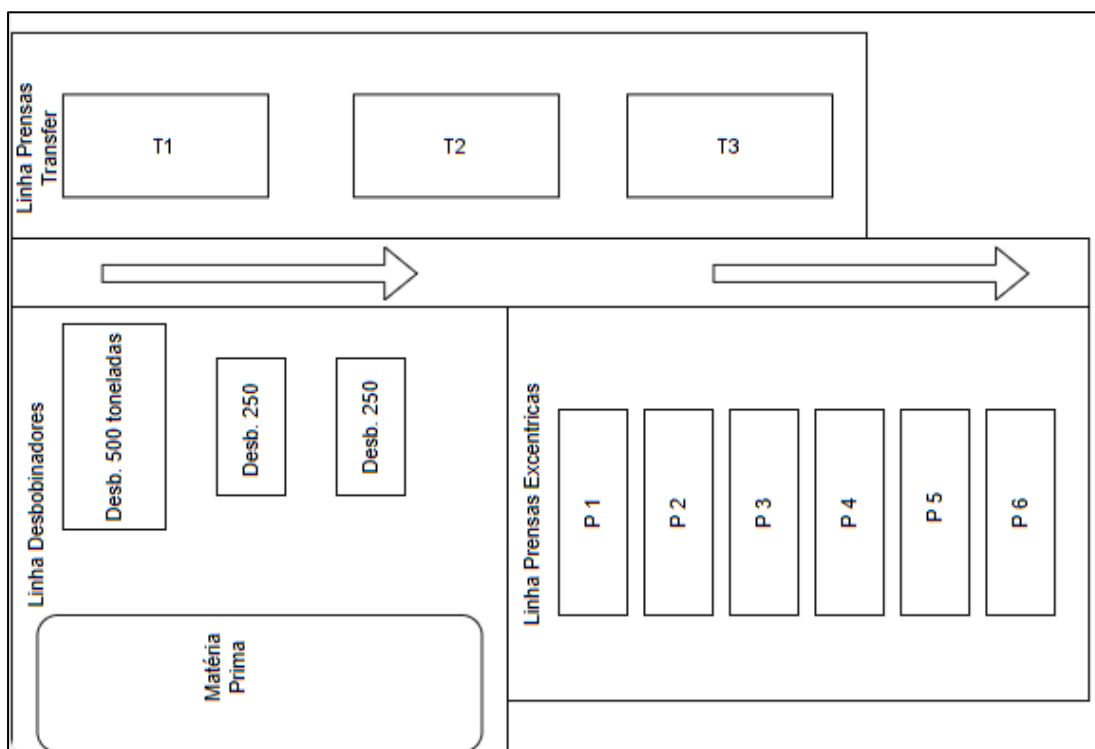
Figura 21: Organograma da distribuição da Gestão por UEN.



Fonte: Elaborada pelo autor.

O trabalho empírico foi desenvolvido na Unidade Automotiva, onde a implantação do método ocorreu. Esta unidade tem como principal cliente a montadora de veículos General Motors. O parque fabril da unidade conta com uma área de estamparia composta por 3 desbobinadores, 3 prensas *transfer* e 6 prensas excêntricas. A Figura 22 apresenta um esquema do sistema produtivo da estamparia.

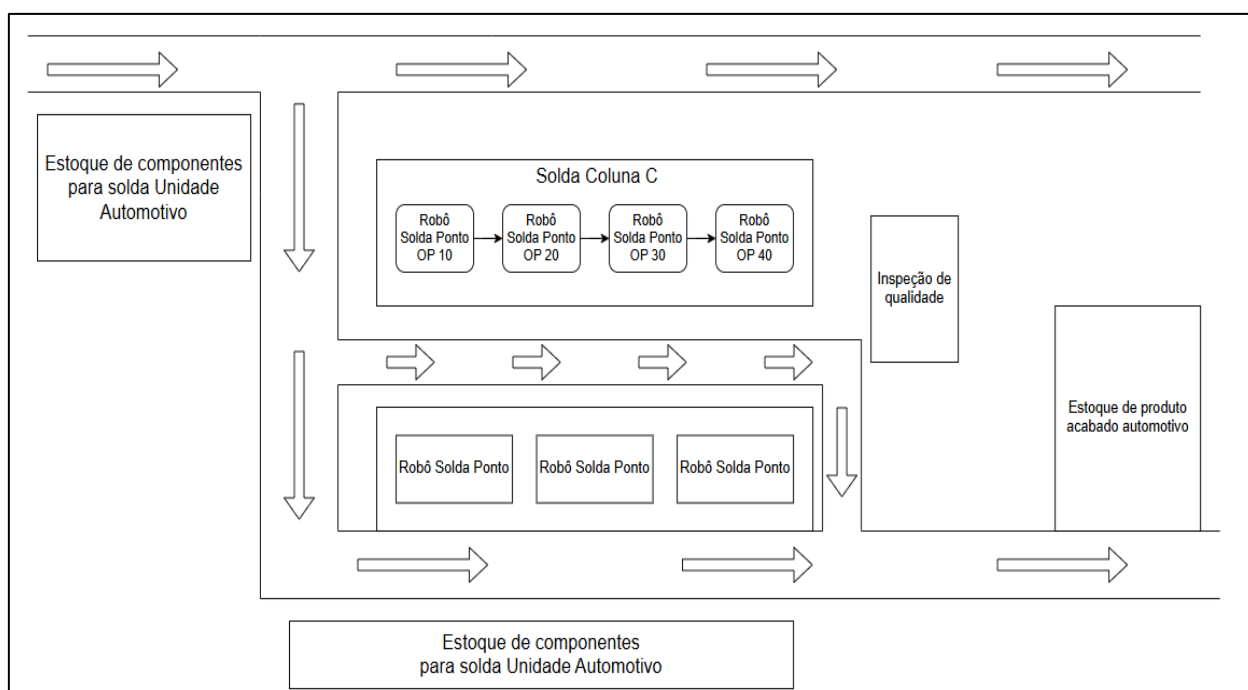
Figura 22 – Esquema do layout da estamparia.



Fonte: Elaborada pelo autor.

Além da área de estamparia, a Unidade Automotiva possui uma área de soldagem composta por sete máquinas de solda ponto robotizadas, máquinas e equipamentos de medição e áreas de inspeção e expedição de materiais. Adicionalmente, existe uma área destinada a um estoque de componentes estampados que aguardam o processo de solda. Na Figura 23, é apresentado um esquema do sistema produtivo da área de solda.

Figura 23- Esquema do layout da solda.



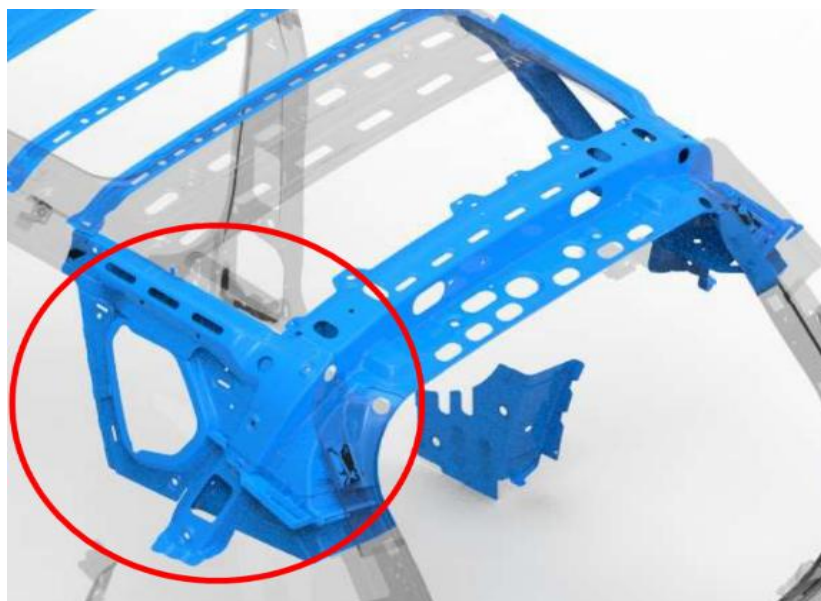
Fonte: Elaborada pelo autor.

É importante observar que, nos últimos anos, a empresa tem se dedicado ao desenvolvimento de programas para a prática de melhoria contínua, baseados nas metodologias *Lean*, com foco na melhoria da eficiência das operações no setor de estamparia. Historicamente, a unidade automotiva foi utilizada como laboratório inicial para a implementação de métodos, ferramentas e técnicas do *Lean*.

Em 2020, a Unidade Automotiva iniciou o fornecimento do que viria a ser um dos seus principais produtos. O produto nomeado por “Coluna C” é composto por 11 componentes estampados que são agrupados no processo de solda. Esse produto é aplicado na montagem do veículo *Tracker*, na planta da montadora General Motors, localizada na cidade de São Caetano do Sul, no Estado de São Paulo.

A representação da aplicabilidade da Coluna C esta apresentada na Figura 24, destacada por um círculo vermelho.

Figura 24 - Aplicabilidade da Coluna C.



Fonte: Arquivo Interno da Empresa.

5.2 APLICAÇÃO DO MÉTODO

A seguir, é apresentada a aplicação do método no fluxo produtivo da Unidade Automotiva na família do produto Coluna C.

5.2.1 Envolvimento da Alta Gestão – Etapa 1

O envolvimento da alta gestão teve início durante uma reunião estratégica, na qual o coordenador responsável pelo fluxo de produção, juntamente com o gerente da Unidade Automotiva, apresentou uma análise detalhada do cenário atual da unidade. Esse levantamento identificou uma oportunidade de melhoria no fluxo das famílias de produtos mais representativas no faturamento da Unidade Estratégica de Negócios (UEN).

Durante a reunião, o coordenador apresentou os indicadores de pontualidade de entrega, destacando a necessidade de aprimorar esses resultados. Também foi detalhado o impacto financeiro dos custos adicionais gerados pelos atrasos nas entregas, além dos custos relacionados às reclamações formais dos clientes, que frequentemente relatavam problemas decorrentes desses atrasos. Além disso, foi apresentada uma previsão de aumento da demanda para o produto Coluna C, indicando que, com os níveis atuais de eficiência e capacidade produtiva, seria

necessária a implantação de um turno adicional nos processos de soldagem. Entre as principais causas da ineficiência no processo de solda, destacou-se a falta de abastecimento de componentes provenientes do setor de estamparia.

Com base na análise do cenário apresentado, ficou evidente a necessidade de melhorias no sistema produtivo para atender à demanda futura, minimizando os custos operacionais adicionais. O coordenador da unidade apresentou à alta gestão uma proposta de trabalho. A partir daí, iniciou-se a contextualização dos conceitos de MFP (Mecanismo da Função Produção) e VSM (*Value Stream Mapping*). Em seguida, foram discutidos tópicos que destacaram a importância, os benefícios e as oportunidades de melhoria proporcionadas pela aplicação integrada dos conceitos, métodos e ferramentas/técnicas do *Lean Manufacturing* e da Teoria das Restrições (TOC) para aprimorar o fluxo de produção do produto Coluna C.

Durante a reunião, foram apresentados e discutidos, de maneira preliminar, os objetivos do projeto, destacando o que se esperava alcançar com a implantação do método. De forma qualitativa, foram abordados os benefícios potenciais, como a redução de desperdícios, o aumento da eficiência, a melhoria da pontualidade nas entregas e a redução dos *lead times*. Adicionalmente, foi enfatizado que o método traria impactos positivos para os resultados financeiros da organização e para a satisfação dos clientes.

Na sequência, o escopo do projeto foi detalhado, incluindo os processos a serem mapeados e analisados, assim como as etapas e recursos necessários para sua implantação. Nesse ponto, destacou-se a importância da colaboração entre as áreas, identificando que a eficácia da implantação do projeto dependia da formação de uma equipe interdepartamental com expertise variada. Também foram discutidos o plano de ação proposto, que incluía prazos, atividades-chave e os responsáveis por cada tarefa. Além disso, foram levantados possíveis obstáculos e propostas de planos de contingência para garantir a precisão da implantação.

Ainda durante a reunião, foi discutida uma proposta de métricas e indicadores de desempenho que seriam monitorados para avaliar o impacto do método nos processos da empresa. O foco foi direcionado para como os resultados seriam medidos e comunicados à alta direção, garantindo uma avaliação contínua do desempenho das melhorias implementadas.

Além disso, foram abordados o orçamento e futuros gastos relacionados ao projeto. A alta gestão sugeriu que, para cada necessidade de investimento, a equipe

apresentasse uma análise de Retorno sobre o Investimento (ROI) ao comitê de aprovação de investimentos, prática recorrente e conduzida mensalmente pela alta gestão da empresa. Em seguida, ficou estabelecido que a equipe dedicada à implantação das melhorias deveria apresentar o ROI, garantindo que os dados seguissem o padrão estabelecido pela empresa. Também foi recomendado que os gestores buscassem alternativas para otimizar o fluxo com o menor investimento possível.

Foi garantido que as melhorias no fluxo estivessem alinhadas aos objetivos estratégicos da organização, correlacionando os processos de aprimoramento com as necessidades comerciais e estratégicas de produção. Isso visava assegurar que as decisões tomadas ao longo da implantação fossem respaldadas pela visão estratégica da empresa.

Como desdobramento, ficou oficialmente definido que o foco do projeto seria a família de produtos Coluna C, com o escopo centrado na melhoria do sistema produtivo. O desenvolvimento e a implantação do método seguem um plano estruturado, observando as etapas previamente discutidas.

É relevante destacar que a alta direção se mostrou comprometida, oferecendo apoio irrestrito à implantação do método. Esse suporte foi essencial para que o projeto se tornasse uma prioridade organizacional. Além disso, a Unidade Automotiva contou com a consultoria de um especialista em melhoria de fluxos de produção, com vasta experiência em *Lean* e TOC, o que fortaleceu a elaboração do plano global de implantação do projeto.

O diretor da Unidade Automotiva reiterou a importância de calcular o ROI de eventuais necessidades de alterações no *layout* ou em equipamentos, bem como a validação financeira desses cálculos. A alta gestão reforçou a importância de desenvolver o projeto com soluções que equacionassem o fluxo produtivo com o menor investimento possível.

Por fim, a reunião foi fundamental para assegurar que o projeto estivesse alinhado às necessidades estratégicas da organização. Isto contribuiu para estabelecer as bases para uma implantação bem-sucedida, reforçando o compromisso da alta gestão com a execução do projeto.

5.2.2 Definição do escopo do projeto – Etapa 2

A validação do escopo ocorreu em uma nova reunião, que contou com a presença da gerência da Unidade de Negócios, da gerência da área de melhoria e da direção da unidade. Durante o encontro, foram definidos os indicadores específicos, relacionados tanto ao fluxo de produção quanto aos objetivos estratégicos da Unidade Estratégica de Negócios (UEN). Esses indicadores incluem: fluxo de caixa, lucro líquido, despesas operacionais, produtividade e retorno sobre o investimento (ROI).

Na fase de definição do escopo, a equipe de trabalho, em conjunto com as áreas envolvidas, validou não apenas os indicadores referenciais, mas também estabeleceu as metas que deveriam ser alcançadas em cada um dos objetivos críticos. Isso inclui os indicadores de tempo de atravessamento (*lead time*), trabalho em processo (WIP), giro de estoques e pontualidade de entrega, que foram tratados como parâmetros fundamentais para garantir a eficiência do sistema produtivo.

Esse desdobramento foi acompanhado de um monitoramento constante e rigoroso, a fim de garantir que todas as ações planejadas fossem executadas conforme o cronograma e que os resultados esperados fossem alcançados. Além disso, foram definidas as rotinas que seriam implementadas para monitorar e direcionar a alocação dos recursos, como as reuniões de alinhamento da equipe de trabalho e as avaliações e análises de desempenho das atividades durante a implantação do método proposto.

Para a definição da família de produtos, foram utilizados os critérios propostos pelo método, a saber:

- a) volume de produção: o produto Coluna C faz parte de uma família de produtos com volume significativo de produção, o que permite a identificação de melhorias substanciais no fluxo de valor de toda a UEN;
- b) variedade de produtos: a escolha do produto Coluna C reflete a diversidade dos itens fabricados pela UEN, possibilitando capturar a complexidade do sistema produtivo como um todo;
- c) importância estratégica: o produto, Coluna C, possui relevância estratégica tanto para a empresa quanto para a UEN Automotiva, pois a melhoria da pontualidade nas entregas eleva a confiança e a satisfação dos clientes. A melhoria tende a contribuir para a prospecção de novos negócios, garantindo a sustentabilidade da Unidade Automotiva no longo prazo.

Além desses critérios, foram analisados os dados de capacidade e demanda, os indicadores de pontualidade e a relevância estratégica dos produtos da unidade

automotiva. A partir dessa análise, definiu-se que o fluxo de produção a ser aprimorado seria o da família de componentes que compõe o produto Coluna C. Nesse contexto, foi elaborado o cenário real para a implantação do método, direcionando os esforços para o aprimoramento contínuo e sustentável dos processos produtivos. O Quadro 08 apresenta uma síntese do escopo do projeto.

Quadro 08 – Síntese da definição do escopo do projeto.

Família do Produto	Coluna C, composta por 22 componentes estampados e soldados, que compõem 2 produtos finais (Coluna C Direita/ Esquerda).
Objetivo Geral	Atender a demanda atual e futura garantindo a pontualidade de entrega em 100%.
Objetivos Específicos	Redução do WIP de R\$ 2.238.275,00 para R\$ 1.500.000,00. Redução do Lead Time de 28 para 15 dias. Reduzir valor do atraso médio de R\$ 70.000,00 para 0. Reduzir o Giro do estoque de 37 dias para 22 dias. Reduzir o número mensal de horas de solda parada por falta de componentes de 22hrs para 0hrs.
Visão de Longo Prazo	Aplicar o método em todas as famílias da Unidade de Negócios, melhorar pontualidade e redução de custos operacionais.

Fonte: Elaborado pelo autor.

Com o escopo validado e aprovado pela alta gestão, o projeto avançou para uma nova etapa. Aqui, as participações ativas da gestão da UEN automotiva, assim como da área de melhoria contínua, foram fundamentais para o desenvolvimento do projeto. Uma série de reuniões foi organizada, com o objetivo de monitorar e apoiar a equipe de trabalho na implantação dos passos do método proposto no sistema produtivo e promover a integração entre as diferentes áreas envolvidas e os alinhamentos necessários.

Essas etapas foram planejadas meticulosamente para garantir que todas as ações fossem realizadas de acordo com os objetivos estratégicos da empresa, mantendo sempre o foco no aprimoramento contínuo e na maximização da eficiência do sistema produtivo.

5.2.3 Definição da equipe – Etapa 3

Para a definição da equipe de implantação, foi realizada uma análise preliminar com o objetivo de identificar as áreas com maior relação com o fluxo produtivo selecionado. Além da área de produção, foram destacadas as seguintes áreas: Melhoria Contínua, Planejamento, Programação e Controle da Produção (PPCP), Manutenção, Engenharia de Processos, *Layout* e Logística.

Posteriormente, foi realizada uma reunião com os gestores dessas áreas, solicitando que indicassem os especialistas que as representariam no projeto, constituindo assim a equipe de implantação. O Quadro 09 apresenta as informações detalhadas sobre os membros da equipe, incluindo a área de atuação, o cargo e o tempo de empresa de cada integrante.

Quadro 09 – Função e tempo de empresa dos membros da equipe.

Função	Tempo de Empresa
Gerente de UEN Automotivo	18 anos
Supervisor de Produção UEN Automotivo	19 anos
Analista de Melhoria Continua	2 anos
Líder de Produção da Estamparia	20 anos
Líder de Produção da Solda	14 anos
Líder de Manutenção	6 anos
Analista de Engenharia de Processos	4 anos
Analista de Logística e Lay Out	1 ano
Programador de Produção - PCP	13 anos

Fonte: Elaborado pelo autor.

Para fins de alinhamento, foi realizada uma reunião com todos os integrantes da equipe, onde foram apresentados os objetivos do projeto a ser implantado. Com a equipe definida e os alinhamentos iniciais concluídos, foi realizado um treinamento abordando os conceitos relacionados ao método proposto.

5.2.4 Capacitação da equipe – Etapa 4

Para capacitar a equipe, foi elaborado um treinamento, que contou com a ajuda de um consultor externo à empresa. O treinamento teve início com um diagnóstico para determinar o nível de conhecimento dos participantes sobre os conceitos e práticas abordados.

Após a avaliação inicial, a capacitação focou em proporcionar uma visão abrangente dos conceitos, teorias e técnicas do método proposto, incluindo o Sistema Toyota de Produção, *Lean Manufacturing* e a Teoria das Restrições.

Também foi apresentada à equipe a família de produtos escolhida anteriormente, na etapa de definição do escopo, bem como os critérios utilizados para essa definição. A Figura 25 ilustra a sala de treinamento utilizada.

Figura 25 - Treinamento da equipe.



Fonte: Arquivo da Empresa.

O treinamento foi dividido em sessões teóricas e práticas, com o objetivo de simular a aplicação dos conceitos discutidos em contextos reais. Essa abordagem visou garantir que a equipe estivesse bem preparada para implementar o método de forma eficaz, além de promover o alinhamento conceitual e o engajamento entre os participantes.

A capacitação durou quatro dias. Foi, então, programado o início dos trabalhos práticos, previsto para a semana seguinte, garantindo a continuidade e o nivelamento dos conceitos entre os integrantes da equipe.

5.2.5 Elaborar cronograma de implantação do método – Etapa 5

As etapas do método proposto formaram a base para a elaboração do cronograma de implantação, o qual abrange todas as fases do processo. O desdobramento de cada etapa aconteceu ao longo do trabalho, uma vez que as necessidades de adequações podem surgir em diferentes momentos da implantação. Contudo, como base conceitual e metodológica do método proposto, o cronograma segue as etapas apresentadas no Quadro 10.

Quadro 10 - Cronograma de implantação do projeto.

Etapas	Semanas																			
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20
Envolvimento da Alta Gestão	■																			
Definir Escopo	■	■																		
Definir Equipe			■																	
Capacitar Equipe				■																
Elaborar Cronograma					■	■														
Mapear Estado							■	■	■											
Análise do Mapa do Estado Atual										■	■									
Elaborar Mapa do Estado Futuro												■	■							
Implementar Estado Futuro														■	■	■	■			
Avaliar e Monitorar Resultados																	■	■	■	■

Fonte: Elaborado pelo Autor.

Para garantir a eficiência do cronograma, foram atribuídos prazos específicos a cada etapa, com o objetivo de manter o projeto no caminho certo e assegurar a eficácia no cumprimento dos prazos preestabelecidos. Ao definir prazos para cada fase, foi possível monitorar o progresso do projeto de forma eficaz, identificar atrasos ou desvios em relação ao cronograma planejado e detectar eventuais gargalos ou áreas problemáticas, permitindo a tomada de ações corretivas antes que impactassem o cronograma geral.

5.2.6 Mapear o Estado Atual – Etapa 6

Inicialmente, a equipe realizou um levantamento para entender a composição do processo, identificar as operações e os materiais utilizados na fabricação do produto em estudo. Durante a análise, a equipe identificou que o produto era composto por 22 componentes estampados e que, para fabricar esses componentes, eram

utilizadas 10 matérias-primas diferentes. A matéria-prima, originalmente em bobinas de chapas de aço, era processada em desbobinadores, tendo como operação seguinte a conformação em máquinas de estamparia.

Após as operações de conformação realizadas na área de estamparia, os componentes eram enviados para um estoque intermediário e, posteriormente, para a operação de solda. A equipe evidenciou que as etapas do processo e suas operações estavam distribuídas em cinco linhas de produção, envolvendo 21 centros de trabalho que executavam 92 operações distintas. Para sintetizar os dados encontrados, a equipe elaborou a Figura 26, que destaca duas representações gráficas da peça, em diferentes ângulos ou estados de montagem, evidenciando a complexidade da peça e a quantidade de componentes e processos envolvidos em sua fabricação.

Figura 26 – Representação gráfica de peças.



Fonte: Arquivo Interno da Empresa.

Com base nos dados coletados, a equipe foi a campo para realizar o mapeamento de todas as atividades operacionais. O objetivo foi identificar cada etapa do sistema produtivo, desde a recepção das matérias-primas até a finalização dos produtos. Para o levantamento, a equipe registrou os seguintes dados:

- código do item;
- descrição do item;
- operação realizada que compreendia: tempos de ciclo, tempos de *setup*, tempos de espera, tempos de movimentações, distâncias percorridas;

- d) meio de transporte utilizado em cada movimentação;
- e) tamanho dos lotes.

Foi feita uma divisão em duplas, e cada dupla recebeu uma lista de operações para realizar o mapeamento. O integrante da equipe responsável pela área de excelência operacional apoiou as duplas nas atividades de mapeamento, garantindo a uniformidade e padronização das informações, esclarecendo dúvidas e monitorando o cumprimento dos prazos conforme o cronograma previamente estabelecido.

Durante o mapeamento, a equipe observou as interações entre as diferentes linhas de produção e centros de trabalho, registrando as operações realizadas em cada etapa. Esse levantamento detalhado permitiu visualizar os fluxos dos processos e das operações, além de garantir que todas as 92 operações fossem devidamente compreendidas e documentadas. Além disso, o mapeamento proporcionou uma visão clara de todas as etapas do processo produtivo, destacando não apenas as atividades que agregam valor, mas também aquelas que não contribuem para o resultado econômico final. As equipes analisaram cada etapa, identificando ineficiências e desperdícios, como longos tempos de espera e movimentações desnecessárias.

Com os dados coletados, incluindo tempos de ciclo, distâncias de movimentação, códigos dos itens, tempos de espera, tamanhos dos lotes e tempos de *setup*, a equipe utilizou o mapa proposto por Shingo no MFP para elaborar um mapa do estado atual do fluxo de valor do produto. O mapa proporcionou uma visualização clara de todas as etapas do processo produtivo, destacando não apenas as atividades que agregam valor, mas também aquelas que não agregam valor, configurando-se como perdas. O uso do mapa de fluxo de valor possibilitou uma compreensão abrangente do processo, facilitando a identificação de oportunidades para melhorias.

Com base no mapa gráfico do estado atual do fluxo de valor, a equipe avançou para a próxima etapa do método, que consiste na realização de uma análise detalhada do estado atual dos processos, operações e movimentações de materiais descritos. O mapa constitui um relatório dos dados coletados, apresentados de forma gráfica, observando a simbologia proposta por Shingo para representar todas as operações e materiais que compõem o processo de produção do item em estudo.

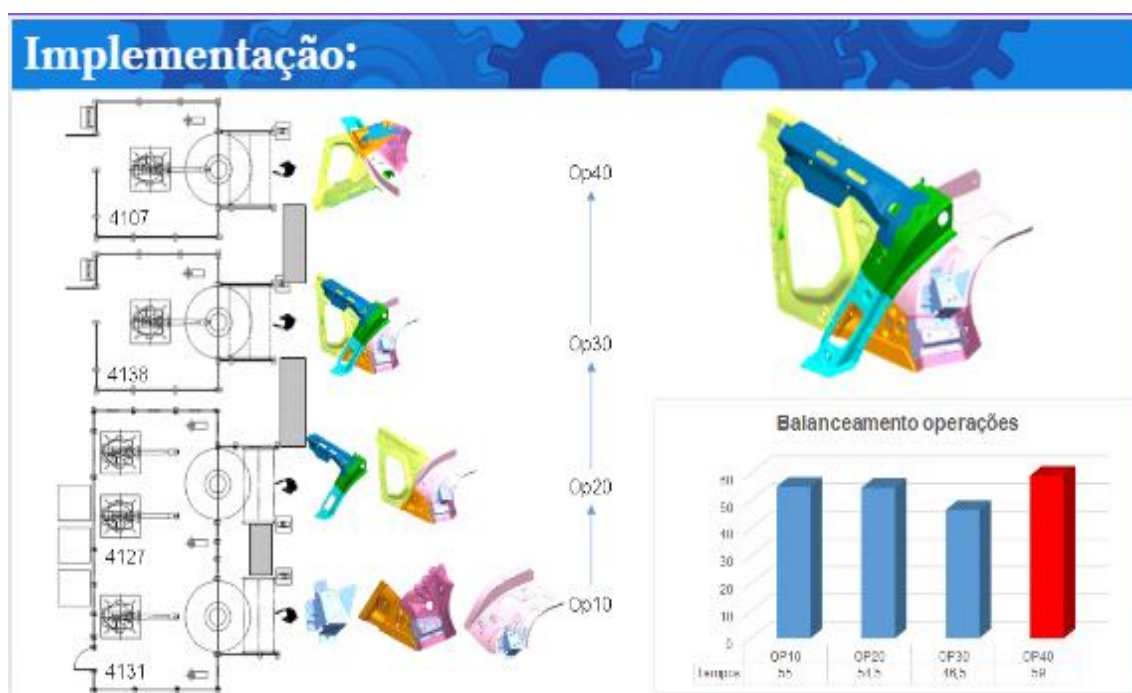
5.2.7 Análise Crítica do Estado Atual – Etapa 7

Para analisar o mapa do estado atual, a equipe inicialmente concentrou-se nos processos e operações de solda. O primeiro passo foi realizar reuniões com os operadores e gestores da área de solda, com o intuito de entender as dificuldades e desafios enfrentados diariamente. Foram coletadas informações sobre a eficiência das máquinas de solda, os tempos de preparação e as dificuldades relatadas pela equipe de produção. É importante observar que a linha de solda do produto Coluna C foi concebida e implementada com o propósito específico de produzir esse produto.

Para entender tecnicamente como o sistema de solda operava, a equipe de implantação do projeto buscou informações com o time de engenharia da empresa, que foi a área responsável pela implementação da linha de soldagem durante o início da produção e fornecimento do produto Coluna C.

A equipe descobriu que a linha de solda do produto Coluna C foi concebida com quatro operações de solda principais. Em cada uma dessas quatro operações, é realizada a união de componentes estampados por meio de solda ponto robotizada. De forma progressiva, as operações chamadas de OP10, OP20, OP30 e OP40 soldam componentes estampados que vão sendo agregados ao produto, até que o produto final fique pronto na última operação de solda a OP40, sendo que a movimentação do produto é realizada peça por peça, em esteiras automatizadas, alocadas entre as operações de solda. A Figura 27 apresenta a sequência de operações e os tempos de ciclo de cada operação, projetados pela área de engenharia na concepção do processo e das operações.

Figura 27 - Operações de solda.



Fonte: Arquivo Interno da Empresa.

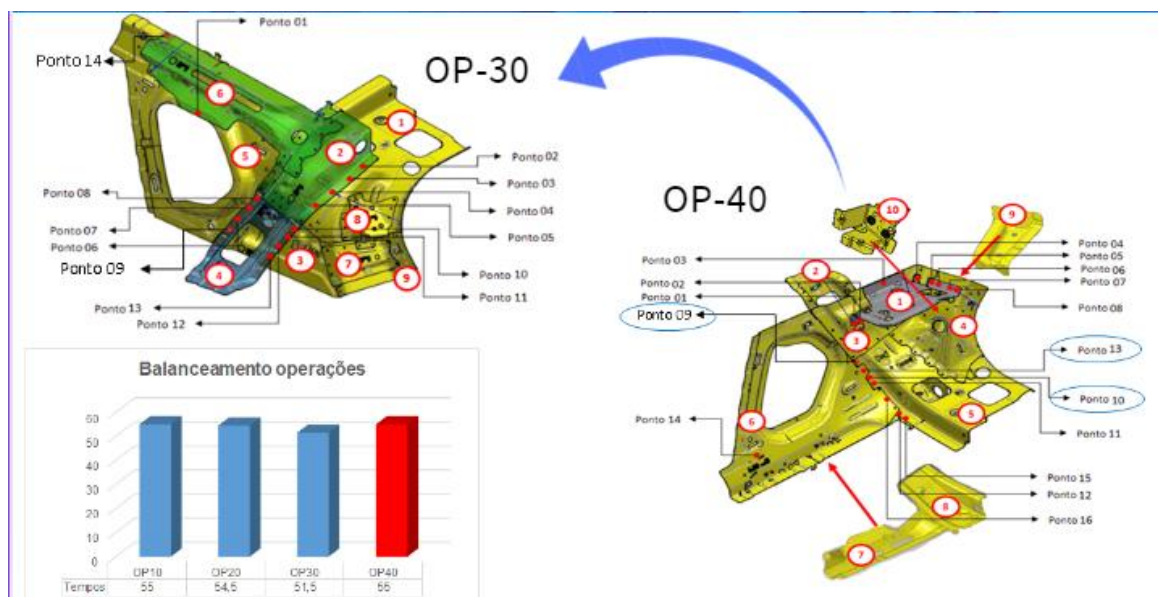
Durante o desenvolvimento e a implantação da linha de produção, a engenharia realizou análises detalhadas do processo de fabricação, destacando as diferentes operações e o balanceamento dessas operações em um gráfico de barras. A análise inicial realizada pela área de engenharia pode ser dividida em duas partes principais: a sequência das operações e a avaliação do balanceamento dessas operações.

As sequências de operações são numeradas como Op10, Op20, Op30 e Op40. Cada operação é representada por uma imagem da peça em diferentes estágios de montagem e fabricação. A primeira operação (Op10) mostra a peça em um estágio inicial, onde componentes básicos são unidos. Na segunda operação (Op20), mais componentes são adicionados à peça, avançando no processo de soldagem. Na terceira operação (Op30), a peça está em um estágio mais avançado, com mais componentes unidos. Na quarta e última operação (Op40), os últimos componentes são agregados, por meio de solda, finalizando o produto em seu estágio final.

No entanto, foi detectado pela engenharia, na fase de implantação do processo, que algumas operações de solda eram mais lentas, indicando áreas onde o processo poderia ser otimizado para melhorar a eficiência. Entretanto, essa melhoria não era possível devido às restrições técnicas dos equipamentos de solda. A equipe de engenharia, então, decidiu realizar uma redistribuição das atividades executadas em cada operação de solda para buscar um melhor balanceamento dos tempos das

operações. Assim, o processo teve suas operações de solda balanceadas, conforme apresentado na Figura 28.

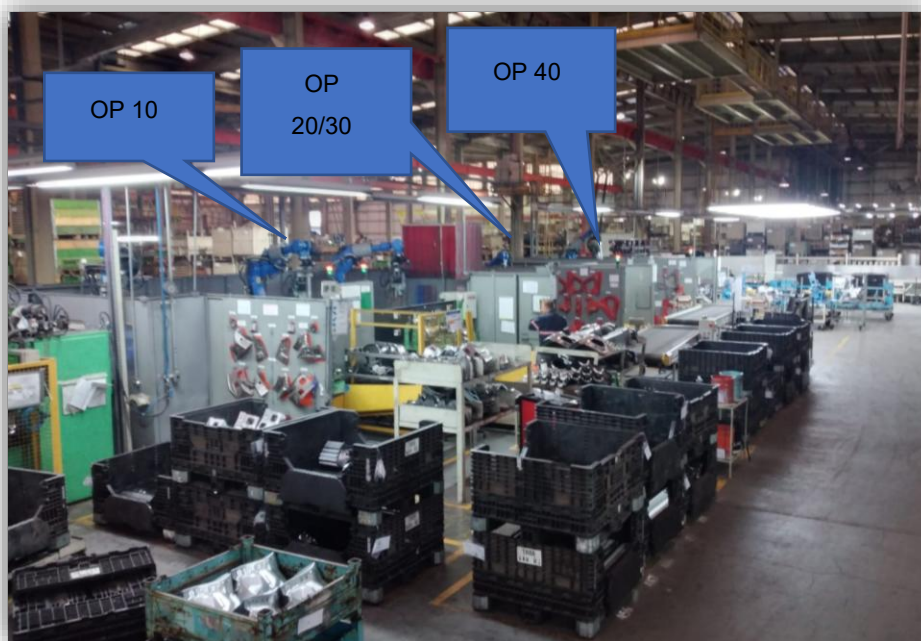
Figura 28 - Representação do balanceamento das operações de solda.



Fonte: Arquivo Interno da Empresa.

Um componente que era soldado na Op 40 passou a ser soldado na Op30. Assim, as operações de soldagem foram redistribuídas entre as diferentes operações (Op10, Op20, Op30 e Op40) e, com isso, o tempo teórico de produção completa de um produto foi configurado em 56 segundos, sendo a Operação 40 a mais lenta da sequência de operações de solda. A Figura 29 apresenta a linha de solda com a descrição sucinta da sequência de operações.

Figura 29 – Fotografia da sequência de operações da solda da Coluna C.



Fonte: Arquivo Interno da Empresa.

Adicionalmente, a imagem apresenta a disposição dos componentes soldados em cada uma das operações de solda, acondicionados em embalagens empilhadas em frente aos robôs de solda. Isso indica uma dependência de máquinas de transporte para movimentar essas embalagens, o que também pode gerar perdas por transporte e movimentação.

De posse dessas informações o próximo passo foi buscar os dados de demanda e capacidade da linha de solda, apresentados no Quadro 11.

Quadro 11 – Demanda e Capacidade da Solda.

Análise Demanda X Capacidade - Fevereiro a Novembro 2023-					
Turnos	Horas Disponíveis	Capacidade Teórica Eficiência em 100%	Eficiência Real	Capacidade Real	Demanda Média
1	8,8	566	75%	424	940
2	17,6	1131	75%	849	
3	21	1350	75%	1013	

Fonte: Elaborado pela equipe.

Ao analisar a previsão da demanda futura *versus* a capacidade real de produção da linha de soldagem, a equipe simulou os diferentes cenários de capacidade de produção possível, conforme o número de turnos. Para um turno, obtêm-se os seguintes resultados: Horas Disponíveis: 8,8; Capacidade Teórica (100% de Eficiência): 566 unidades; Eficiência Real: 75%; e Capacidade Real: 424 unidades.

Para dois turnos, os dados são: Horas Disponíveis: 17,6; Capacidade Teórica (100% de Eficiência): 1131 unidades; Eficiência Real: 75%; Capacidade Real: 849 unidades; e Demanda Média: 940 unidades.

Com uma eficiência real de 75%, a capacidade real cai para 849 unidades, estando abaixo da demanda média de 940 unidades. Isso aponta para um *déficit* de capacidade, que pode levar a atrasos ou à necessidade de adotar horas extras.

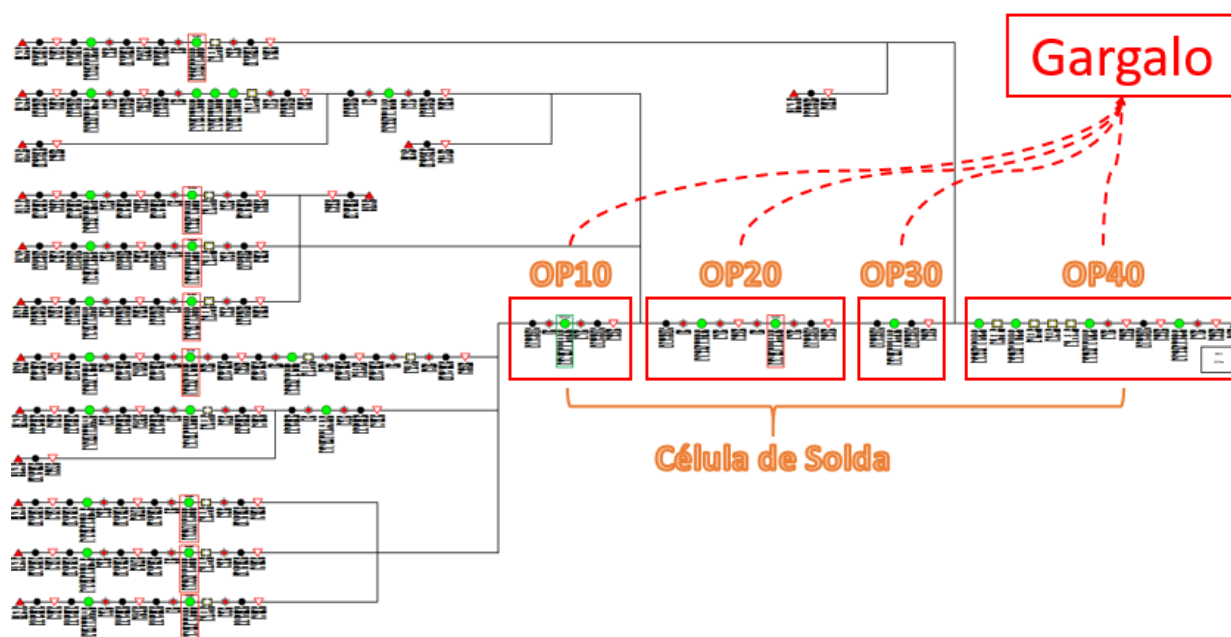
Já para três turnos, foram obtidos os seguintes dados: Horas Disponíveis: 21; Capacidade Teórica (100% de Eficiência): 1350 unidades; Eficiência Real: 75% e Capacidade Real: 1013 unidades

A eficiência real foi obtida a partir do histórico de dados registrados pela linha de produção no sistema MRP utilizado pela empresa. A eficiência de 75% reduz a capacidade teórica de 566 para 424 unidades em um turno de trabalho, indicando que um quarto da capacidade potencial não é utilizado devido a ineficiências.

A capacidade instalada era de dois turnos; logo, não seria possível atender à demanda futura. Isso explicava os atrasos e a necessidade constante de horas extras para atender à demanda. A equipe entendeu que seria necessário investigar as causas da eficiência reduzida e implementar melhorias nos processos de soldagem para atender à demanda sem a necessidade de um turno adicional.

Essa análise foi fundamental para orientar as ações de melhoria e a otimização do processo. O processo de solda foi identificado como a principal restrição por vários motivos. Primeiramente, o tempo de ciclo da soldagem era significativamente maior em comparação com outras etapas do fluxo produtivo. Isso criava um gargalo que influenciava diretamente a capacidade de produção do sistema, tornando-o incapaz de atender à demanda de forma eficiente. A Figura 30 mostra a análise realizada.

Figura 30 – Análise da restrição do fluxo.



Fonte: Elaborada pela equipe do projeto.

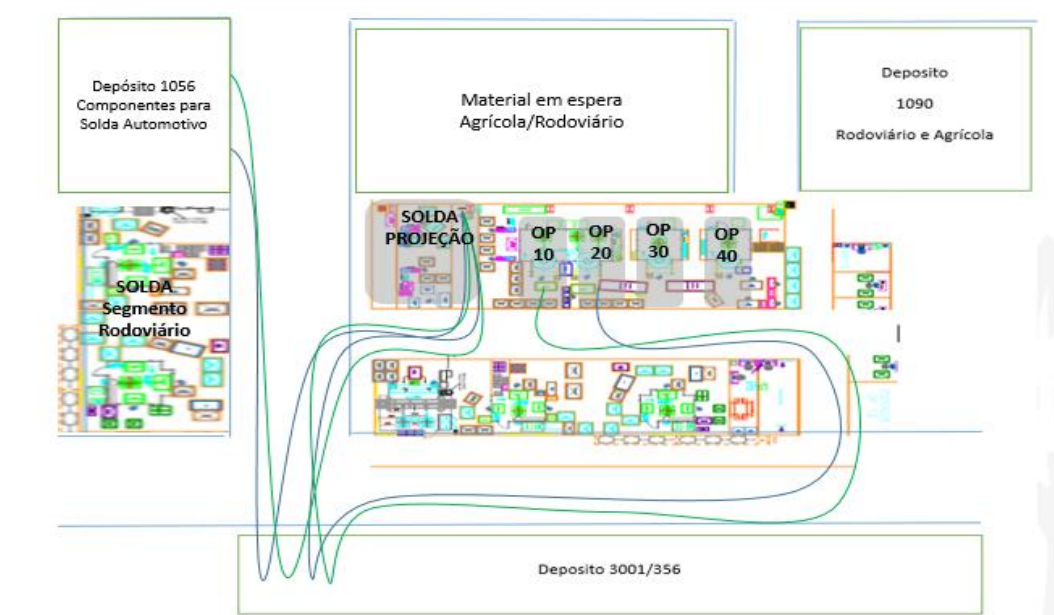
Adicionalmente, a equipe observou que a gestão dos componentes entre o supermercado de peças e a área de solda apresentava diversas oportunidades de melhoria. Essa análise revelou que o fluxo de movimentação dos componentes não era otimizado, resultando em desperdícios significativos que impactavam o ótimo global do sistema produtivo.

Uma das principais questões identificadas foi a falta de padronização nos fluxos de movimentação. A ausência de um processo claro e definido para a transferência de componentes entre o supermercado e a solda gerava confusão e ineficiência. Os operadores frequentemente se viam obrigados a improvisar, o que levava a movimentações desnecessárias, retrabalhos e, conseqüentemente, atrasos na produção. Essa falta de clareza não prejudicava apenas a produtividade, mas também aumentava o risco de erros, como a entrega de componentes errados ou em quantidades inadequadas.

Além disso, a localização do supermercado de peças foi considerada um fator crítico. A distância entre o supermercado e a área de solda dificultava o acesso rápido aos componentes necessários, resultando em tempos de espera prolongados. Esses atrasos não só afetam a eficiência da solda, mas comprometem o fluxo do sistema de produção, uma vez que a linha de montagem depende da disponibilidade contínua de peças para manter sua operação.

Outro aspecto que contribuía para a ineficiência era a ausência de rotinas e a falta de padronização na gestão dos lotes de componentes. Sem um sistema estruturado que definisse quantidades mínimas e máximas, além de um controle eficiente de inventário, o supermercado de peças frequentemente enfrentava a escassez de itens essenciais. A Figura 31 ilustra as movimentações realizadas para transportar os componentes do supermercado até as operações de solda.

Figura 31 - Fluxo dos componentes na área de solda.



Fonte: Elaborada pela equipe.

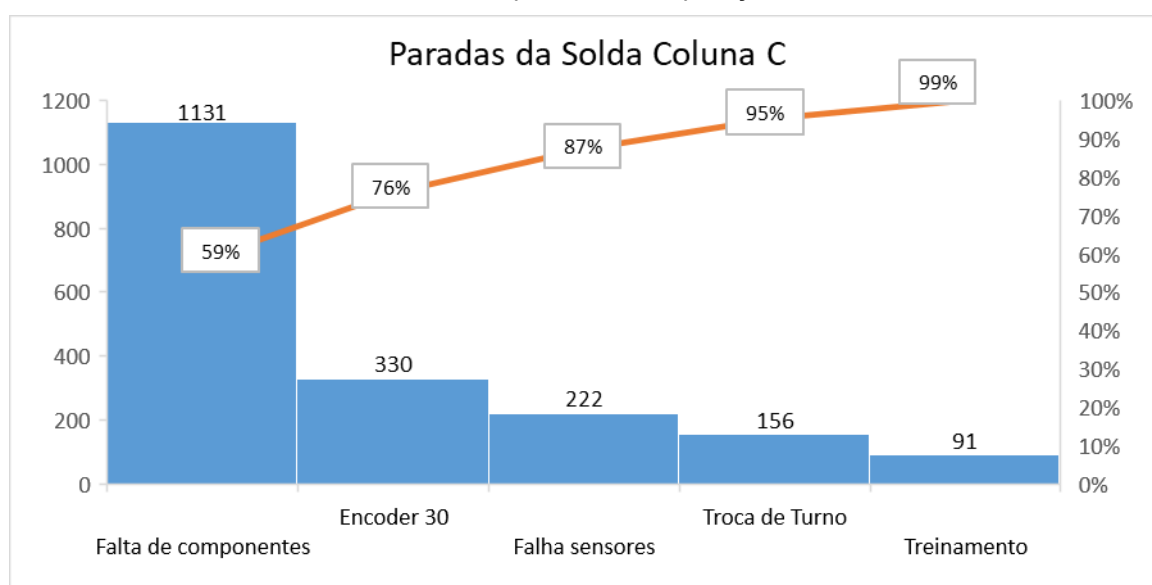
O processo de solda foi identificado como a principal restrição por vários motivos. Primeiramente, o tempo de ciclo da soldagem era significativamente maior em comparação com outras etapas do processo. Isso criava uma restrição no sistema produtivo, que influenciava diretamente a capacidade de produção global, tornando-o incapaz de atender à demanda de forma eficiente.

Além disso, a solda exigia um alto nível de habilidade e precisão, o que podia levar a retrabalhos e refugos se não fosse executada corretamente. A falta de sincronismo nos níveis de estoque de componentes críticos para a soldagem também contribuía para interrupções frequentes e atrasos no processo, impactando a produtividade e a qualidade dos produtos finais.

Diante dessas constatações, a equipe reconheceu a importância de priorizar a otimização do processo de solda para maximizar a capacidade de produção, reduzir os desperdícios, garantir a qualidade e a pontualidade de entrega dos produtos finais.

Ao analisar as causas das perdas de eficiência no processo de solda, a equipe identificou que as máquinas de solda estavam sendo subutilizadas devido a paradas frequentes por falta de componentes, o que aumentava o tempo de inatividade e reduzia a eficiência global do processo. Diante dessas constatações, a equipe reconheceu a importância de priorizar a otimização do processo de solda para maximizar a capacidade de produção. Adicionalmente, com base nos registros operacionais da linha de solda, a equipe desenvolveu um gráfico para identificar as causas de indisponibilidade das operações de solda, apresentadas no Gráfico 04.

Gráfico 04 – Causas de paradas nas operações de solda.



Fonte: Elaborada pela equipe.

A análise da linha de solda revelou que a principal causa das paradas é a falta de componentes provenientes do processo de estamparia. Essa interrupção compromete não apenas a eficiência da linha, mas também gera desperdícios devido a movimentações desnecessárias.

Para melhor compreender a falta de componentes na área de solda, a equipe decidiu realizar um inventário dos componentes estampados do produto Coluna C. Com base nos saldos contabilizados e na demanda prevista para cada componente, foi possível determinar o tempo em dias em que a solda estaria protegida com o

abastecimento de componentes. O Quadro 12 apresenta os resultados de dias de cobertura da solda em relação ao abastecimento de componentes.

Quadro 12 – Inventário dos componentes.

Código do Componente	Saldo no Supermercado	Saldo de compoenetes na Linha de solda	Saldo Total do Componente	Demanda Diária	Dias de Cobertura
26240441C	14100	1706	15806	940	16,8
26240444C	31020	751	31771	940	33,8
26240445C	1880	17	1897	940	2,0
26240446C	5640	881	6521	940	6,9
26240447C	2820	659	3479	940	3,7
26240448C	0	771	771	940	0,8
26240449C	7520	14	7534	940	8,0
26240453C	5640	3302	8942	940	9,5
26287815C	16920	1205	18125	940	19,3
26312740C	19740	2349	22089	940	23,5
26312741C	3760	512	4272	940	4,5

Fonte: Elaborado pelo autor.

Com base nos dados coletados, evidenciou-se que alguns componentes apresentavam um saldo elevado quando convertidos em dias de cobertura da linha de solda. Por outro lado, observou-se que outros componentes possuíam saldos de cobertura muito baixos, de apenas um dia ou até mesmo inferiores a um dia de produção na solda. Ou seja, há diversos problemas relacionados à grande variação nos dias de cobertura.

Adicionalmente, o supermercado de componentes, que estava sob a gestão da logística, tinha uma atuação limitada a funções meramente operacionais, como movimentações e inventários. Isso resultava na falta de participação ativa da equipe logística no fluxo de componentes, especialmente no abastecimento da área de solda. A ausência de uma comunicação fluida e eficaz entre as equipes de logística e produção dificultava a identificação de problemas antes que se tornassem críticos. Ou seja, em caso de atraso na entrega de componentes, a área de solda poderia ser impactada sem que a logística estivesse ciente da gravidade da situação. Essa falta de alinhamento não apenas prejudicava a operação da solda, mas também afetava todo o sistema produtivo.

Outro ponto importante a ser considerado é que, ao não participar ativamente do fluxo produtivo, a logística perdia a oportunidade de otimizar seus processos com base nas necessidades reais da demanda. Em vez de apenas reagir às solicitações,

o supermercado de componentes poderia contribuir de forma mais estratégica, ajustando sua operação para antecipar as necessidades da solda e, assim, melhorar a eficiência do sistema como um todo.

A síntese das questões associadas à área de solda e do supermercado de componentes estão apresentadas a seguir:

- a) a solda, na condição de eficiência atual, não teria capacidade para atender à demanda;
- b) ocorriam perdas de eficiência nas operações de solda em função das interrupções ocasionadas pela falta de componentes estampados;
- c) as rotinas de gestão do supermercado não estavam estruturadas para proteger as operações de solda em casos de falta de componentes;
- d) as perdas por movimentações desnecessárias apontam para deficiências na atual disposição do *layout*;
- e) reduzir os tempos de ciclo da solda não seria possível sem a aquisição de novos robôs de solda. Porém, isto era economicamente inviável no momento. Ainda, a compra de novas máquinas é desnecessária, tendo em vista que uma melhoria no abastecimento de componentes da solda poderia elevar a eficiência do processo e atender perfeitamente à demanda sem a necessidade de realizar novos investimentos.

Os problemas observados no âmbito do supermercado incluíam:

- a) excesso de estoque de alguns componentes: algumas peças produzidas na estamparia eram fabricadas em excesso, gerando elevados estoques em processo (*Work In Progress – WIP*), que ocupavam espaço e não eram imediatamente necessários da ótica da demanda da linha de solda;
- b) baixos níveis de cobertura de outros componentes: por outro lado, alguns componentes críticos para a solda apresentavam níveis de cobertura muito baixos, ou seja, não havia estoque suficiente para sustentar a produção em andamento, resultando em significativas paradas nas operações de solda.

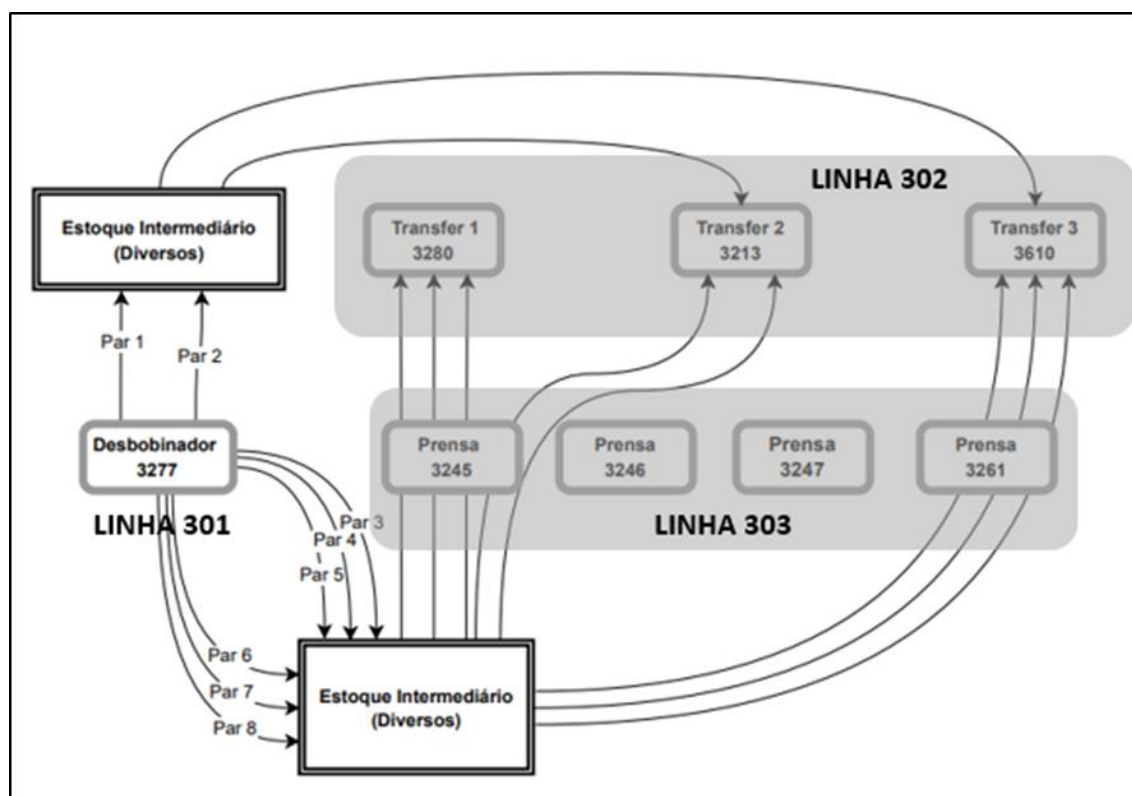
Após a análise e levantamento das questões relacionadas à área de solda, a equipe deu início à etapa de análise do mapa do fluxo de valor da área de fabricação de componentes a estamparia. É importante observar que a área de estamparia da Unidade Automotiva já havia sido alvo de iniciativas voltadas à implementação de métodos, técnicas e ferramentas de melhoria contínua, a saber: Troca Rápida de

Ferramentas (TRF), *Preset* e Gestão do Posto de Trabalho (GPT). Estas iniciativas faziam parte de um plano organizacional amplo e que tinha como objetivo a redução dos tempos de preparação/*setup* e a maximização da eficiência nas operações de manufatura. Com essas implementações em curso, a equipe decidiu concentrar os esforços na análise da Função Processo, com foco especial no fluxo dos materiais entre as operações.

Inicialmente, a equipe buscou compreender melhor como era realizada a programação da produção, ou seja, a liberação das ordens de produção para as operações iniciais da fabricação dos componentes. Identificou-se que essa liberação era baseada exclusivamente na demanda e que as datas previstas para a finalização das ordens de produção consideravam um *lead time* teórico, que não refletia a realidade. Nesse contexto, é importante destacar que, ao contrário da área de solda, dedicada exclusivamente à produção do produto Coluna C, a estamparia era uma área compartilhada. Ou seja, as prensas da estamparia da Unidade Automotiva também produziam componentes destinados à fabricação de diversos produtos para outras Unidades de Negócio da empresa.

Considerando que o tempo de produção nas operações dos desbobinadores que abastecem os componentes para as diversas Unidades de Negócio é significativamente mais rápido do que nas operações subsequentes das prensas excêntricas e das prensas *transfers*, a equipe identificou um elevado volume de componentes, ou seja, um alto estoque em processo, entre os desbobinadores e as prensas. A Figura 32 apresenta, de forma esquemática, o fluxo dos componentes e a existência de estoques intermediários entre as operações dos desbobinadores e as operações subsequentes das prensas *transfers* e excêntricas na estamparia.

Figura 32 – Fluxo dos componentes na estamparia.



Fonte: Elaborada pela equipe.

Ao se representar graficamente o fluxo dos componentes na estamparia, foi possível identificar que a produção estava distribuída em três linhas distintas: Linha 301, Linha 302 e Linha 303. Essas linhas de produção eram interligadas por dois estoques intermediários, onde havia volumes elevados de materiais aguardando processamento.

Esse acúmulo de componentes entre as operações fazia com que a produção, especificamente nas prensas *transfers*, fosse sequenciada com o intuito de reduzir o número de *setups*, priorizando o aumento da eficiência local na operação. Isso deixa claro que a gestão era orientada para buscar o ótimo local, em detrimento do ótimo global do sistema produtivo. A equipe tratou esse comportamento como resultado de um conjunto de causas que ocasionavam o desbalanceamento e, em alguns casos, a ruptura no abastecimento de componentes para a área de solda.

Esse mapeamento detalhado do processo proporcionou uma visão mais clara das interações entre as linhas e destacou os pontos críticos onde a sincronia entre as operações poderia ser aprimorada para evitar atrasos e maximizar a eficiência geral

do sistema produtivo. A síntese das questões associadas à área de estamparia está apresentada a seguir:

- a) a programação da produção era “empurrada”, ou seja, o fluxo físico está no mesmo sentido do fluxo de informação;
- b) observou-se um excesso de componentes e elevados tempos de espera entre as operações;
- c) com o objetivo de maximizar a eficiência da operação, era feita a priorização do ótimo local. Dessa forma, a produção dos componentes na estamparia não observava a prioridade real para abastecer o supermercado de componentes e, conseqüentemente, havia um comprometimento do abastecimento de componentes na solda.

A produção dos componentes era distribuída em várias prensas diferentes na estamparia. Ou seja, não era observada a focalização dos grupos de componentes em prensas distintas.

5.2.8 Elaborar o mapa do Estado Futuro – Etapa 8

Ao analisar criticamente o mapa de fluxo de valor do estado atual, a equipe sintetizou uma série de dificuldades nas áreas de solda, supermercado, gestão de componentes e estamparia. Essas descobertas foram correlacionadas para compor uma lista abrangente, na qual cada problema identificado foi transformado em uma oportunidade de melhoria. Essas oportunidades, por sua vez, serviram como base sólida para a elaboração da proposta do estado futuro. Os pontos considerados podem ser visualizados a seguir:

- a) readequação do *layout* do supermercado: alterar a localização física do supermercado de componentes, a fim de reduzir as distâncias percorridas e, portanto, o conjunto das movimentações desnecessárias;
- b) padronização do fluxo físico na estamparia: é possível eliminar um dos dois estoques intermediários de materiais em espera de processamento na estamparia, visando a redução das perdas por movimentações e inventários. A ideia proposta consistiu em focalizar a produção dos componentes do produto Coluna C no menor número possível de máquinas dentro da estamparia;

- c) implementar o método Tambor/Pulmão/Corda (TPC): dimensionar os níveis de estoques de componentes no supermercado (pulmão) e definir os pontos de reposição e dimensionamento dos lotes de fabricação;
- d) gerenciar o pulmão com o uso do *Kanban* eletrônico: implementar o modelo de programação "puxada", por meio da implantação inicial do método Tambor/Pulmão/Corda e, posteriormente, evoluir para o *Kanban* eletrônico, a fim de garantir que os componentes necessários estejam disponíveis na linha de solda de forma rápida, contínua, na quantidade e no tempo certos;
- e) fluxo físico de abastecimento entre o supermercado e a solda: desenvolver um equipamento de movimentação de componentes entre o supermercado e a solda, para garantir que o abastecimento dos componentes ocorra com quantidades iguais de cada item, suficientes para abastecer a solda por um tempo determinado, evitando sobras de componentes na linha de solda até que seja realizado um novo abastecimento;
- f) rotinas da gestão: melhorar a integração entre as áreas de solda, supermercado e estamparia por meio da implantação de uma rotina de comunicação entre os membros das diferentes equipes, com o intuito de prever e evitar a faltas de componentes.

5.2.9 Implantação do Estado Futuro – Etapa 9

As propostas de melhorias foram desdobradas em ações pela equipe de implantação do projeto. Em seguida, foi elaborado um Plano de Ação (PA) para a implantação do estado futuro - Quadro 13.

Quadro 13 - Plano de ação Estado Futuro.

Núm.	AÇÃO
1	Abertura de Carta de Investimentos
2	Elaboração e validação do Ponto de Ressuprimento
3	Ajuste dos Lotes
4	Aquisição dos Sensores de Chapa Dupla
5	Instalação dos Sensores de Chapa Dupla
6	Programação dos itens na Transfer 1
7	Try-out dos itens alterados
8	Demarcação de espaço (FIFO) de itens da Transfer 1
9	Alteração do Mercado (1056)
10	Instalação de rede (T.I.)
11	Realocação de Embalagens
12	Finalização do Layout e Infra da Solda (S356)
13	Alteração de Layout (Projeção)
14	Demarcação de corredor (carrinhos)
15	Projeto Carrinhos
16	Protótipo Carrinho e Arara
17	Fabricação carro de componentes para operação 20 e 30
18	Fabricação carro de componentes para operação 10
19	Demarcação de posicionamento de carrinhos e araras
20	Treinamento e Capacitação da Gestao do supermercado
21	Treinamento e Capacitação de Operadores da S356

Fonte: Elaborado pela equipe.

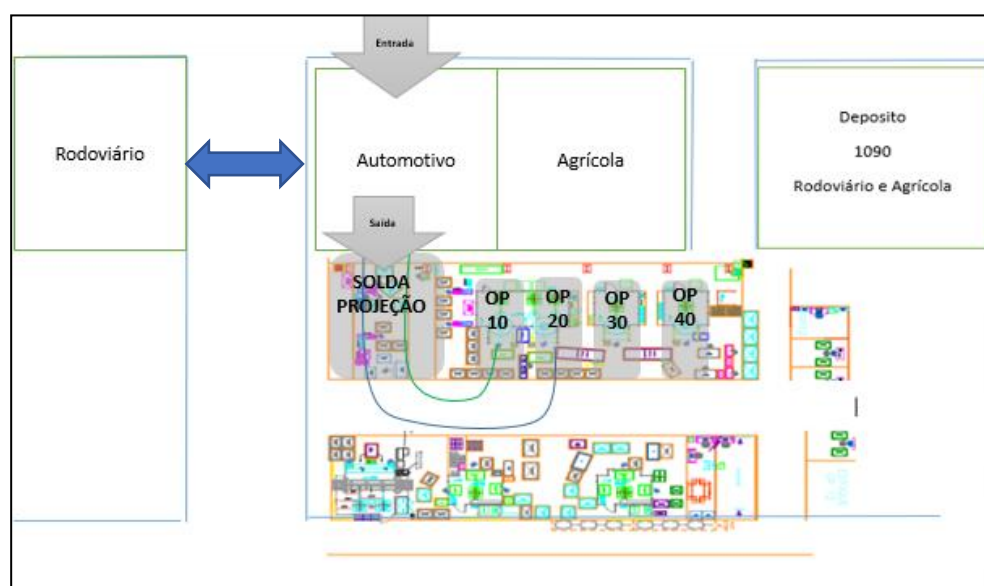
A implantação do estado futuro foi cuidadosamente planejada pela equipe após uma análise detalhada do estado atual do fluxo de valor. A elaboração do Plano de Ação seguiu uma abordagem estruturada, com o objetivo de elevar a pontualidade das entregas, reduzir os estoques intermediários e aprimorar a produtividade da área de soldagem, identificada como a principal restrição do sistema produtivo. A equipe baseou-se em métodos e ferramentas, especialmente nas de programação/Teoria das Restrições (Tambor-Pulmão-Corda - TPC) e no Sistema Toyota de Produção/*Lean* (*Kanban*), para organizar cada etapa das ações implementadas.

A seguir, será apresentada uma descrição sucinta da implementação das principais ações no sistema produtivo.

5.2.9.1 Readequação do *layout* do supermercado

A proposta de alteração do *layout*/localização física do supermercado de componentes para a solda consistia em uma mudança que envolvia simplesmente a troca de posição entre o supermercado de solda da Unidade Automotiva e o supermercado de peças da Unidade Rodoviária. Essa proposta era viável, pois não impactaria negativamente no fluxo de produção da Unidade Rodoviária. A Figura 33 apresenta a proposta de alteração do supermercado de componentes da Unidade Automotiva, que passaria a ser localizado ao lado da área de solda do produto Coluna C.

Figura 33 – Proposta de novo local para o supermercado da Unidade Automotiva.



Fonte: Elaborada pela equipe.

Com a mudança da localização física do supermercado “pulmão”, a distância entre o supermercado e a área de solda foi significativamente reduzida, minimizando assim as perdas por movimentação e proporcionando uma maior integração entre as áreas de solda e o supermercado.

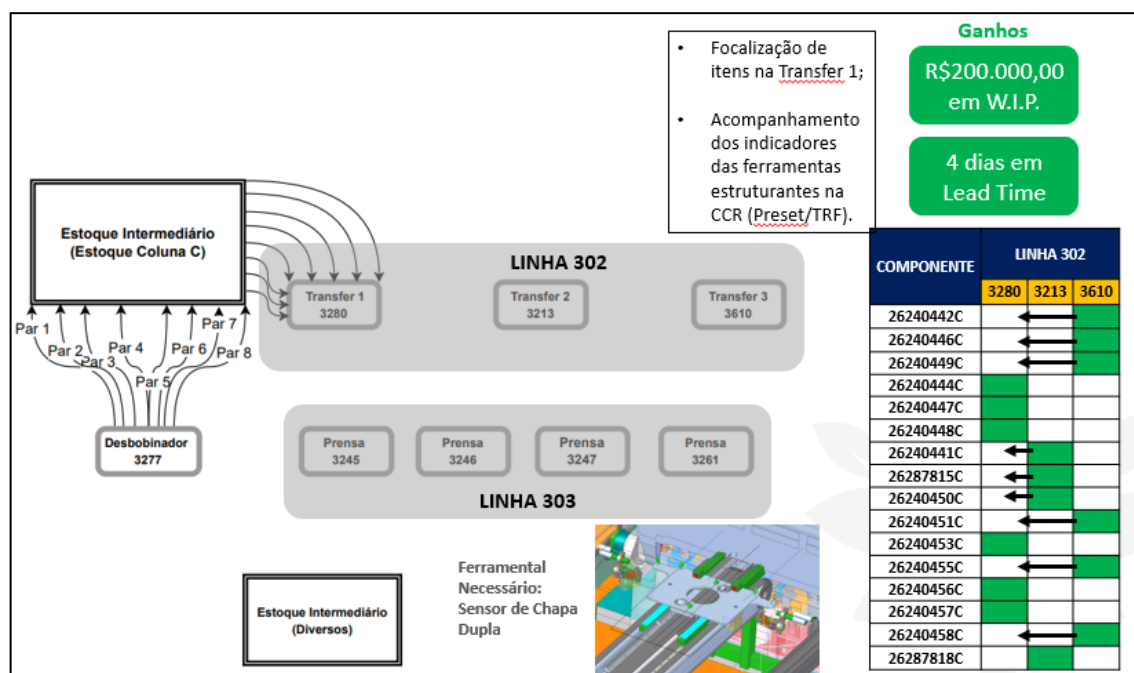
5.2.9.2 Padronização do fluxo físico na Estamparia

A proximidade física entre o *Transfer 1* e o desbobinador contribuiria para a redução dos tempos de transporte interno e tempos de espera entre processos.

A equipe desenvolveu uma representação gráfica descrevendo em detalhes as alterações necessárias para viabilizar a operação de estampagem dos componentes

em apenas um *Transfer*. Adicionalmente, a representação gráfica contém os objetivos quantitativos e econômico-financeiros, que foram projetados pela equipe levando em consideração a redução do WIP e do *lead time* do produto Coluna C (Figura 34).

Figura 34 – Estado futuro do fluxo produtivo da estamparia.



Fonte: Elaborada pela equipe.

Com uma alteração simples no sistema de abastecimento, seria possível produzir todos os componentes da Coluna C no *Transfer 1* (Máquina 3280). Para balancear a demanda, a produção de alguns componentes que não eram aplicados no produto Coluna C, e que estavam sendo produzidos no *Transfer 1*, foi transferida para os *Transfers 2* (Máquina 3213) e 3 (Máquina 3610), mantendo ainda a possibilidade de flexibilidade entre as máquinas para eventuais necessidades derivadas da alteração da demanda de produção. O essencial aqui é destacar a simplificação dos fluxos produtivos dos componentes da Coluna C em função da adoção dessa nova lógica de focalização das máquinas.

5.2.9.3 Implantação do Tambor/Pulmão/Corda (TPC)

Inicialmente, a equipe desenvolveu um estudo para definir os lotes de produção de cada componente e os pontos de reposição dos componentes dentro do pulmão. O Quadro 14 apresenta a configuração dos lotes de produção, os requisitos

considerados no dimensionamento do *buffer* e os dias de cobertura projetados para proteger a produção da solda.

Quadro 14: Critérios de dimensionamento de lotes de produção dos componentes.

Material estampado	Múltiplo por embalagem	Embalagens necessária	Preço-padrão	MP	Peso médio Bobina	Peso unitário	Lote múltiplo Bobina	Demanda diária EDI	Lote estampado (Mínimo)	Cobertura em dias
26312741C	600	18	R\$ 10,19	1006530	4939	1,414	3493	490	5400	11,0
26312748C	600	18	R\$ 10,19	1006530	4939	1,414	3493	490	5400	11,0
26240445C	4000	3	R\$ 1,67	120381	11330	0,18	62944	490	4000	8,2
26240454C	4000	3	R\$ 1,67	120381	11330	0,18	62944	490	4000	8,2
26240441C	800	14	R\$ 3,18	120390	4698	0,464	10125	490	5600	11,4
26240450C	800	14	R\$ 3,18	120390	4698	0,464	10125	490	5600	11,4
26240442C	1000	10	R\$ 4,65	120380	5850	0,721	8114	490	5000	10,2
26240451C	1000	10	R\$ 4,65	120380	5850	0,721	8114	490	5000	10,2
26240444C	1500	8	R\$ 2,72	126408	9934	0,38	26142	490	6000	12,2
26240453C	1500	8	R\$ 5,04	126408	9934	0,739	13442	490	6000	12,2
26240446C	1800	6	R\$ 4,66	120384	6550	0,512	12793	490	5400	11,0
26240455C	1800	6	R\$ 4,66	120384	6550	0,512	12793	490	5400	11,0
26240447C	5500	2	R\$ 1,54	126406	11258	0,203	55458	490	5500	11,2
26240456C	5500	2	R\$ 1,54	126406	11258	0,203	55458	490	5500	11,2
26240448C	450	24	R\$ 9,91	120382	3755	1,371	2739	490	5400	11,0
26240457C	450	24	R\$ 9,91	120382	3755	1,371	2739	490	5400	11,0
26240449C	2000	6	R\$ 3,83	120389	5647	0,52	10860	490	6000	12,2
26240458C	2000	6	R\$ 3,83	120389	5647	0,52	10860	490	6000	12,2
26287815C	800	13,5	R\$ 4,96	126406	11258	0,727	15486	490	5400	11,0
26287818C	800	13,5	R\$ 4,96	126406	11258	0,727	15486	490	5400	11,0

Fonte: Elaborado pela equipe.

A partir do dimensionamento dos lotes de produção de cada componente e da definição dos *buffers* de tempo de proteção da solda, a equipe desenvolveu uma planilha para ser utilizada como um controle paralelo ao sistema MRP. O objetivo foi desvincular a abertura de ordens de produção da demanda prevista, permitindo a liberação das ordens somente quando o estoque de cada componente atingisse o nível mínimo de cobertura previamente definido, correspondente a três dias de operação da solda. A planilha é apresentada na Figura 33.

Figura 35 – Representação da Planilha de Ressuprimento.

FLUXO	CÓD. ITEM	ITENS DESC. ITEM	LINHA	DEPÓSITO	ESTOQUE ORDENS LIBERAD	TOTAL	AÇÃO
Coluna C	26240446C	Reforço Esq.	E302	1056	0	3496	3. OK
Coluna C	26240442C	Reforço Esq.	E302	1056	400	4410	1. FOLLOW-UP
Coluna C	26240441C	Reforço Esq.	E302	1056	0	5006	3. OK
Coluna C	26240444C	Reforço Esq.	E302	1056	162	998	0. LIBERAR ORDENS
Coluna C	26240448C	Reforço Esq.	E303	1056	3679	6012	0. LIBERAR ORDENS
Coluna C	26240445C	Reforço Esq.	E303	1056	3013	5753	1. FOLLOW-UP
Coluna C	26240447C	Reforço Esq.	E302	1056	0	5619	3. OK
Coluna C	26240449C	Reforço Esq.	E302	1056	4400	7354	1. FOLLOW-UP
Coluna C	26287815C	Reforço Esq.	E302	1056	247	2778	0. LIBERAR ORDENS
Coluna C	26312748C	Lateral Esq.	E303	1056	3600	5628	1. FOLLOW-UP
Coluna C	26240457C	Reforço Dir.	E303	1056	3431	5573	0. LIBERAR ORDENS
Coluna C	26240454C	Reforço Dir.	E303	1056	3013	6745	1. FOLLOW-UP
Coluna C	26287818C	Reforço Dir.	E302	1056	247	3678	1. FOLLOW-UP
Coluna C	26240458C	Reforço Dir.	E302	1056	4400	5142	1. FOLLOW-UP
Coluna C	26240456C	Reforço Dir.	E302	1056	0	6068	3. OK
Coluna C	26312741C	Lateral Dir.	E303	1056	4351	5078	1. FOLLOW-UP
Coluna C	26240451C	Reforço Dir.	E302	1056	400	5043	1. FOLLOW-UP
Coluna C	26240450C	Reforço Dir.	E302	1056	0	7220	3. OK
Coluna C	26240453C	Reforço Dir.	E302	1056	162	2544	0. LIBERAR ORDENS
Coluna C	26240455C	Reforço Dir.	E302	1056	0	4071	3. OK

Fonte: Arquivo interno da empresa.

Os dados contidos na planilha são cruciais para a análise e liberação de ordens de produção de componentes, com base nos limites de estoque estabelecidos para cada item. Cada linha na tabela reflete a situação de um componente diferente, incluindo detalhes como códigos, descrições, quantidades em estoque e ações recomendadas. A estrutura organizada na planilha permitiu que a equipe identificasse rapidamente, e com precisão, quais itens estão abaixo do nível desejado e, consequentemente, necessitam de reposição.

Adicionalmente, a utilização de controles indicativos, como “liberar ordens” e “ok”, fornece uma visualização clara do *status* de cada item, facilitando a tomada de decisão. Assim, a planilha não apenas rastreia os níveis de estoque, mas atua como um mecanismo de controle que garante que os recursos sejam utilizados de forma otimizada, evitando excessos ou faltas que possam comprometer o abastecimento da restrição do sistema produtivo.

A planilha foi elaborada pela equipe do projeto com o objetivo de atuar com base no elemento lógico “corda”. Dessa forma, sua atualização diária servia como indicativo para a “puxada” dos componentes para o supermercado “pulmão”, garantindo um melhor abastecimento da solda, que representa o “tambor” do sistema produtivo.

5.2.9.4 Gerenciar o pulmão com o uso do *Kanban* eletrônico

A equipe estabeleceu um plano para gerenciar o controle de estoques manualmente por um período inicial de três meses. Durante esse tempo, a utilização da planilha permitiu uma identificação detalhada das necessidades e fluxos dos itens, fornecendo uma base sólida de dados para análise.

Após esse período de teste, foi implementado um controle mais automatizado por meio do sistema ERP da empresa, especificamente utilizando o SAP. A transição para um sistema de *Kanban* eletrônico representou um avanço significativo na gestão dos estoques da UEN, permitindo uma resposta mais ágil e precisa em relação às constantes variações de demanda.

A implantação do método de programação “puxada” foi realizada aproximadamente dois meses depois que o controle manual estava sendo usado. Este período foi utilizado como uma fase de testes, onde foram realizados ajustes nos tamanhos dos lotes, parâmetros de *lead time* e pontos de reabastecimento. Após o controle manual apresentar uma significativa estabilidade, o próximo passo foi sistematizar os controles manuais e implantar o *Kanban* eletrônico (Figura 36).

Figura 36 – Representação do módulo *Kanban* no ERP.

1140	26240450C	Linha 356 – Depósito 1056	6.040	PC		274	2	5	CHEIO				6.040
		Linha 356 – Depósito 1056	6.040	PC		273	1	6	USO			3575538	1.283
1141	26240447C	Linha 356 – Depósito 1056	6.040	PC		275	1	5	CHEIO	06.12.2022		3575548	6.021
		Linha 356 – Depósito 1056	6.040	PC		276	2	6	USO	24.11.2022		3538313	197
1142	26240448C	Linha 356 – Depósito 1056	6.040	PC		277	1	2	VAZIO	29.11.2022		3591459	0
		Linha 356 – Depósito 1056	6.040	PC		278	2	6	USO	07.12.2022		3586647	2.466
1143	26240451C	Linha 356 – Depósito 1056	6.040	PC		280	2	5	CHEIO	26.11.2022		3547245	6.038
		Linha 356 – Depósito 1056	6.040	PC		279	1	6	USO	24.11.2022		3529306	964
1144	26240453C	Linha 356 – Depósito 1056	6.040	PC		281	1		USO	07.12.2022		3452969	2.181
		Linha 356 – Depósito 1056	6.040	PC		282	2		USO			3557795	2.181
1145	26240449C	Linha 356 – Depósito 1056	6.040	PC		284	2	5	CHEIO	06.12.2022		3593364	522
		Linha 356 – Depósito 1056	6.040	PC		283	1	6	USO	29.11.2022		3548909	3.045
1146	26240457C	Linha 356 – Depósito 1056	6.040	PC		285	1		USO	07.12.2022		3549387	3.500
		Linha 356 – Depósito 1056	6.040	PC		286	2		USO			3591508	57
1147	26240458C	Linha 356 – Depósito 1056	6.040	PC		288	2	5	CHEIO	06.12.2022		3593377	522
		Linha 356 – Depósito 1056	6.040	PC		287	1	6	USO	30.11.2022			3.604

Fonte: Arquivo interno da empresa.

O *Kanban* eletrônico permitiu que a equipe monitorasse os níveis de estoque em tempo real, automatizando a liberação de ordens e evitando os erros humanos que podem ocorrer no controle manual. A adoção deste método também assegurou

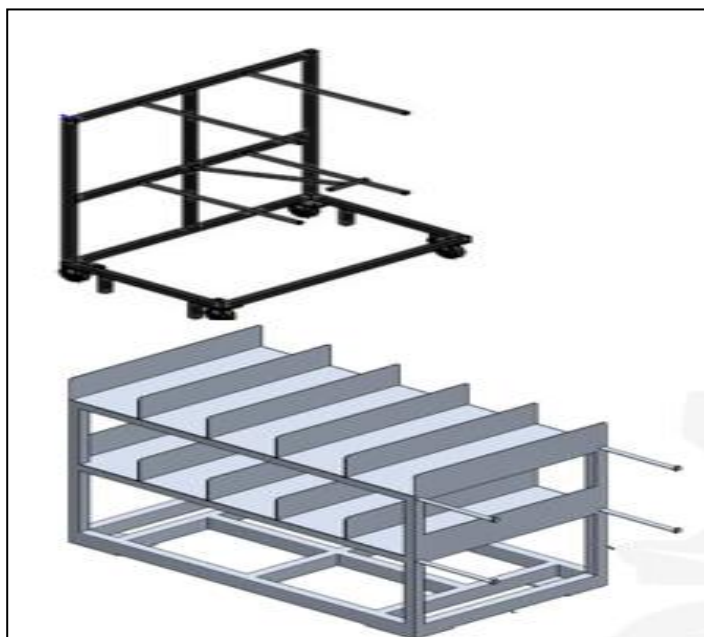
que os requisitos estabelecidos anteriormente, no que tange aos lotes de produção e pontos de reposição, sejam cumpridos com maior assertividade, contribuindo para uma gestão mais eficiente e alinhada às necessidades do fluxo produtivo.

Adicionalmente, a implantação do sistema *Kanban* eletrônico não apenas otimizou os processos logísticos, mas também aprimorou a visibilidade do fluxo de materiais, garantindo o reabastecimento adequado dos componentes no momento certo. Isso, por sua vez, contribuiu para a melhoria da eficiência operacional do sistema produtivo e a redução dos riscos de ruptura de estoque. A transição planejada para o *Kanban* eletrônico representou um avanço significativo na modernização e na eficácia da gestão de estoques da UEN.

5.2.9.5 Fluxo físico de abastecimento entre o supermercado e a solda

Com o objetivo de aprimorar o abastecimento do supermercado para a solda, uma das medidas propostas foi a formação de *kits* de componentes, que reúnem todos os itens necessários para cada operação da linha de solda. Esses *kits* são preparados antecipadamente e entregues conforme a demanda, garantindo a disponibilidade dos componentes no momento certo e eliminando a necessidade de busca individual dos itens. A Figura 37 apresenta o projeto e os modelos dos carros para o transporte dos *kits* do supermercado para a solda, projetados para atender ao *design* necessário, comportar os componentes adequadamente e facilitar a movimentação entre os fluxos.

Figura 37 – Representação do modelo do carro *kit*.



Fonte: Arquivo interno da Empresa.

Após a validação do projeto dos carros para os *kits*, estes foram fabricados. O novo conceito de "abastecimento de componentes" do supermercado para a solda foi testado, permitindo que os operadores avaliassem e sugerissem eventuais melhorias. A Figura 38 apresenta os carros em teste na linha de soldagem.

Figura 38 – Carros *kits* em testes na linha de solda.



Fonte: Arquivo interno da empresa.

Os colaboradores da solda sugeriram pequenas alterações nos carros *kits* para facilitar o manuseio na retirada das peças. Essas modificações não apenas tornaram a retirada das peças mais prática, mas também otimizaram a operação de abastecimento realizada pelos colaboradores do supermercado. As alterações foram implementadas com sucesso, e o novo fluxo de abastecimento com os carros *kits* foi efetivamente adotado.

Essa abordagem reduziu o tempo de preparação e a movimentação dos componentes do supermercado "pulmão" para as operações de solda, aprimorando a organização dos materiais e garantindo um fluxo de produção contínuo, enxuto e sem interrupções. É fundamental destacar que os elementos logísticos desempenham um papel essencial na melhoria da Função Processo, ou seja, na otimização dos fluxos nos sistemas produtivos, atuando em sinergia com as melhorias na lógica de programação da produção — neste caso, por meio da combinação do TPC (Tambor-Pulmão-Corda) e do *Kanban*.

5.2.9.6 Gestão e rotinas

Visando aprimorar a integração entre as áreas de solda, supermercado e estamparia, a equipe implementou uma rotina de reuniões diárias para garantir uma melhor comunicação entre as áreas de solda, supermercado, PCP da Unidade e Estamparia. A Figura 39 representa a condução de uma das reuniões descritas:

Figura 39 – Representação da reunião diária.



Fonte: Arquivo interno da empresa.

No momento da reunião, o principal assunto abordado era o nível de estoque dos componentes. Nesse contexto, os colaboradores do supermercado "pulmão" atualizavam diariamente as informações sobre os volumes de estoque, que serviam como base para a tomada de decisões e ações durante a reunião. Para padronizar e garantir maior precisão das informações, foi elaborado e implementado um quadro contendo os códigos dos componentes, os saldos de cada item em cada etapa e o *status* das novas ordens de produção. Com a análise diária desse quadro, tornou-se possível compará-lo com o sistema de *Kanban* eletrônico e, quando necessário, corrigir eventuais divergências nos saldos, assegurando maior precisão na programação da produção na área de estamparia. A Figura 40 apresenta o quadro implementado na sala de reuniões da Unidade Automotiva.

Figura 40 - Controle diário do fluxo dos componentes.

COBERTURA DOS ITENS - SOLDA										OBSERVAÇÕES
CONJUNTO	COBERTURA SOLDA	COMPONENTE	LINHAS DE PRODUÇÃO	DEMANDA	COBERTURA	DIAS DE COBERTURA - EM UNID.	MAT. PRIMA	DIAS DE COBERTURA - 100	DIAS DE COBERTURA - 200	
E380 - E34118 <i>FERRAS 24106</i>	<i>QF*</i>	191 Anilha	L1 (L228)	1920	0,3	4	1221CF30	17	4	<i>FERRAS CONS. VOLTA 25</i> <i>7200P; RETOR. L303, ENTRA EM P</i> <i>FERR. P5. 11107</i>
		192 Viti	L1 - L3 (1000-400)	960	0	10	120467	8	1	
		193 / 194 Auto-folha	L1 - L2	11	9	11	121921	9	11	
		195 / 196 Ass-100 W-15	L1 - L200	11	10	2	121190	9	10	
		197 / 198 Ref. Interim	L1 - L2 (75)	11	16	1	130549	0	0	
		199 / 110 A65	L1 (L228)	11	18	0	12084CF30	83	14	
		116 Grav	L1 (L228)	1920	18	9	121548CF30	0	0	
		342 Carter	L1 - L2 (75)	2000	4	6	120112	6	1	
		373 Baque	L1 - L200 - L3	1340	0	14	120061	13	0	
		371 E. Inferior 882	L1 - L3	11	23	0	120953	0	0	
CARTER	<i>QF*</i>	372 E. Inferior 883	L1 - L3	200	10	4		0	0	<i>EM PROD +3</i> <i>100 P; ESTAMP. FERR. CONS. RETOR. P</i>
		448 Coluna A	L1 - L2 (1000-1000-1000)	150	7	14	1004830	10	3	
		353 Ref. Motor	L1 - L2 (75)	11	20	0	1004804	15	22	
		354 Ref. Motor	L1 - L2 (75)	11	33	1	1004805	15	8	
COLUNA A - 894	<i>QF*</i>	355 Coluna A	L1 - L2 (1000-1000-1000)	150	0	15	1004830	10	3	<i>*EM PRODUÇÃO L3</i>
		356 Ref. Motor	L1 - L2 (75)	11	18	0	1004804	15	22	
		357 Ref. Motor	L1 - L2 (75)	11	23	0	1004805	15	8	
		441 / 442 Refurço	L1 - L2 (75)	500	13	0	120100	0	1	
COLUNA A - 895	<i>QF*</i>	443 / 444 Refurço	L1 - L2 (75)	500	9	16	120380	0	0	<i>PREV. M.P. - JHR 14:00 / QUALITY</i>
		445 / 446 Refurço	L1 - L2 (75)	11	12	18	120400	70	18	
		447 / 448 Refurço	L1 - L2 (75)	11	8	0	120381	12	3	
		449 / 450 Refurço	L1 - L2 (75)	11	12	0	120384	0	8	
		451 / 452 Refurço	L1 - L2 (75)	11	12	0	120400	12	1	
		453 / 454 Refurço	L1 - L2 (75)	11	0	0	120382	0	0	
		455 / 456 Refurço	L1 - L2 (75)	11	11	0	120380	44	8	
		457 / 458 Refurço	L1 - L2 (75)	11	13	0	120400	12	1	
		459 / 460 Refurço	L1 - L2 (75)	11	0	0	120400	14	0	
		461 / 462 Refurço	L1 - L2 (75)	11	0-3	0	120400	0	22	
CX. RODA 883	<i>QF*</i>	463 Cabo	L1 - L2 (75)	11	2	8	120400	0	24	<i>EM RET. 100 P; FERR. CONS. PREV.</i> <i>PREV. PROD. SEXTA L9</i> <i>PREV. PROD. QUINHA L3</i>
		464 Principal	L1 - L2 (75)	11	9	10	120400	8	6	
		465 Refurço	L1 - L2 (75)	720	4	13	120400	0	22	
		466 Cabo	L1 - L2 (75)	11	5	6	120400	0	24	
CX. RODA 888	<i>QF*</i>	467 Principal	L1 - L2 (75)	11	5	10	120400	8	6	<i>ENTRA HOJE EM PROD</i>
		468 Refurço	L1 - L2 (75)	500	15	1	120400	55	18	
		469 Refurço	L1 - L2 (75)	11	18	0	120387	0	16	
		470 Refurço	L1 - L2 (75)	500	4	9	120400	6	4	
TRAVESSA 821	<i>QF*</i>	471 Refurço	L1 - L2 (75)	11	10	8	120382	24	7	<i>ENTRA HOJE EM PROD</i>
		472 Refurço	L1 - L2 (75)	11	5	4				
		473 Refurço	L1 - L2 (75)	1000	0-5	0	120380	206	17	
		474 Refurço	L1 - L2 (75)	1200	4	13	1207003	0	14	
TRAVESSA 408	<i>QF*</i>	475 Refurço	L1 - L2 (75)	440	9	0	120379	13	10	<i>ENTRA HOJE EM PROD</i>
		476 Refurço	L1 - L2 (75)	11	3	20	120381	12	3	
		477 Refurço	L1 - L2 (75)	880	10	0	120400	14	28	
		478 Refurço	L1 - L2 (75)	440	4	0	120380	81	22	
TOMEL 812	<i>QF*</i>	479 Refurço	L1 - L2 (75)	1000	0-5	0	120380	206	17	<i>ENTRA HOJE EM PROD</i>
		480 Refurço	L1 - L2 (75)	1200	4	13	1207003	0	14	
		481 Refurço	L1 - L2 (75)	440	9	0	120379	13	10	
		482 Refurço	L1 - L2 (75)	11	3	20	120381	12	3	
EXTENSÃO 888	<i>QF*</i>	483 Refurço	L1 - L2 (75)	880	10	0	120400	14	28	<i>ENTRA HOJE EM PROD</i>
		484 Refurço	L1 - L2 (75)	440	4	0	120380	81	22	
		485 Refurço	L1 - L2 (75)	1000	0-5	0	120380	206	17	
		486 Refurço	L1 - L2 (75)	1200	4	13	1207003	0	14	

Fonte: Arquivo interno da Empresa.

A equipe considerou no quadro todos os componentes estampados da Unidade Automotiva, incluindo outras famílias de produtos fabricados pela UEN. Dessa forma, as ações começaram a ter um caráter preventivo, onde o sequenciamento da produção era realizado considerando como prioridade o componente com menor nível de cobertura do processo de solda. Isso aumentou a assertividade das prioridades da

área de estamperia e possibilitou a identificação antecipada de problemas, como a falta de matéria-prima e as manutenções corretivas.

5.2.10 Avaliar e monitorar resultados – Etapa 10

Na sequência, são abordados em detalhes os resultados obtidos. Inicialmente, é apresentada a definição dos indicadores adotados, basicamente associados à Função Processo do Mecanismo de Função Produção. A seguir, são apresentados e discutidos criticamente os resultados numéricos alcançados no período de análise.

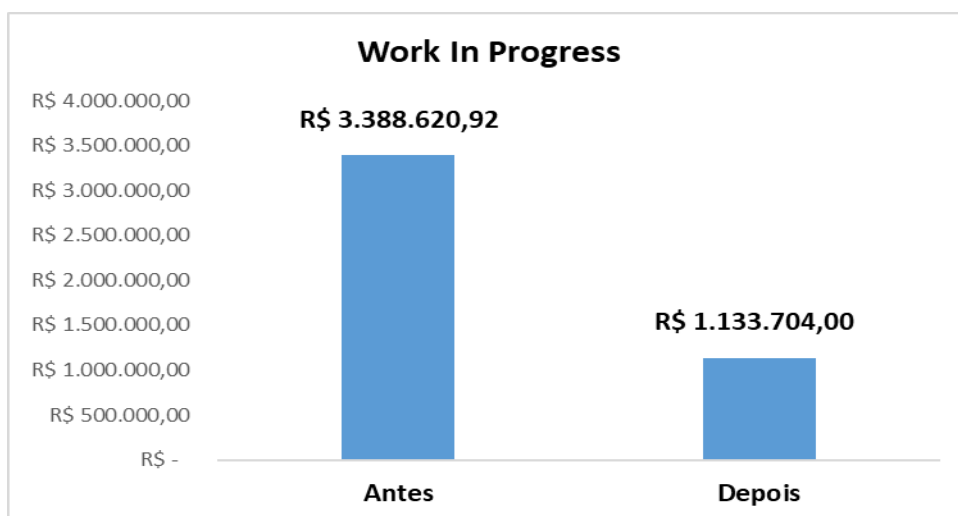
O período de implantação e acompanhamento dos resultados foi relativamente curto, abrangendo nove meses. Assim, a análise e discussão dos resultados/indicadores foram feitas levando em consideração este período de tempo. Antes de abordar a evolução dos resultados, é importante contextualizar as metas iniciais propostas na implantação do método. A lógica perseguida buscou aprimorar o desempenho do sistema produtivo, com o intuito de alavancar o desempenho econômico-financeiro da empresa, através da redução do tempo de atravessamento/*lead time* e do estoque em processo (WIP), visando melhorar a pontualidade da entrega. Portanto, a medição básica proposta para verificar a eficácia da implantação do método considerou estes três indicadores, diretamente ligados à Função Processo: i) pontualidade das entregas; ii) redução do WIP; iii) *lead time*.

Na sequência deste capítulo, será apresentada a evolução dos indicadores de WIP, *Lead Time*, Pontualidade de Entrega e Giro dos Estoques, relatando os acontecimentos e fatos que impactaram de forma significativa a melhoria desses indicadores.

5.2.11 A evolução do indicador de estoque em progresso (WIP) no período considerado

Para analisar a evolução do WIP, a métrica utilizada foi a financeira, ou seja, foi contabilizado no início do projeto o valor total dos componentes existentes ao longo de todo o fluxo da família de produtos no sistema produtivo. No Gráfico 05, é apresentado o valor do WIP, considerando o cenário antes e depois da implantação do método.

Gráfico 05 – Evolução do WIP no período de análise considerado.



Fonte: Arquivo interno da empresa.

A análise dos resultados apresentados no gráfico indica uma melhoria significativa no indicador de WIP. No início do processo, o WIP estava em R\$ 3.388.620,92, bem acima da meta estabelecida de R\$ 1.500.000,00. Após a implementação das melhorias, o valor atual do WIP foi reduzido para R\$ 1.133.704,00.

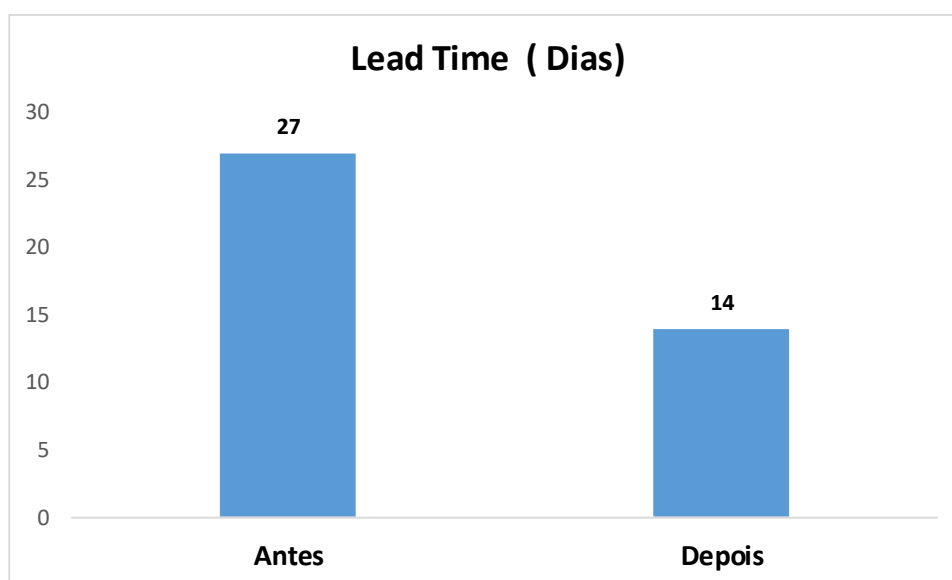
Essa redução representa uma diminuição de aproximadamente 66,5% em relação ao valor inicial, o que pode ser considerado um excelente resultado. Com um WIP mais baixo, a empresa provavelmente experimenta menores tempos de espera entre as etapas do processo, o que contribui para um *lead time* reduzido e uma operação mais ágil. Além disso, a redução do WIP abaixo da meta implica uma menor necessidade de capital de giro "empatado" em estoque intermediário. Isso libera, além dos custos financeiros envolvidos na operação, o espaço físico para futuras expansões na fábrica. Por outro lado, a eficácia das ações implementadas para reduzir o WIP tende a aproximar a empresa de um fluxo mais enxuto e eficiente.

Desta forma, existe uma melhoria em termos de desempenho econômico-financeiro da Unidade de Negócios. Finalmente, cabe destacar que os resultados alcançados estão diretamente relacionados ao aprimoramento da gestão de operações/produção, proporcionado pela implantação do método proposto.

5.2.12 A evolução do indicador de tempo de atravessamento/*lead time* no período considerado

A análise dos dados extraídos do sistema de apontamento de ordens da empresa revelou uma transformação significativa no fluxo produtivo da família de produtos analisados. Após a implantação do método proposto, houve uma redução do tempo de atravessamento/*lead time* de 27 dias para 14 dias - Gráfico 06.

Gráfico 06 – Evolução do *Lead Time* no período de análise considerado.



Fonte: Arquivo Interno da Empresa.

Este resultado não reflete apenas uma melhoria operacional na Função Processo, mas uma mudança estratégica na forma como a empresa gerencia suas operações de produção. O *lead time*, que representa o tempo total desde a abertura da ordem de produção até a entrega do produto final no estoque, é um dos principais indicadores que permite ligar a eficácia interna do sistema produtivo ao atendimento das necessidades do cliente. A diminuição drástica desse tempo pode ser atribuída a várias melhorias implementadas, sendo a principal delas a adoção do fluxo “puxado”, que se mostrou um fator crucial para otimizar o fluxo produtivo. Com a produção “puxada”, a estamparia e a solda passaram a operar de maneira significativamente sincronizada, garantindo que os componentes necessários fossem entregues na quantidade, momento e qualidade certos. Essa abordagem não só minimiza os tempos de espera, mas também maximiza a utilização dos recursos disponíveis.

Outro aspecto importante, que contribuiu para essa redução no *lead time*, foi a diminuição do WIP. Antes da implantação do “fluxo puxado”, as operações frequentemente lidavam com excessos de WIP, resultando em um aumento no tempo

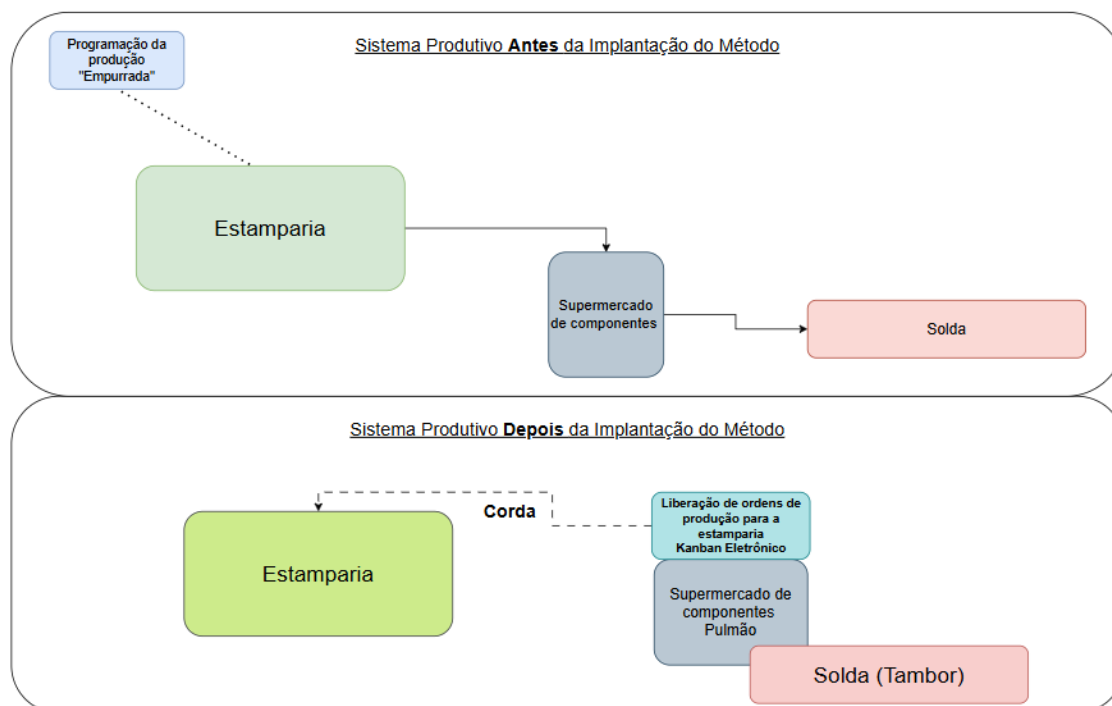
de movimentação e na complexidade do gerenciamento dos estoques dos componentes. Com a nova metodologia implantada, a produção está alinhada de forma mais precisa à demanda real, reduzindo a quantidade de materiais intermediários em circulação.

Adicionalmente, a entrega de componentes na quantidade exata e no momento certo para a solda é um reflexo direto da eficácia do controle *Kanban* implementado. Esse sistema funciona como um sinalizador para a produção de mais componentes na estamparia.

É importante analisar que a redução observada do *lead time* e do WIP levaram a um impacto positivo na satisfação do cliente. Com tempos de entrega mais curtos, a empresa pode atender às expectativas dos clientes de maneira mais eficaz.

Finalmente, a implantação de um sistema produtivo baseado nos conceitos de produção "puxada", uma abordagem específica utilizada como parte da implementação do método TPC, representou uma transformação significativa na gestão dos fluxos produtivos na empresa X. Antes da adoção desse método, a estamparia e a solda operavam de forma tradicional, com uma produção "empurrada", o que resultava em excessos de estoque e ineficiências. Com a implementação do método TPC – Tambor/Pulmão/Corda e, posteriormente, a adoção do *Kanban* eletrônico, as operações se tornaram mais dinâmicas e responsivas às demandas reais do mercado. A Figura 41 apresenta, de forma simplificada e esquemática, o sistema produtivo antes e depois da implantação do método.

Figura 41 – Sistema de produção antes e depois da implantação do método.



Fonte: Elaborada pelo autor.

No início da transição do sistema de produção, o método TPC serviu como o pilar central do novo modelo. O Tambor representava a capacidade máxima de produção do sistema produtivo, enquanto que a Corda atuava como um mecanismo de sincronização, "puxando" a produção de componentes na estamparia conforme a necessidade da solda. Essa abordagem inicial estabeleceu uma base sólida para a implementação de um fluxo de produção mais fluido, no qual as etapas do processo estão conectadas de forma mais eficiente. A aplicação do conceito TPC garantiu que a produção não excedesse a demanda, evitando o acúmulo de materiais que poderiam resultar em desperdícios e custos desnecessários.

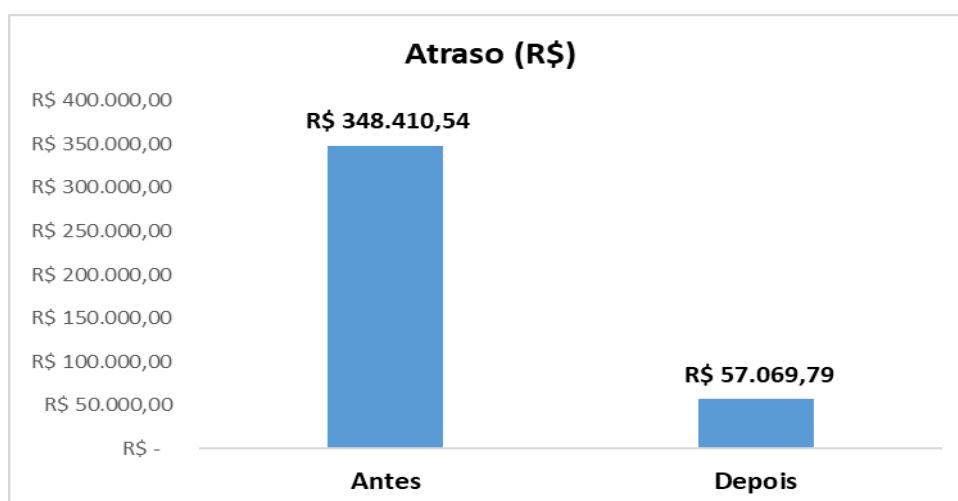
À medida que o sistema evoluiu, o *Kanban* eletrônico foi introduzido, substituindo a Corda por um método digital muito mais ágil de gerenciamento. O *Kanban* eletrônico passou a atuar como uma nova forma de operacionalização do elemento conceitual "Corda". A implantação desse sistema permitiu que o programador de produção na estamparia recebesse sinais em tempo real sobre a necessidade de fabricação de componentes. Esse método não apenas acelerou a comunicação entre as etapas do processo, como também aprimorou a precisão na previsão da demanda, possibilitando uma resposta mais rápida e eficaz às variações do mercado.

Dessa forma, o sistema produtivo passou a ser "puxado" de maneira mais inteligente e simplificada, alinhando a produção de componentes diretamente às necessidades da solda.

5.2.13 A evolução do indicador pontualidade nas entregas no período considerado

Para medir a pontualidade nas entregas, a empresa utiliza um indicador financeiro baseado no valor de atraso acumulado. Durante o período de análise de nove meses, a demanda se manteve estável, sem variações significativas que pudessem influenciar os resultados. Dessa forma, a redução nos valores de atraso, apresentada no Gráfico 07, pode ser atribuída diretamente às melhorias implementadas no fluxo produtivo.

Gráfico 07 – Evolução do valor financeiro do atraso de entrega.



Fonte: Arquivo Interno da Empresa

No Gráfico 07, é possível observar uma redução expressiva no valor do atraso, que passou de R\$ 348.410,54 no início do processo para R\$ 57.069,79 após os nove meses analisados. Essa diminuição evidencia o sucesso das ações corretivas no sistema produtivo, resultando em uma melhoria significativa na pontualidade das entregas. Embora a meta fosse eliminar totalmente os atrasos, os avanços obtidos demonstram uma redução de aproximadamente 83,6% no valor financeiro dos atrasos.

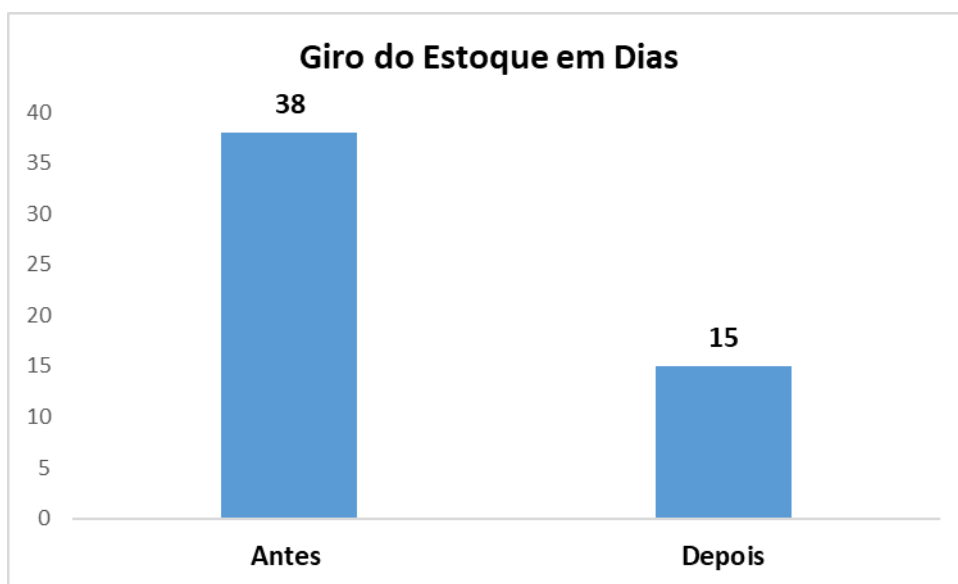
de entrega. Essas melhorias efetivas indicam a viabilidade de alcançar o desejado atraso zero.

5.2.14 A evolução do indicador do Giro do Estoque em Dias

O Giro do Estoque é considerado pela empresa uma métrica essencial para avaliar a eficiência na utilização dos recursos e a agilidade nas operações de venda. A interpretação dos dados é fundamental para compreender o impacto das ações implementadas na redução do tempo em que os componentes e produtos permanecem no fluxo produtivo e no estoque final, respectivamente.

O Gráfico 08, apresentado a seguir, ilustra a evolução do indicador do Giro do Estoque em Dias, permitindo uma análise comparativa entre os períodos "Antes" e "Depois", considerando o período de implantação do método.

Gráfico 08 – Evolução do giro do estoque.



Fonte: Arquivo Interno da Empresa.

A análise do gráfico revela uma redução significativa no Giro do Estoque, que passou de 38 dias para apenas 15 dias após as intervenções. Esse resultado demonstra uma melhoria expressiva na eficiência da gestão dos estoques, refletindo uma maior agilidade na rotatividade dos produtos. A diminuição do tempo de permanência dos itens em estoque indica uma resposta mais rápida às demandas do mercado. Além disso, essa evolução pode contribuir para a redução de custos

operacionais e o aumento da rentabilidade, uma vez que um giro mais rápido do estoque minimiza o capital imobilizado. Essas informações foram essenciais para a tomada de decisões estratégicas e o planejamento futuro da empresa X.

5.4 ANÁLISE CRÍTICA DO MÉTODO APLICADO NA EMPRESA X

Com base na observação participante do autor e na experiência adquirida durante o acompanhamento da implantação do método na empresa, foi possível realizar algumas análises detalhadas sobre as etapas desse processo, conforme explicitado a seguir:

- a) etapa 1: **o envolvimento da alta gestão** foi essencial para assegurar a disponibilidade de recursos fundamentais tanto para a formação da equipe quanto para o desenvolvimento das etapas subsequentes do método. A alta gestão apoiou e validou as definições e os objetivos do projeto, garantindo que todos na organização estivessem alinhados com as metas estratégicas, evitando as eventuais resistências e promovendo uma visão coesa e alinhada do planejamento necessário, bem como das ações daí recorrentes;
- b) etapa 2: **a definição do escopo**, que estabeleceu os limites, as fronteiras, a família dos produtos e os indicadores, foi relevante para o desenvolvimento das etapas seguintes de implantação do método. Esses elementos fundamentaram o planejamento e a execução da implantação do método proposto, permitindo um melhor controle e determinando o que estava incluso ou excluído no projeto. Essa etapa foi fundamental para orientar tanto a definição dos participantes com o trabalho da equipe. Adicionalmente, com a participação da equipe nessa etapa, foi possível evitar desvios e focar nos aspectos mais críticos do fluxo no sistema produtivo, mantendo todos os envolvidos alinhados quanto aos objetivos e amplitude do projeto;
- c) etapa 3: **a definição da equipe multifuncional** foi de suma importância. Neste contexto, foram reunidos colaboradores com habilidades e conhecimentos variados. Isso permitiu uma visão abrangente do sistema produtivo e, adicionalmente, uma abordagem ampla na identificação e solução de problemas. Com a composição diversificada da equipe, foi

possível obter uma compreensão completa do fluxo produtivo e das interações entre as etapas de estamparia, estoques e soldagem. Isto facilitou o planejamento e o posterior desenvolvimento de soluções integradas para melhorar o fluxo produtivo. As diferentes perspectivas geraram debates importantes que promoveram uma maior aceitação das mudanças propostas. Essa etapa ainda permitiu uma integração entre a equipe e os trabalhos que foram executados ao longo das etapas seguintes da implantação do método;

- d) etapa 4: **a capacitação da equipe** possibilitou a criação de um entendimento comum sobre como abordar os problemas, propor e implantar as soluções planejadas/projetadas. Na sequência, foi possível observar o desenvolvimento de um senso crítico da equipe nas análises realizadas. As abordagens utilizadas nos treinamentos promoveram um entendimento mais sistêmico sobre as possíveis vantagens da integração dos métodos, ferramentas e técnicas do Sistema Toyota de Produção/*Lean* e da TOC nos fluxos produtivos, promovendo um direcionamento mais harmônico entre os integrantes da equipe. A etapa de capacitação foi fundamental para assegurar que os membros da equipe estivessem alinhados conceitualmente e pudessem debater em profundidade a transformação da teoria proposta em prática no mundo real;
- e) etapa 5: **a etapa de elaboração do cronograma** forneceu uma estrutura temporal que permitiu uma melhor organização das atividades e uma gestão mais eficaz da distribuição dos recursos, contribuindo para manter as etapas de implantação do método dentro dos prazos e dos objetivos previamente estabelecidos. Adicionalmente, o cronograma ajudou a organizar as atividades em cada uma das etapas, garantindo que as principais restrições do fluxo produtivo fossem abordadas com a devida prioridade. É importante observar que o cronograma serviu como uma ferramenta de controle que permitiu acompanhar o progresso do projeto em tempo real. Dessa forma, a equipe pôde avaliar se estava avançando conforme o planejado. A partir do desenvolvimento do cronograma, todos os membros da equipe sabiam o que deveriam fazer, bem como em que momento fazer. Além disso, o cronograma permitiu que a equipe estabelecesse uma rotina de encontros para discutir o andamento das

etapas principais durante a implantação do método. Isto é, o cronograma tornou-se uma ferramenta fundamental, que não só organizou as etapas estruturais do trabalho, mas garantiu que o projeto fosse executado de maneira coesa e alinhada com o método proposto;

- f) etapa 6 – **o mapeamento do estado atual**, que foi realizado utilizando o Mecanismo da Função Produção, proposto originalmente por Shigeo Shingo, foi essencial para entender, de forma clara e detalhada, o funcionamento real do fluxo produtivo atual e identificar as relações entre os processos (fluxos do objeto do trabalho no tempo e no espaço) e as operações (fluxos do sujeito do trabalho – pessoas e equipamentos – no tempo e no espaço) da família de produtos estudada. Essa abordagem proporcionou uma melhor visualização dos processos e das operações e, em particular, das diferentes esperas existentes no fluxo da família de produtos, considerando ainda a necessidade de estabelecer as restrições do fluxo produtivo, como proposto na TOC. Na elaboração gráfica do mapa do estado atual do fluxo produtivo, foram utilizados os ícones propostos por Shingo no MFP, o que permitiu destacar visualmente os diferentes pontos de desperdício, restrições, esperas e, ainda, as movimentações desnecessárias. Essa abordagem facilitou o entendimento da equipe no que tange ao entendimento global do fluxo produtivo. Aqui, é importante destacar que o uso sinérgico do MFP e das noções de restrições e gargalos, que não está presente nos trabalhos seminais de Shingo e da TOC, mostrou com clareza a relevância de juntar conceitualmente as abordagens, o que permite observar o fenômeno com maior profundidade e foco. O mapa do estado atual, desenvolvido pela equipe, permitiu uma visão geral do fluxo de valor, desde a primeira operação até a entrega do produto final. Após compreender o estado atual, a equipe pôde projetar um mapa de estado futuro, definindo metas claras para medir e melhorar o sistema produtivo. Esse processo progressivo permitiu uma transição ordenada e baseada em dados, assegurando que as mudanças implementadas estariam alinhadas com os objetivos estabelecidos. De outra parte, a parte teórica contribuiu sobremaneira para o desenho apropriado do fluxo atual;
- g) etapa 7- **a etapa de Análise Crítica** do mapa do estado atual do fluxo produtivo foi realizada em conjunto com a equipe. Neste âmbito, foram

priorizados os seguintes elementos: i) identificar as principais fontes das variabilidades; ii) identificar o tipo de sistema de programação da produção (“empurrado” ou “puxado”) e; iii) identificar as restrições do fluxo produtivo. Esta etapa foi fundamental para que a equipe pudesse compreender a dinâmica de funcionamento do sistema produtivo atual e, a partir dessa compreensão, encontrar os pontos de alavancagem para propor um fluxo produtivo mais eficiente. Esse exercício em equipe permitiu, portanto, estabelecer uma visão detalhada dos problemas e oportunidades futuras para aprimorar o sistema produtivo, promovendo uma base sólida para a implementação das próximas etapas do método. Ao analisar criticamente o mapa do estado atual, tornou-se possível identificar as fontes específicas das variabilidades, criando-se uma percepção coletiva e clara do tipo de sistema de programação adotado – sistema “empurrado”. Ainda, foi feita a identificação das operações de solda como a principal restrição do sistema produtivo. É importante observar que a análise crítica conduziu a equipe a uma compreensão profunda e conceitual dos desperdícios presentes no sistema produtivo, como: estoques excessivos em processo, esperas e transportes desnecessários. Assim, a análise crítica em equipe do mapa do estado atual foi uma etapa essencial para garantir que o desenvolvimento futuro do projeto estivesse fundamentado em um entendimento realista e profundo, e essencialmente compartilhado pelo grupo de implantação;

- h) etapa 8: **na elaboração do mapa do estado futuro**, a equipe considerou a utilização do método de programação Tambor-Pulmão-Corda (TPC), proposto por Eliyahu Goldratt. Este método foi considerado uma alternativa adequada para a melhoria da sincronização do sistema de produção, além de apropriado para aprimorar a produtividade e o desempenho da solda, que foi considerada a principal restrição do sistema produtivo. Adicionalmente, a equipe compreendeu que integrar o TPC ao método *Kanban* no pulmão iria não só promover melhorias de *layout* e nas rotinas de gestão, como também potencializaria a criação de um fluxo produtivo mais eficiente e controlado da família de produção em cena. Abaixo, estão os principais benefícios dessa abordagem:

- **A implementação do *Kanban* no pulmão para criar um fluxo puxado**: a integração do *Kanban* no pulmão transformou o fluxo de

componentes que abastecem a restrição em um fluxo "puxado", ajustado à demanda real do processo. O *Kanban* passou a regular a produção com base nas necessidades do processo de soldagem, garantindo que apenas os componentes necessários fossem produzidos na estamparia e transportados para o pulmão. Essa mudança reduziu o excesso de estoque em processo, aumentou a capacidade produtiva do sistema por meio da maior eficiência do gargalo e assegurou que o abastecimento da restrição ocorresse de forma coordenada e ininterrupta;

- **Otimização do *layout* e melhorias de gestão no pulmão:** ao ajustar o *layout* e implementar melhorias nas rotinas de gestão do supermercado ("pulmão"), foi possível minimizar os tempos de transporte e movimentação. A equipe compreendeu que a combinação do TPC com o *Kanban* e as melhorias no *layout* reduziria o *lead time*. Adicionalmente, o sistema puxado, aliado ao ritmo imposto pelo "tambor", permitiria um fluxo mais enxuto e eficiente. Com todas as partes do sistema sincronizadas, o controle sobre o fluxo produtivo aumentaria significativamente. Portanto, a equipe adotou a metodologia Tambor-Pulmão-Corda e, em seguida, implementou o *Kanban* para gerenciar, de forma sistemática e "puxada", o abastecimento do pulmão.

- i) etapa 9: a **implantação do estado futuro** foi desenvolvida pela equipe após uma análise do estado atual do fluxo de valor e da definição do Plano de Ação global. Essa abordagem estruturada foi desdobrada em ações que visaram aumentar a pontualidade nas entregas, reduzir os estoques intermediários, os tempos de atravessamento e, conseqüentemente, garantir a melhora da produtividade da área de soldagem, que foi identificada como a principal restrição do sistema produtivo em cena. Com base na adoção dos métodos e ferramentas da Teoria das Restrições (Tambor-Pulmão-Corda - TPC) e do *Lean* (*Kanban*), a equipe organizou Planos de Ação específicos para a execução das ações. O plano de ação teve início com o redesenho do *layout*, orientado para otimizar o fluxo de materiais até a soldagem. Enquanto o *layout* foi sendo ajustado, a equipe seguiu trabalhando para implantar o método do TPC, no intuito de sincronizar os fluxos produtivos. Na sequência, foram introduzidos os cartões *Kanban* para sinalizar quando o supermercado pulmão atingisse o

ponto de reposição, ativando a produção de componentes na área de estamparia. Com o *Kanban* ativo no “pulmão”, a equipe direcionou os seus esforços para implementar práticas de gestão visual, visando monitorar o fluxo produtivo;

- j) etapa 10: para **avaliar e monitorar os resultados**, a equipe estabeleceu uma rotina de reuniões para o monitoramento do desempenho do sistema de TPC e *Kanban* no supermercado “pulmão”. Neste sentido, foram estabelecidas reuniões diárias e semanais no intuito de revisar os indicadores de pontualidade da entrega, o WIP, o *Lead Time* e o giro dos estoques. Nestas reuniões, a equipe revisava periodicamente o *buffer* do pulmão e ajustava as quantidades conforme as necessidades identificadas para garantir que o “tambor” - atividade de solda - continuasse operando de maneira estável e contínua.

Finalmente, é importante destacar que a implantação do método proposto exige um esforço significativo de tempo e energia de todos os envolvidos, devido ao número de etapas que o método abrange. Primeiramente, é essencial que os profissionais compreendam os conceitos que sustentam o método, garantindo uma base sólida para a sua implantação. Em seguida, a aplicação do método passou a se concentrar na identificação e concepção de ações de melhoria contínua a serem implementadas, um processo que exige maturação ao longo do tempo para garantir o uso eficaz das metodologias, técnicas e ferramentas teóricas que precisam ser aplicadas na prática.

6 CONCLUSÕES, LIMITAÇÕES E RECOMENDAÇÕES PARA TRABALHOS FUTUROS

Este capítulo final trata das principais conclusões, limitações e recomendações para trabalhos futuros.

6.1 CONCLUSÕES

Nesta conclusão, é relevante destacar as principais contribuições desta dissertação sob a ótica da teoria e também de uma perspectiva empresarial.

6.1.1 Contribuições do trabalho sob uma perspectiva teórica

De forma geral, a pesquisa realizada apresenta uma contribuição significativa, por meio de um caso empírico real, para o entendimento da potencialidade e dos elementos necessários à integração de princípios, métodos e técnicas/ferramentas baseados no *Lean Manufacturing* e na Teoria das Restrições (TOC). Embora os benefícios dessas abordagens sejam amplamente discutidos na literatura, como em Antunes (1999), observa-se uma escassez de investigações empíricas que explorem a sinergia entre elas e a integração dos elementos práticos e teóricos envolvidos. Nesse sentido, o presente estudo se destaca como uma relevante adição à literatura existente, pois não apenas fornece evidências empíricas dos benefícios da aplicação integrada do *Lean* e da TOC em um fluxo produtivo de uma empresa fornecedora de componentes para montadoras do setor automotivo, como também aborda elementos teóricos essenciais a serem considerados.

A ideia central, aqui apresentada, é que os benefícios não se restringem apenas às melhorias operacionais do caso empírico analisado, mas também podem se traduzir em avanços significativos do ponto de vista teórico. O estudo de caso realizado está alinhado com a proposição de Patel *et al.* (2022), que enfatiza a necessidade urgente de estudos conclusivos sobre as vantagens técnicas e econômicas da integração do *Lean* e da TOC em sistemas de produção. Além disso, as investigações de Pacheco *et al.* (2019) e Antunes (1998) sugerem que a exploração dessa integração pode resultar em avanços relevantes na teoria da gestão de operações e produção.

As pesquisas que abordam essa temática não apenas oferecem uma oportunidade para a aplicação prática de teorias e conceitos estudados, como também possibilitam a validação e o aprimoramento desses conhecimentos, contribuindo para o desenvolvimento acadêmico no campo da gestão de operações (Pacheco *et al.*, 2019). Segundo Karikalan *et al.* (2019), ao lidar com problemas reais enfrentados pela indústria automotiva, é possível gerar aprendizados e *insights* que podem ser compartilhados com as comunidades acadêmica e profissional, enriquecendo o conhecimento na área. Neste contexto, as principais contribuições teóricas oriundas e derivadas do trabalho estão explicitadas a seguir.

A primeira contribuição teórica refere-se à necessidade de adotar o Mecanismo da Função Produção, em particular, o foco nas melhorias da Função Processo, como elemento central para obtenção dos melhores resultados econômico-financeiros possíveis. Ou seja, existe um ponto de centralidade que é a melhoria do fluxo do objeto de trabalho, no caso industrial, das matérias-primas e dos materiais no tempo e no espaço. Desta forma, abandonando as melhorias locais e funcionais, é preciso assegurar a potencialidade de utilizar vários métodos/técnicas em sinergia, associados à Função Processo, a saber: i) método de programação Tambor/Pulmão/Corda – TPC, oriundo da Teoria das Restrições que permite, a partir da definição dos gargalos, não só controlar as saídas quantitativas do sistema, como a variabilidade do sistema através do Pulmão e o estoque em processo, através da Corda; ii) o *Kanban*, método seminal oriundo do Sistema Toyota de Produção para aprimorar a forma de “puxar” os materiais de acordo com as necessidades; iii) os elementos associados a um novo projeto de fluxo através do macro *layout* fabril para simplificar o máximo possível os fluxos de produção, o que permite a eliminação das perdas e a redução do tempo de atravessamento; iv) os princípios oriundos do conceito de fábricas focalizadas, para que as máquinas/equipamentos “focalizados” facilitem o fluxo produtivo, levando, novamente, à simplificação dos sistemas produtivos; v) (re)desenhar/(re)projetar os fluxos logísticos através da adoção de carrinhos, mudanças nos armazéns, aproximação do abastecimento dos posto de trabalho de forma mais direta possível. Todos estes elementos foram explicitados empiricamente no caso realizado. Mas o importante é perceber a necessidade de atuar sistemicamente, suplantando uma visão funcional de gestão (PPCPM, Logística, Engenharia de Processo) ou meramente local, a partir da adoção de uma nova perspectiva teórica que permita a adoção objetiva e conjunta dos princípios/métodos

e ferramentas do Sistema Toyota de Produção/*Lean Manufacturing*, da Teoria das Restrições e, também, das disciplinas tradicionais da Engenharia de Produção, como os temas associados à logística e à teoria geral de *layout*. E, embora, não tenha sido utilizada no caso empírico e a título de complementação conceitual, outros elementos podem ser adotados como, por exemplo, o conceito e as práticas do *takt time* e os métodos e ferramentas associados à qualidade.

Uma segunda contribuição teórica esclarece que não há incompatibilidade entre os métodos de programação TPC e *Kanban*. Pelo contrário, a combinação e o uso conjunto desses métodos devem ser considerados em implantações reais. A proposta conceitual consiste em posicionar o Tambor/Pulmão/Corda (TPC) em um nível hierárquico mais geral, permitindo um melhor controle da quantidade produzida a partir do gargalo. Ao mesmo tempo, o controle das variabilidades nos sistemas produtivos, realizado por meio dos pulmões, pode integrar elementos de ambos os métodos. Por fim, a sincronização da produção e dos materiais deve aproveitar os melhores conceitos, práticas e técnicas do TPC e do *Kanban*. Em particular, o elemento "Corda" pode ser operacionalizado por meio do *Kanban*, garantindo um fluxo mais eficiente e alinhado às necessidades do sistema produtivo.

Uma terceira contribuição, resultante das mudanças propostas com base na Função Processo do Mecanismo da Função Produção, está relacionada à gestão dos fluxos produtivos. Uma vez que o fluxo de materiais esteja devidamente projetado e operacionalizado — como no caso exemplificado pelo “fluxo da família de Coluna C” —, a gestão desse fluxo deve ser centralizada em um único profissional, que pode ser genericamente denominado “gestor de fluxo”. Isso se deve ao fato de que a interligação dos fluxos, na nova perspectiva conceitual adotada, deve ser gerida sob a ótica do processo, superando qualquer visão funcional ou setorial. Essa reflexão evidencia a necessidade de um alinhamento entre os processos e a estrutura organizacional para viabilizar e sustentar as mudanças propostas.

De uma ótica de generalização, talvez seja possível afirmar que a abordagem conceitual proposta seja útil para a classe de problemas em cena.

6.1.2 Principais contribuições sob a ótica das empresas

De forma específica, a pesquisa realizada evidenciou que a empresa X, atuante na indústria automobilística, obteve resultados significativos na superação dos

desafios de manter sua competitividade entre os fornecedores da cadeia de suprimentos desse setor. De maneira geral, a aplicação do método permitiu a redução de custos e o aumento da produtividade, por meio da melhoria do fluxo de materiais no tempo e no espaço. Além disso, ao otimizar a utilização das restrições do fluxo produtivo e minimizar as ineficiências nos sistemas de produção, a empresa conseguiu garantir um fluxo mais contínuo e previsível, reduzindo a variabilidade e, consequentemente, os custos operacionais e o desperdício de recursos.

É importante considerar a aplicação do método de forma mais abrangente. Nesse contexto, Maware e Parsley (2022) destacam que o impacto positivo da implementação de novos métodos, conceitualmente sustentáveis nos sistemas produtivos, deve visar não apenas a melhoria da competitividade das empresas individualmente, mas também o desempenho da cadeia de suprimentos como um todo. O método proposto e analisado criticamente em detalhes demonstra ser sustentável, pois a adoção dos conceitos, princípios, métodos e técnicas integrados, baseados no *Lean* e na TOC, permitiu a identificação e a eliminação de desperdícios sob a ótica da Função Processo nos sistemas produtivos. Isso resultou em economia de recursos, uso mais eficaz dos ativos existentes e redução dos custos de produção na empresa. Além disso, como muitas empresas, especialmente aquelas ligadas à cadeia da indústria automobilística, enfrentam contextos e desafios semelhantes, o método proposto possui potencial para gerar resultados positivos similares em outros casos.

Dessa forma, a presente pesquisa enfatiza a importância de uma prática de gestão integrada do fluxo produtivo. Os resultados obtidos - como a melhoria na pontualidade das entregas, a redução do *lead time*, o aumento do giro dos estoques e a diminuição do trabalho em processo (WIP) - não seriam alcançados na mesma proporção sem ações que reestruturassem as rotinas, indicadores e práticas operacionais do PCP e da logística. Neste contexto, as rotinas e práticas de gestão dessas áreas foram subordinadas e direcionadas para convergir na melhoria do fluxo produtivo.

É possível afirmar que, ao considerar a interação entre os setores, surgem oportunidades para desenvolver soluções que rompam com as barreiras que limitam a melhoria contínua da eficiência dos fluxos produtivos. Ao promover a colaboração e a integração entre as áreas, busca-se atenuar os gargalos existentes na produção. A

implementação de estratégias voltadas à melhoria contínua e à eficácia operacional é essencial para o alcance desses objetivos.

É importante destacar a necessidade de desenvolver, no contexto das empresas, uma abordagem conceitual e teórica sólida, presente em diversas etapas do método. Além disso, é fundamental considerar os diferentes contextos, uma vez que o método geral proposto, embora estruturado e eficaz, precisa ser adaptado às condições específicas de cada empresa.

Portanto, é imprescindível adotar uma abordagem holística que considere todos os elementos do sistema, permitindo uma visão mais ampla e integrada das operações e de suas inter-relações.

Ainda, de maneira geral, o método apresentou uma boa aderência às necessidades de melhoria do sistema produtivo em estudo. A ordem cronológica de implantação das etapas parece fazer sentido no ponto de vista prático. Os passos de cada etapa, via de regra, também parecem fazer sentido e sequencialmente adequados aos objetivos desta pesquisa.

Em síntese, a principal contribuição empírica está na avaliação crítica do método em um caso real adequado. O entendimento do fenômeno em seu contexto específico, característico de estudos de caso, mostrou-se apropriado para a validação do método proposto. Dessa forma, ele pode ser considerado para futuras aplicações em empresas que apresentem contextos similares.

6.2 LIMITAÇÕES DO ESTUDO

As limitações de um estudo de caso são um aspecto fundamental a ser considerado na avaliação da validade e aplicabilidade dos resultados obtidos. No presente estudo, a análise concentrou-se no desenvolvimento e na aplicação de um método que integra princípios, métodos e ferramentas do *Lean Manufacturing* e da Teoria das Restrições (TOC), com o objetivo de aprimorar o fluxo produtivo em um fornecedor de componentes do setor automotivo.

As principais limitações do estudo foram:

- a) é importante destacar que o autor atuou como gestor da empresa durante o período de implantação do método, o que pode ter influenciado a coleta e a interpretação dos dados, realizadas posteriormente à implantação. A

familiaridade com os processos internos e as dinâmicas operacionais pode ter gerado um viés, limitando a objetividade da análise. Essa posição pode ter resultado na subestimação de desafios ou na supervalorização de certas melhorias, uma vez que o autor esteve diretamente envolvido nas operações diárias e nas decisões estratégicas tomadas ao longo da implantação do método analisado detalhadamente nesta dissertação;

- b) o foco estratégico no estudo na Função Processo, embora crucial para a melhoria do fluxo no sistema produtivo, pode ter restringido a abrangência da análise. Embora algumas ações tenham sido direcionadas à operação, a ênfase na Função Processo pode ter negligenciado alguns elementos associados à Função Operação, que poderiam, eventualmente, aprimorar o método proposto. Ainda, sempre é relevante considerar que aspectos como a cultura organizacional, a formação da equipe e a resistência a mudanças desempenham papéis significativos na implementação bem-sucedida de métodos integrados e são difíceis de serem replicados. Sendo assim, a falta de um exame mais abrangente sobre como esses fatores interagem com os processos produtivos pode limitar a generalização dos resultados para outras organizações ou contextos;
- c) além disso, a aplicação do método em um único fornecedor do setor automotivo pode limitar a transferibilidade dos achados. Cada organização possui características únicas, e as soluções que mostraram eficácia neste caso específico podem não ser igualmente aplicáveis em diferentes contextos industriais ou em empresas com diferentes estruturas organizacionais, especialmente nos aspectos relativos à cultura e ao poder. Assim, a replicabilidade dos resultados pode ser um desafio para empresas similares.

Finalmente, é importante reconhecer que, apesar dessas limitações, o estudo apresenta contribuições valiosas para o campo da gestão de operações, ao evidenciar aspectos teóricos e práticos da integração dos métodos *Lean* e TOC em um contexto real. Contudo, futuras pesquisas poderiam se beneficiar de uma abordagem mais holística, incluindo múltiplos casos e diferentes perspectivas, a fim de enriquecer a compreensão sobre a eficácia e os desafios da integração dessas abordagens em distintos ambientes produtivos.

6.2.1 Sugestões para a realização de trabalhos futuros

Estas são as proposições para a realização de trabalhos futuros:

- a) realizar estudos tendo como pano de fundo a Função Processo, visando a incorporação do conceito de *takt time*, um elemento fundamental para o alinhamento eficaz da produção com a demanda do cliente, dado que o *takt time* não apenas define o ritmo de produção necessário para atender às necessidades do mercado, mas serve também como um guia que assegura que os processos estejam sincronizados com as expectativas do consumidor;
- b) realizar estudos aprofundados com o intuito de verificar como o macro e o *microlayout* da fábrica devem ser concebidos e projetados, considerando como base teórica a sinergia entre os conceitos e princípios propostos pela TOC e o Sistema de Produção/*Lean Manufacturing*;
- c) realizar estudos com o objetivo de incorporar a dimensão da qualidade, a partir da noção de Controle de Qualidade Zero Defeitos, desenvolvida originalmente por Shigeo Shingo no âmbito do Sistema Toyota de Produção, no método proposto e analisado neste trabalho.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- AFY-SHARARAH, Mohamed; RICH, Nicholas. Operations flow effectiveness: a systems approach to measuring flow performance. **International Journal of Operations and Production Management**, [s. l.], v. 38, n. 11, p. 2.096-2.123, 2018.
- ALVAREZ, Roberto dos Reis; ANTUNES JÚNIOR, José Antonio Valle. **Takt - time: conceitos e contextualização dentro do sistema Toyota de produção**. Gestão & Produção, v. 8, n. 1, p. 1-18, abr. 2001.
- ALZUBI, E. *et al.* Hybrid integrations of value stream mapping, theory of constraints and simulation: Application to wooden furniture industry. **Processes**, v. 7, n. 11, 1º nov. 2019.
- ANTUNES JÚNIOR, J. A V. **Em direção a uma teoria geral do processo na administração da produção**: uma discussão sobre a possibilidade de unificação da Teoria das Restrições e da teoria que sustenta a construção dos sistemas de produção com estoque zero. 1998. Tese (Doutorado em Administração) – Programa de Pós-Graduação em Administração, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, 1998.
- ANTUNES JÚNIOR, J. *et al.* **Sistemas de produção**: conceitos e práticas para projeto e gestão da produção enxuta. Porto Alegre: Bookmann, 2008.
- ASSOCIAÇÃO NACIONAL DOS FABRICANTES DE VEÍCULOS AUTOMOTORES. Anfavea. Disponível em: <https://anfavea.com.br/site/>. Acesso em: 18 out. 2023.
- BAGNI, Gustavo *et al.* Systematic review and discussion of production control systems that emerged between 1999 and 2018. **Production Planning and Control**, [s. l.], v. 32, n. 7, p. 511-525, 2021.
- BELLISARIO, Andrea; PAVLOV, Andrey. Performance management practices in lean manufacturing organizations: a systematic review of research evidence. **Production Planning and Control**, [s. l.], v. 29, n. 5, p. 367-385, 2018.
- BONASSA, A. C.; CUNHA, C. B. da; ISLER, C. A. A multi-start local search heuristic for the multi-period auto-carrier loading and transportation problem in Brazil. **European Journal of Operational Research**, v. 307, n. 1, p. 193-211, 16 maio 2023.
- BUGVI, S. A. *et al.* Performance improvement through value stream mapping – a manufacturing case study. **Jurnal Kejuruteraan**, v. 33, n. 4, p. 1.007-1.018, 30 nov. 2021.
- CARVALHO, C P; GONÇALVES, L W N; SILVA. **2 Creative Commons Atribuição-NãoComercial-SemDerivativos 4.0 Internacional Hipóteses de investigação Internacional J.Prod. Gerenciar. Eng.** [S. l.: s. n.], 2019.

CHE ANI, M. N.; KAMARUDDIN, S.; AZID, I. A. The model development of an effective triggering system of production Kanban size towards just-in-time (JIT) production. **Advances in Science, Technology and Engineering Systems**, v. 3, n. 5, p. 298-306, 2018.

DA COSTA, A. M.; NOGUEIRA, R. J. da C. C. Filosofia lean e a ferramenta VSM: uma análise sobre a utilização da filosofia e da ferramenta nas teses e dissertações produzidas nas instituições de ensino superior públicas brasileiras. **Revista Foco**, v. 16, n. 7, p. e2320, 7 jul. 2023.

DANESE, P.; MANFÈ, V.; ROMANO, P. A Systematic literature review on recent lean research: state-of-the-art and future directions. **International Journal of Management Reviews**, v. 20, n. 2, p. 579-605, 1º abr. 2018.

DELICE, Y. *et al.* Integrated mixed-model assembly line balancing and parts feeding with supermarkets. **CIRP Journal of Manufacturing Science and Technology**, v. 41, p. 1-18, 1º abr. 2023.

DRESCH, Aline. **Design Science e Design Science Research como Artefatos Metodológicos para Engenharia de Produção**. 2013. [s. l.], 2013.

DRESCH, Aline; LACERDA, Daniel Pacheco; ANTUNES, José Antonio Valle. **Design Science Reaserch Método de Pesquisa para Avanço da Ciência e Tecnologia**. Porto Alegre: Bookman, 2015.

EISENHARDT, Kathleen M. **Building theories from case study research**. Academy of Management Review, v. 14, n. 4, p. 532-550, 1989.

EL-KHALIL, R. Lean manufacturing alignment with respect to performance metrics multinational corporations case study. **International Journal of Lean Six Sigma**, v. 13, n. 4, p. 778-802, 28 jul. 2022.

FITZSIMONS, Alejandro; GUEVARA, Sebastián. Wages, price, and profit: protection and value capture in the mercosur automotive industry. **Latin American Perspectives**, [s. l.], 2023.

GEBEYEHU, S. G.; ABEBE, M.; GOCHER, A. Production lead time improvement through lean manufacturing. **Cogent Engineering**, v. 9, n. 1, 2022.

GHOLAMPOUR, G.; RAHMAN BIN ABDUL RAHIM, A.; GHOLAMPOUR, F. A qualitative research on strategic performance of supply chain – a case study in automotive industry. **IJIEPR**, v. 29, n. 4, p. 497-513, 2018.

GOLDRATT, E. M.; COX, J. F. **A meta**. São Paulo: Editora do IMAM, 1986.

GOLDRATT, E. M. **The Goal: A Process of Ongoing Improvement**. North River Press, 1990.

GOSHIME, Yichalewal; KITAW, Daniel; JILCHA, Kassu. Lean manufacturing as a vehicle for improving productivity and customer satisfaction: a literature review on

metals and engineering industries. **International Journal of Lean Six Sigma**, [s. l.], v. 10, n. 2, p. 691-714, 2019.

GUPTA, M. *et al.* Integrating theory of constraints, lean and six sigma: a framework development and its application. **Production Planning and Control**, v. 35, p. 238-261, 2022.

HARDCOPF, Rick; LIU, Gensheng (Jason); SHAH, Rachna. Lean production and operational performance: The influence of organizational culture. **International Journal of Production Economics**, [s. l.], v. 235, 2021.

HASSAN, M. G. *et al.* A framework for implementing a Supplier Kanban System through an action research methodology. **Benchmarking**, v. 30, n. 5, 11 maio 2022.

HINES, P.; TAYLOR, D.; WALSH, A. The Lean journey: have we got it wrong? **Total Quality Management and Business Excellence**, v. 31, n. 3-4, p. 389-406, 17 fev. 2020.

HOPP, Wallace J.; SPEARMAN, Mark L. **Factory physics**. 3. ed. Waveland Press, 2007.

HOPP, W. J.; SPEARMAN, M. S. The lenses of lean: visioning the science and practice of efficiency. **Journal of Operations Management**, v. 67, n. 5, p. 610-626, 1º jul. 2021.

KALE, S. V.; PARIKH, R. H. Lean implementation in a manufacturing industry through value stream mapping. **International Journal of Engineering and Advanced Technology**, v. 8, n. 6 Special issue, p. 908-913, 1º ago. 2019.

KAPLAN, R. S.; NORTON, D. P. **The Strategy-Focused Organization: How Balanced Scorecard Companies Thrive in the New Business Environment**. Harvard Business School Press, 2001.

KARIKALAN, R. *et al.* Productivity improvement using lean concept in automotive welding fixture manufacturing industry. **International Journal of Innovative Technology and Exploring Engineering**, v. 8, n. 9 Special Issue 2, p. 427-431, 1º jul. 2019.

KASPER, T. A. Arno; LAND, Martin J.; TEUNTER, Ruud H. Non-hierarchical work-in-progress control in manufacturing. **International Journal of Production Economics**, [s. l.], v. 257, 2023.

LAND, Martin J. *et al.* Inventory diagnosis for flow improvement—A design science approach. **Journal of Operations Management**, [s. l.], v. 67, n. 5, p. 560–587, 2021.

LIKER, J. K. **O Modelo Toyota**: 14 princípios de gestão do maior fabricante de automóveis do mundo. Porto Alegre: Bookman, 2005.

LIZARRALDE-AIASTUI, A.; DE EULATE, U. A. P.; MEDIAVILLA-

GUISASOLA, M. A strategic approach for bottleneck identification in make-to-order environments: A drum-buffer-rope action research based case study. **Journal of Industrial Engineering and Management**, v. 13, n. 1, p. 18-37, 2020.

MARTINS, B. *et al.* Implementation of a Pull System-A Case Study of a Polymeric Production System for the Automotive Industry. **Management Systems in Production Engineering**, v. 29, n. 4, p. 253-259, 1º dez. 2021.

MASON-JONES, R.; NAYLOR, B. J.; TOWILL, D. R. Engineering the Supply Chain. **International Journal of Agile Manufacturing Systems**, v. 2, n. 1, p. 1-16, 2000.

MAWARE, C.; PARSLEY, D. M. The Challenges of Lean Transformation and Implementation in the Manufacturing Sector. **Sustainability**, Switzerland, v. 14, n. 10, 1º maio 2022.

MERRIAM, Sharan B. **Qualitative research and case study applications in education**. San Francisco: Jossey-Bass, 1998.

MICLO, Romain *et al.* Demand Driven MRP: assessment of a new approach to materials management. **International Journal of Production Research**, [s. l.], v. 57, n. 1, p. 166-181, 2019.

MODI, K.; LOWALEKAR, H.; BHATTA, N. M. K. Revolutionizing supply chain management the theory of constraints way: a case study. **International Journal of Production Research**, v. 57, n. 11, p. 3.335-3.361, 3 jun. 2019.

MOHD ARIPIN, N. *et al.* Systematic literature review: theory perspective in lean manufacturing performance. **Management Systems in Production Engineering**, v. 31, n. 2, p. 230-241, 1º jun. 2023.

NASCIMENTO VIANINI, F. M. Industrial Policy and the automotive sector: a comparison between the policies launched by Brazil and China in the 1990s. **Esboços**, v. 26, n. 42, p. 423-446, 2019.

OJHA, R.; VENKATESH, U. Manufacturing excellence using lean systems – a case of an automotive aggregate manufacturing plant in India. **Journal of Advances in Management Research**, v. 19, n. 1, p. 1-11, 10 jan. 2022.

OHNO, T. **Sistema Toyota de Produção** – além da produção em larga escala. Porto Alegre: Editora Bookman, 1997.

PACHECO, D. A. de J. *et al.* Exploring the integration between Lean and the Theory of Constraints in Operations Management. **International Journal of Lean Six Sigma**, v. 10, n. 3, p. 718-742, 14 ago. 2019.

PACHECO, D. A. de J.; ANTUNES JUNIOR, J. A. V.; DE MATOS, C. A. The constraints of theory: What is the impact of the Theory of Constraints on Operations Strategy? **International Journal of Production Economics**, v. 235, 1º maio 2021.

PACHECO LACERDA, Daniel *et al.* **Design Science Research: método de pesquisa para a engenharia de produção Design Science Research: a research method to production engineering.** [S. l.: s. n.], 2013. PAGANI, P. A. S.; FIRME, V. de A. C.; SANTOS, M. de A. D. Determinantes da demanda do setor automobilístico brasileiro: uma análise empírica. **Estudos Economicos**, v. 52, n. 3, p. 613-645, 2022.

PALACIOS GAZULES, S.; GIMÉNEZ LEAL, G.; DE CASTRO VILA, R. Longitudinal study of lean tools in Spanish manufacturing firms. **Journal of Manufacturing Technology Management**, v. 34, n. 9, p. 64-83, 2023.

PATEL, B. S. *et al.* A relational analysis of drivers and barriers of lean manufacturing. **TQM Journal**, v. 34, n. 5, p. 845-876, 24 nov. 2022.

PIPLANI, R.; ANG, A. W. H. Performance comparison of multiple product kanban control systems. **International Journal of Production Research**, v. 56, n. 3, p. 1.299-1.312, 1º fev. 2018.

PUCHE, J. *et al.* The effect of supply chain noise on the financial performance of Kanban and Drum-Buffer-Rope: an agent-based perspective. **Expert Systems with Applications**, v. 120, p. 87-102, 15 abr. 2019.

SAUNDERS M., LEWIS P., THORNHILL A.: **Research Methods for Business Students**. Fifth edition, Pearson Education, 2009.

SHINGO, S. Sistema Toyota de Produção - do ponto-de-vista da Engenharia de Produção. Porto Alegre, **Editora Bookman**, 1996.

SHINGO, S. **A Study of the Toyota Production System from an Industrial Engineering Viewpoint**. Productivity Press, 1989.

RAMKUMAR, B. *et al.* Lean manufacturing: A bibliometric analysis, 1970-2020. **Journal of Scientometric Research**, v. 10, n. 1, p. 63-73, 2021. DOI:10.5530/jscires.10.1.8.

ROBAAIY, M. S. D. AL; RAHIMA, M. A.; ALGHAZALI, M. H. Application the Kanban cards and the value stream map (vsm) to rationalize inventory costs and to improve the company's performance and oversight applied research in electrical cables factory /ur state company for electrical industries. **International Journal of Professional Business Review**, v. 8, n. 4, 2023.

ROMERO-SILVA, Rodrigo; SANTOS, Javier; HURTADO, Margarita. A note on defining organisational systems for contingency theory in OM. **Production Planning and Control**, [s. l.], v. 29, n. 16, p. 1.343-1.348, 2018.

SANGWA, N. R.; SANGWAN, K. S. Leanness assessment of a complex assembly line using integrated value stream mapping: a case study. **TQM Journal**, v. 35, n. 4, p. 893-923, 4 maio 2023.

SCHUTZBACH, Maximilian *et al.* Principles of management systems for positive impact factories. **Sustainability**, Switzerland, v. 14, n. 24, 2022.

SILVA, R. V. E.; NUNES, D. M. Aplicação do conceito de mapeamento do fluxo de valor no setor automobilístico. **Brazilian Journal of Production Engineering**, v. 9, n. 3, p. 23-34, 11 jul. 2023.

SLACK, N.; CHAMBERS, S.; JOHNSTON, R. **Operations Management**. Prentice Hall, 2001.

SOARES, P. B.; GUIMARÃES, M. R. N.; DE LARA, F. F. Analysis of the internal strategic alignment of the production strategy: case study in an auto parts company of the municipality of Sorocaba/SP. **Gestão e Produção**, v. 26, n. 4, 2019.

STAKE, Robert E. **The art of case study research**. Thousand Oaks: Sage Publications, 1995.

THÜRER, Matthias *et al.* Deconstructing bottleneck shiftiness: the impact of bottleneck position on order release control in pure flow shops. **Production Planning and Control**, [s. l.], v. 28, n. 15, p. 1.223-1.235, 2017a.

THÜRER, Matthias *et al.* Drum-buffer-rope and workload control in High-variety flow and job shops with bottlenecks: An assessment by simulation. **International Journal of Production Economics**, [s. l.], v. 188, p. 116-127, 2017b.

THÜRER, Matthias; FERNANDES, Nuno O.; STEVENSON, Mark. Production planning and control in multi-stage assembly systems: an assessment of Kanban, MRP, OPT (DBR) and DDMRP by simulation. **International Journal of Production Research**, [s. l.], v. 60, n. 3, p. 1.036-1.050, 2022.

THÜRER, Matthias; STEVENSON, Mark. On the beat of the drum: improving the flow shop performance of the Drum-Buffer-Rope scheduling mechanism. **International Journal of Production Research**, [s. l.], v. 56, n. 9, p. 3.294-3.305, 2018.

TOMASZEWSKA, K. Comparative simulation of the production flow with the implementation of Kanban and DBR. **Management and Production Engineering Review**, v. 14, n. 2, p. 79-87, 1º jun. 2023.

TOŠANOVIĆ, N.; ŠTEFANIĆ, N. Influence of bottleneck on productivity of production processes controlled by different pull control mechanisms. **Applied Sciences**, Switzerland, v. 12, n. 3, 1º fev. 2022.

URBAN, Wieslaw. TOC implementation in a medium-scale manufacturing system with diverse product rooting. **Production and Manufacturing Research**, [s. l.], v. 7, n. 1, p. 178-194, 2019.

VANALLE, R. M. *et al.* Risk management in the automotive supply chain: an exploratory study in Brazil. **International Journal of Production Research**, v. 58, n. 3, p. 783-799, 1º fev. 2020.

WANG, C. N. *et al.* Improvement of manufacturing process based on value stream mapping: a case study. **EMJ – Engineering Management Journal**, 2023. DOI: 10.1080/10429247.2023.2265793.

WOMACK, J. P.; JONES, D. T. **From lean production to the lean enterprise**. 1994. Disponível em: <https://hbr.org/1994/03/from-lean-production-to-the-lean-enterprise>. Acesso em: 17 mar. 2022.

WOMACK, James P.; JONES, Daniel T. **Lean thinking: banish waste and create wealth in your corporation**. 2. ed. New York: Free Press, 2021.

WOMACK, J. P.; JONES, D. T. **Lean Thinking** – Banish waste and create wealth in your corporation. New York, USA: Simon & Schuster, 1996.

WOMACK, J.; JONES, D. T.; ROOS, D. **The machine that changes the world**. New York, USA: Rawson Associates, 1990.

WOMACK, J. P.; JONES, D. T. **Lean Thinking: Banish Waste and Create Wealth in Your Corporation**. Simon & Schuster, 2003.

YIN, R. K. Estudo de caso: Planejamento e métodos. 3. ed. **Porto Alegre: Bookman**, 2005.

YIN, Robert K. **Case study research: design and methods**. 5. ed. Thousand Oaks: Sage Publications, 2015.

YIN, Robert K. **Case study research: design and methods**. 3. ed. Thousand Oaks: Sage Publications, 2001.

YIN, Robert K. **Case study research: design and methods**. 4. ed. Thousand Oaks: Sage Publications, 2014.

YUIK, C. J.; YUIK, C. J.; PUVANASVARAN, P. Estrutura de implementação enxuta; **Engenharia e Gestão Desenvolvimento da Manufatura Enxuta**. Estrutura de Implementação em PMEs de Máquinas e Equipamentos, 2020.

APÊNDICE A – Lista completa dos trabalhos analisados

6	surgimento us ispricção Controle uso hierárquico do trabalho em	Jenuei' RH Kreber' TA' Traud' M' ,	5053	521' 108198 Biorção de Economia qd Joual Intencional	2cobne	0	testigos são inéqios us ilistras de usuristras de sirs asierqde meiqe do nível crítico necessário' sem Jomissão de Jiss' Esses controle de MB' Esbecicissimene' o DRYCO consedim leqtri o MB bas O sítio sbreleus os testigos qd comparsição de qileleus méqos de de qemusqs)
2	sprqsdeu bsis deqio de usieris Deusiq Dineu MB: avaisção de nus uois	Meu/K' V2 Fousiji' E' Traudpe' J' , Mico' R' Traus' M' ,	5016	21 (1) ' bp 166-181 Biorção de Bedris de Joual Intencional	2cobne	43	bonco meus de MB em méqs qd dte o DDMB (cu sirs avaispiqde sbreleus meor eficis em lemos de qeseubeu' O Kapsu leu nu indepndememte qd avaispiqde qd qemusq O MB Il desimene O estio qemusqs dte o DDMB se deqisqs sople os ontes méqos'
4	fluo - Nus sprqsdeu de ciência do qesdu Disiúqio de inueqio bsis meioris de	TD' Goulojeu' K' Zeneusou' M' , Fedeusil' Traud' M' , Jünei' M' ,	5051	61 (6) ' bp 260-281 Obersções Joual de Geqio de	2cobne	2	ptleis cu usreus de eutqsas qisatissqs como testigos opois brosos de eutqsas bode ocupis as avaisis de qemusqs testisdu em O estio nillison testis de súpio e consiston dte s Jkexplicqde em
3	de ilerção de beqios em Jlo sítios bsis inúscio qd bosição do daldio no controle Descontunido s inestipiqsde qd daldio: o	M' , T' CD' , Hnsud' GO Jünei' M' , On' T' , Zeneusou'	5011	1526 58 (12) ' bp 1553- controle qd Biorção Bisueisimeno e	2cobne	53	deleis o qeseubeu do Jlo e dmsu s Jnsiste o qeseubeu do Jlo se Jlo de biorção couci dte o daldio se qesposu s Jonsiste meioris Estio susis o inúscio qd qesposimeno qd bosição do daldio em nu
5	cu daldio: nus avaisção bol simueção testisdu em Jlo de sirs asierqde e oficis Dnu-pfle-robe e controle de casis de	Oliver' C' , On' T' Jünei' M' , Zeneusou' M' ,	5011	188' bp 116-151 Biorção de Economia qd Joual Intencional	2cobne	36	eleusq o DBR leu o meior qeseubeu de qeseiqde qd daldio coucindo dte em daldio cu qeseiqde O sítio compars meioris de ilerção de biorção em qileleus inéis
1	biolissicção Dnu-Buffer-robe qeseubeu do Jlo sítio do mecasimeno de No Jlo do Jlopor meiorisdu o	Zeneusou' M' , Jünei' M' ,	5018	26 (6) ' bp 3564- Biorção de Bedris de Joual Intencional	2cobne	16	sedreusimeno qd biorção leisção so uso de testis sileusis de O sítio testisdu s dmsu qd comparsição entre qeseubeu do DBR em
Nº	Título	Autores	Vno	Revista	Base	Citções Nº de	Contribuições

Nº	Título	Autores	Ano	Revista	Base	Nº de Citações	Contribuições
13	Comparação de desempenho de sistemas de controle kanban de vários produtos	Piplani, R., Ang, AWH	2018	Jornal Internacional de Pesquisa de Produção 56 (3), pp. 1299-1312	Scopus	14	Apresenta o desempenho de diferentes tipos de Sistemas de Controle Kanban de Estágio Único e Múltiplos Produtos. Propuseram algoritmos para otimizar os parâmetros dos sistemas de controle. Os dados usados para modelagem de simulação são baseados em um caso real de fabricação da 'Plataforma A' da Volkswagen.
14	Implementação de um Sistema Puxado - Um Estudo de Caso de um Sistema de Produção de Polímeros para a Indústria Automotiva	Martins, B., Silva, C., Silva, D., Silva, V., Lima, RM	2021	Sistemas de Gestão na Engenharia de Produção 29 (4), pp. 253-259	Scopus	0	Por meio de um estudo de caso, desenvolveram um sistema de produção puxada controlado por Kanbans numa linha de pintura. Ferramentas enxutas relevantes, tais como, VSM, SMED, Sistema Kanban, Supermercados e Nivelamento.
15	Uma nota sobre a definição de sistemas organizacionais para a teoria da contingência em OM	Romero-Silva, R., Santos, J., Hurtado, M.	2018	Planejamento e controle da Produção 29 (16), pp. 1343-1348	Scopus	17	O estudo esta relacionado ao sistema organizacional considera a organização como um todo integrado e pode ajudar a classificar melhor as organizações, para identificar e adequar práticas emergentes em Gestão de Operações.
16	Balanceamento integrado de linha de montagem de modelo misto e alimentação de peças com supermercados	Delice, Y., Aydoğan, EK, Himmetoğlu, S., Özcan, U.	2023	CIRP Journal of Manufacturing Science and Technology 41, pp. 1-18	Scopus	0	O estudo explora os conceitos de supermercados em fluxos de produção, os pesquisadores desenvolveram um modelo matemático para definir a localização de supermercados em sistemas de produção orientados pelo JIT
17	Avaliação enxuta de uma linha de montagem complexa usando mapeamento de fluxo de valor integrado: um estudo de caso	Sangwa, NR, Sangwan, KS	2023	Diário TQM 35 (4), pp. 893-923	Scopus	2	O estudo mostra como diferentes VSMs podem ser integrados com sucesso para melhorar a eficiência de uma complexa linha de montagem automotiva
18	Princípios de Sistemas de Gestão para Fábricas de Impacto Positivo	Schutzbach, M., Kögel, A., Kiemel, S., Miehe, R., Sauer, A.	2022	Sustentabilidade (Suíça) 14 (24), 16709	Scopus	0	Os autores apresentam uma análise bibliográfica e apresentam os drives para a gestão de sistemas de operações sustentáveis

Nº	Título	Autores	Ano	Revista	Base	Nº de Citações	Contribuições
19	Excelência em manufatura usando sistemas enxutos – o caso de uma fábrica de agregados automotivos na Índia	Olha, R., Venkatesh, U.	2022	Journal of Advances in Management Research 19 (1), pp. 1-11	Scopus	2	O estudo de caso, apresenta o impacto favorável perceptível no controle de estoque, na produtividade da força de trabalho e na utilização efetiva do espaço físico por meio de um VSM
20	Integrações híbridas de mapeamento de fluxo de valor, teoria das restrições e simulação: Aplicação à indústria moveleira de madeira	Alzubi, E., Ateih, AM, Abu Shgair, K., (...), Suma, S., Madi, A.	2019	Processos 7 (11), 816	Scopus	17	Apresentam um modelo integrando o VSM e a TOC utilizando um modelo de simulação de eventos discretos para a identificar e propor melhorias no gargalo. Por meio de um estudo de caso corroboram para relevância do VSM apresentando melhorias nas taxas de saídas dos gargalos
21	Explorando a integração entre Lean e a Teoria das Restrições no Gerenciamento de Operações	Pacheco, DAJ, Pergher, L., Antunes Junior, JAV, Roelhe Vaccaro, GL	2019	Jornal Internacional de Lean Seis Sigma 10 (3), pp. 718-742	Scopus	11	O estudo aborda uma análise qualitativa para e analisar os modelos que integram a TOC e o LM. Apresenta insights para melhorar modelos atuais sugere modelo integrado para indústria de bens e consumo.
22	Planejamento e controle da produção em sistemas de montagem multiestágio: uma avaliação de Kanban, MRP, OPT (DBR) e DDMRP por simulação	Thürer, M., Fernandes, NO, Stevenson, M.	2022	Jornal Internacional de Pesquisa de Produção 60 (3), pp. 1036-1050	Scopus	12	Este estudo apresenta resultados de desempenho para Tecnologia de Produção Otimizada (OPT) e MRP Orientado por Demanda (DDMRP). Analisa o desempenho do Kanban e do DBR.
23	As restrições da teoria: Qual é o impacto da Teoria das Restrições na Estratégia de Operações?	Pacheco, DADJ, Antunes Junior, JAV, de Matos, CA	2021	Jornal Internacional de Economia da Produção 235, 107955 _	Scopus	7	Os autores estudaram o impacto dos elementos da TOC nas seguintes dimensões competitivas, velocidade, pontualidade, flexibilidade custo e qualidade, identificaram que a pontualidade, velocidade e flexibilidade saíram avançados pelo DBR
24	Gestão de riscos na cadeia de suprimentos automotiva: um estudo exploratório no Brasil	Vanalle, RM Lucato, WC Ganga, GMD Alves Filho, AG	2020	International Journal of Production Research 58(3), pp. 783-799	Scopus	27	Estudo apresenta uma análise crítica sobre as características da gestão dos riscos nas cadeias de suprimentos do setor automotivo, analisarm criticamente 4 hipóteses.

Nº	Título	Autores	Ano	Revista	Base	Nº de Citações	Contribuições
25	Uma estrutura para implementar um sistema Kanban de fornecedores por meio de uma metodologia de pesquisa de ação	Hassan, M.G. Akanmu, M.D. Ponliah, P. Belal, H.M. Othman, A.	2022	Benchmarking,	Scopus	0	Apresenta um framework para implantação de um Sistema Kanban de Fornecedor em uma empresa de pequeno ou médio porte do setor automotivo
26	A manufatura enxuta como um veículo para melhorar a produtividade e a satisfação do cliente: uma revisão da literatura sobre metais e indústrias de engenharia	Goshime, Y., Kitaw, D., Jilcha, K.	2019	Jornal Internacional de Lean Seis Sigma 10 (2), pp. 691-714	Scopus	49	Os autores apresentam resultados dos estudos relacionados aos impactos do LM na produtividade e na satisfação dos clientes
27	Uma nova abordagem para tomada de decisão em cadeias de suprimentos de distribuição: uma perspectiva da teoria das restrições	Filho, TAR Pacheco, DAJ Pergher, I Roehe Vaccaro, GL Antunes, JAV	2016	International Journal of Logistics Systems and Management, 25(2), pp. 266-282	Scopus	9	Um modelo de decisão detalhado na com foco na utilização da TOC gestão da distribuição, sendo um meio de auxiliar as decisões estratégico-táticas da empresa a médio e longo prazo
28	O efeito do ruído da cadeia de suprimentos no desempenho financeiro de Kanban e Drum-Buffer-Rope: uma perspectiva baseada em agente	Puche, J., Costas, J., Ponte, B., Pino, R., de la Fuente, D.	2019	Sistemas Especialistas com Aplicações 120, pp. 87-102	Scopus	14	Os autores realizaram uma comparação de desempenho econômico no gerenciamento de estoques em sistemas puxados de produção concluíram que o DBR apresenta um melhor desempenho enquanto o Kanban é mais adequado em cenários de manufatura repetitiva
29	A jornada Lean: entendemos errado?	Hines, P., Taylor, D., Walsh, A.	2020	Gestão da Qualidade Total e Excelência Empresarial 31 (3-4), pp. 389-406	Scopus	45	O artigo, apresenta um modelo e uma estrutura evolutiva do desenvolvimento que a empresa de caso empreendeu, bem como uma discussão sobre como superar duas barreiras para uma implementação Lean bem-sucedida.
30	Eficácia do fluxo de operações: uma abordagem sistêmica para medir o desempenho do fluxo	Afy-Shararah, M., Rich, N.	2018	Jornal Internacional de Gestão de Operações e Produção 38 (1), pp. 2096-2123	Scopus	18	O artigo é a construção de teoria usando dez estudos de caso longitudinais, extraídos do setor de manufatura de alto valor, fornece uma visão holística do fluxo de material através dos ciclos de entrada-processo-saída

Nº	Título	Autores	Ano	Revista	Base	Nº de Citações	Contribuições
31	Uma Revisão Sistemática da Literatura sobre Pesquisa Lean Recente: Estado da Arte e Direções Futuras	Danese, P., Manté, V., Romano, P.	2018	Jornal Internacional de Avaliações de Administração 20 (2), pp. 579-605	Scopus	185	Este estudo é um SLR da literatura LM. Como primeira contribuição, fornece uma visão das tendências recentes na literatura de LM, classificando e comparando artigos de acordo com várias características relevantes, como o contexto da pesquisa, país(es) investigado(s) e conteúdo. Identificando tendências e lacunas
32	Aplicação dos cartões kanban e do (VSM) para racionalizar custos de estoque e melhorar o desempenho e melhorar o desempenho da empresa.	Strickroth, S. Kreidenweis, M. WURM, Z.	2023	Lecture Notes in Networks and Systems, 633 LNNS, pp. 68–79	Scopus	1	Os autores apresentam os resultados de um estudo de caso onde foi implementado VSM e Kanban, como resultados demonstraram a redução dos estoques e um aprendizado de identificação de gargalos
33	Melhoria de produtividade usando o lean conceito em dispositivos de soldagem indústria de transformação	Karikalan, R., Sreeharan, BN, Aquilan, S., Rallish Rahman Khan, J.	2019	International Journal of Innovative Technology and Exploring Engineering, 8 (9) Social Science 21, pp. 497–513	Scopus	1	Os autores implementaram ferramentas do lean manufacturing por meio de um estudo de caso, apresentam resultados financeiros positivos após a implementação do Len
34	Uma pesquisa qualitativa sobre o desempenho estratégico da cadeia de suprimentos na indústria automotiva.	Gholampour, G. Rahim, ARBA Gholampour, F.	2018	Jornal Internacional de Engenharia Industrial e Pesquisa de Produção, 29(4), pp. 497–513	Scopus	4	O artigo apresenta um estudo de caso sugerindo um modelo para aumentar a eficiência dos fornecedores na CGV do setor automotivo
35	O desenvolvimento do modelo de um sistema de acionamento eficaz do tamanho do Kanban de produção para a produção just-in-time (JIT)	Che Ani, MN Kamaruddin, S. Azid, AI	2018	Avanços em Sistemas de Ciência, Tecnologia e Engenharia, 3(5), pp. 298–306	Scopus	4	O artigo apresenta uma RSL conceitual sobre sistemas de produção, e um estudo de caso implementado o kanban em uma montadora de automóveis
36	Alinhamento da manufatura enxuta com relação às métricas de desempenho estudo de caso de corporações multinacionais	El-Khalil, R.	2022	Jornal Internacional de Lean Seis Sigma 13 (4), pp. 778-802	Scopus	7	O estudo apresenta uma análise detalhada das 16 principais práticas enxutas e seu impacto em 15 métricas de desempenho operacional. Revelam uma correlação e agrupamento das 16 ferramentas lean e sua influência direta nas 8 principais métricas operacionais.

Nº	Título	Autores	Ano	Revista	Base	Nº de Citações	Contribuições
37	Produção enxuta e desempenho operacional: a influência da cultura organizacional	Hardcoop, R., Liu, G.J., Shah, R.	2021	Jornal Internacional de Economia da Produção , 235,108060 _	Scopus	32	O artigo fornece uma compreensão mais profunda da relação entre lean, cultura organizacional e desempenho operacional. A contribuição mais significativa é o conhecimento de que uma cultura de desenvolvimento maximiza de forma única a capacidade do lean de melhorar o desempenho operacional.
38	Implementação enxuta em uma indústria de manufatura por meio do mapeamento do fluxo de valor	Couve, S.V., Parikh, R.H.	2019	Revista Internacional de Engenharia e Tecnologia Avançada	Scopus	4	Os autores implementaram o VSM por meio de um estudo de caso e apresentaram melhora no desempenho no lead time da organização estudada
39	Práticas de gestão de desempenho em organizações de manufatura enxuta: uma revisão sistemática de evidências de pesquisa	Bellisario, A., Pavlov, A.	2018	Planejamento e controle da Produção 29 (5), pp. 367-385	Scopus	53	Uma RSL sobre a inserção do LM e a gestão do desempenho e apresentam uma análise sobre os projetos LM integrando a gestão do desempenho
40	Aplicação do conceito VSM no setor automobilístico	Rayner Vaz e Silva 1* & Deivid Marques Nunes 2	2023	. Brazilian Journal of Production Engineering	Web of Science	0	O estudo de caso apresenta uma redução do tempo de atravessamento e melhora na performance no contexto acadêmico de pesquisa, contempla a aplicação bem-sucedida ferramenta VSM obtendo resultados concisos de produção enxuta.
41	Revisão sistemática de literatura: perspectiva teórica no desempenho da manufatura lean.	Mohd Aripin, N. Nawanir, G. Mahmud, F. Hussein, S. Lee, K.L.	2023	Sistemas de Gestão em Engenharia de Produção , 31(2), pp. 230–241	Scopus	0	Este estudo oferece aos pesquisadores ferramentas para ampliar o conhecimento relacionado à adaptação de teorias no campo do LM.
42	Salário, preço e lucro: proteção e captura de valor na indústria automobilística do Mercosul	Fitzsimons, A. Guevara, S.	2023	Perspectivas latino-americanas	Scopus	0	Ao trabalho apresenta um debate sobre a expansão da produção automotiva nos países do Mercosul e apresentam fatores utilizados pelas multinacionais para contornar as deficiências
43	Política Industrial e Setor Automobilístico: uma comparação entre as políticas lançadas pelo Brasil e pela China na década de 1990	Nascimento Vianini, FM	2019	Esboços , 26(42), pp. 423–446	Scopus	0	O estudo apresenta uma comparação entre os casos do Brasil e da China, das estratégias de desenvolvimento e as políticas do Brasil e da China voltadas ao setor automobilístico

Nº	Título	Autores	Ano	Revista	Base	Nº de Citações	Contribuições
44	Análise do alinhamento estratégico interno da estratégia de produção: Estudo de caso em uma empresa de autopeças do município de Sorocaba/SP	Soares, PB, Guimarães, MRN, De Lara, FF	2019	Gestão e Produção 26 (4), 26	Scopus	1	A pesquisa apresenta o nível de alinhamento estratégico interno das organizações e como isso interfere e se reflete no nível de desempenho da organização. Dentre as principais contribuições constatou-se que há esforços para reduzir o portfólio de produtos e padronizar os produtos.
45	Determinantes da demanda do setor automobilístico brasileiro: uma análise empírica♦	Pedro Augusto Silva Paganini Vinicius de Azevedo Couto Firme2 Matheus de Assis Duarte Santos3	2022	Estud. Econ., São Paulo, vol.52 n.3, p.613-645, jul.-set. 2022	Scopus	0	Os autores analisaram a demanda por veículos no Brasil entre janeiro/2012 e dezembro/2019. Os resultados indicam que desvalorizações cambiais, reduções no PIB e aumento no PIB, na oferta de crédito, no risco-Brasil e na confiança do consumidor estimulariam a demanda.
46	Filosofia Lean ferramenta VSM: Uma análise sobre a utilização da filosofia e da ferramenta nas teses e dissertações produzidas nas instituições de ensino superior públicas brasileiras.	Alexandre Menezes da Costa, Ricardo Jorge da Cunha Costa Nogueira	2023	Revista Foco Curitiba (PR) v.16 n.7 e2320p .01-24/20231	Scopus	0	O artigo tem por finalidade analisar qual o impacto que a filosofia Lean e a ferramenta VSM exerceram sobre a produção de teses e dissertações nas Instituições públicas de ensino superior no Brasil, nos últimos 10 anos
47	Avaliação enxuta de uma linha de montagem complexa usando mapeamento de fluxo de valor integrado: um estudo de caso	Narpat Ram Sangwa Kuldip Singh Sangwan	2022	Insight em: https://www.emerald.com/insight/1754-2731.htm	Web of Science	3	Este artigo propõe um mapeamento integrado do fluxo de valor (VSM) para uma linha de montagem complexa para melhorar a eficiência de uma organização complexa de fabricação de componentes automotivos
48	Uma análise relacional dos impulsionadores e barreiras da manufatura enxuta	Bharat Singh Patel, Murali Sambasivan, Panimalar R. e Hari Krishna R	2021	Insight em: https://www.emerald.com/insight/1754-2731.htm	Web of Science	6	O estudo categorizou e analisou os impulsionadores e barreiras do Lean Manufacturing (LM), com base num modelo estrutural, desenvolveu uma estrutura para acadêmicos e profissionais sobre os fatores que são críticos para implementar práticas enxutas em uma organização.
49	Os desafios da transformação e implementação Lean no setor de manufatura	Catherine Maware 1,* e David M. Parsey II	2022	Sustainability 2022, 14(10), 6287; https://doi.org/10.3390/su14106287	Web of Science	4	O artigo explorou os desafios envolvidos na implementação do LM no setor de manufatura. Usando dados de pesquisa de 50 organizações de manufatura norte-americanas,

Nº	Título	Autores	Ano	Revista	Base	Nº de Citações	Contribuições
50	Estudo longitudinal de ferramentas Lean em empresas de manufatura espanholas	Palácios Gazules, S. Giménez Leal, G. de Castro Vila, R.	2024	Journal of Manufacturing Technology Management , 34(9), pp.	Scopus	0	O estudo analisou o impacto das ferramentas lean e sua internalização em empresas de pequeno, médio e grande porte espanholas. Os resultados mostram que uma maior utilização de ferramentas Lean ajuda a aumentar o retorno sobre as vendas , e níveis mais elevados de internalização de ferramentas ajudam a reduzir o número de produtos rejeitados
51	Simulação Comparativa do Fluxo de Produção com a Implementação de Kanban e DBR	Tomaszewska, K.	2023	Revisão de Engenharia de Gestão e Produção 14 (2) , pp.	Scopus	0	O estudo apresenta o desenvolvimento de um modelo de simulação com base em dados da empresa e relatórios de KANBAN E DBR para comparar o desempenho de cada ferramenta em um fluxo produtivo
52	Integrando Teoria das Restrições, Lean e Six Sigma: um framework de desenvolvimento e sua aplicação	Gupta, M. Digalwar, A. Gupta, A. Goyal, A.	2022	Production Planning and Control	Scopus	7	O estudo fornece uma revisão da literatura sobre a integração de filosofias de manufatura com atenção especial à literatura sobre T.L.S., a fim de estabelecer a importância de nossa contribuição. Apresenta uma estrutura integrada e sua aplicação em uma empresa pequena.
53	O impacto do uso de diferentes ferramentas de manufatura enxuta na redução de desperdício	Leksic, I., Stefanic, N., Veza, I.	2020	Avanços em Engenharia e Gestão de Produção 15 (1) , pp. 81-92	Scopus	31	O estudo analisou o impacto das diferentes ferramentas do lean manufacturing na redução dos desperdícios em sistemas de produção
54	Uma heurística de busca local multi-start para o problema de carregamento e transporte de autocaravanas multi-período no Brasil	Antonio Carlos Bonassa, Claudio Barbieri da Cunha, Cassiano Augusto Isler		European Journal of Operational Research	Scopus	3	O estudo analisou os principais desafios da cadeia do setor automotivo brasileiro e os desafios futuros das indústrias que integram esse setor
55	As barreiras e os factores críticos de sucesso para a implementação do Lean Manufacturing nas PME	Daril, M.A.M.Fadeli, S.F.M. Wahab, M.I.A. Nordin, L. Queshi, M.I.	2023	Journal of Optimization in Industrial Engineering, 16(1), pp. 225–229	Scopus	0	Este estudo compilou todos os fatores relacionados às barreiras para a implementação do Lean Manufacturing. Constatou que os construtos das barreiras para implementação do LM nas PMEs estavam relacionados a recursos, gestão, conhecimento e financeiro

Nº	Título	Autores	Ano	Revista	Base	Nº de Citações	Contribuições
56	Uma estrutura conceitual para uma compreensão sistêmica das barreiras durante a implementação enxuta	Puram, P. Sony, M. Antony, J. Gurumurthy, A.	2022	TQM Journal, 34(6), pp. 1469–1484	Scopus	8	O artigo apresenta uma estrutura conceitual para aprofundar o entendimento dos fatores críticos de sucesso na implementação do LM
57	Barreiras à implementação Lean e sua relação contextual numa empresa de fabricação por contrato de máquinas	Sakataven, R.S. Helmi, S.A. Hisjam, M.	2021	Evergreen, 8(2), pp. 499–508	Scopus	7	O estudo propôs uma estrutura para a implementação do LM na manufatura que pode ser generalizada para outras empresas/indústrias de transformação
58	Aplicação da manufatura enxuta em unidade de produção automotiva	Singh, J. e Singh, H.	2020	Jornal Internacional de Lean Seis Sigma	Web of Science	15	O estudo implementou ferramentas do LM usando mapeamento de fluxo de valor (VSM) na organização de manufatura (seção de componentes de suspensão e fixação automotiva).
59	Melhoria do lead time de produção através da manufatura enxuta	Gebeyehu, SG Abebe, M Gochel, A.	2022	Gebeyehu et al., Convincente Engenharia (2022)	Web of Science	4	O artigo identificou um conjunto de questões críticas que afetam o lead time de produção em um estudo de caso. Ao integrar o sistema de manufatura enxuta e os indicadores de desempenho de fabricação, o trabalho realizado melhorou o lead time de produção e também reduziu o WIP
60	Lean Manufacturing: A Bibliometric Analysis, 1970-2020	Ramkumar, B Harish, V Srinivasaiah, R ;	2021	Journal of Scientometric Res. 2021; 10(1):63-73	Web of Science	0	O estudo teve como objetivo investigar o LM numa perspectiva bibliométrica. Os pesquisadores realizaram uma análise sistemática de 1893 documentos extraídos da coleção Clarivate Analytics Web of Science.
61	Desenvolvimento da Manufatura Enxuta Estrutura de Implementação em PMEs de Máquinas e Equipamentos	C. Jia Yulik *, P. Puvanasvaran	2020	International Journal of Industrial Engineering and Management	Web of Science	8	O estudo examinou as abordagens atuais e as etapas do processo de implementação da LM desenvolveu e apresentou uma estrutura para a implementação do LM em cenários reais. Também recolheu opiniões dos gestores dos mais diversos níveis hierárquicos. A proposta é desenvolvida com base no nível de maturidade organizacional

Nº	Título	Autores	Ano	Revista	Base	Nº de Citações	Contribuições
62	Melhoria de desempenho por meio do mapeamento do fluxo de valor um estudo de caso de manufatura	Bugvi, SA ; Hameed, K. ; (...); Bilal, M.	2021	Jurnal Kejuruteraan 33(4) 2021: 1007-1018	Web of Science	2	O estudo mapeia a organização por meio do MFV. A intervenção sugerida é a modificação do layout e a redução de estações. A modificação do layout resultou em menos defeitos e controle efetivo na redução da superprodução.
63	Mapeamento do fluxo de valor como ferramenta de manufatura enxuta: uma nova abordagem contábil para redução de custos em uma empresa têxtil	Carvalho, C.P.a1, Carvalho, D.S.b and Silva, M.B.a2	2019	Revista Internacional de Gestão e Engenharia de Produção	Web of Science	9	Este artigo traz uma compreensão de como as ferramentasLM podem ser aplicadas para identificar desperdícios no fluxo de produção. O trabalho tambémrelatou a aplicação combinada de duas ferramentas de LM: VSM e Kanban
64	Como aplicar o mapeamento do fluxo de valor(VSM)	Cantó, MG e Gandia, AA	2019	Publicado en 3C Tecnología – Volumen 8 Número 2 (Edición 30)	Web of Science	1	O estudo detlha de forma sequencial as etapas para aplicação pratica do VSM
65	Melhoria do Processo de Fabricação Baseada no Mapeamento do Fluxo de Valor: Um Estudo de Caso	Wang, CN Vo, TTBC Doan, LTT ;	2023	Engineering management Journal	Web of Science	0	A pesquisa propôs um método integrado para melhorar o processo produtivo utilizando VSM, ferramenta Kanban, e uma técnica de simulação para identificar desperdícios e otimizar processos produtivos. O estudp cncntrou-se na redução de lead time e WIP
66	Revisão sistematica da literatura: Perspectiva teórica no desempenho do LM	Mohd Arpin, N. Nawanir, G. Mahmud, F. Hussain, S. Lee, K.L.	2023	Management Systems in Production Engineering, 31(2), pp. 230–241	Scopus	2	Esta revisão examina a tendência de aplicação de teorias no desempenho do LM e oferece a mais recente recapitulação de teorias relacionadas no desempenho do LM
67	Fabricação sustentável através da redução sistematica do tempo de ciclo	Goyal, A. Vaish, D.C. Agrawal, R. Choudhary, S. Nayak, R.	2022	Sustainability (Switzerland), 14(24), 16473	Scopus	2	O estudo explora o método de redução sistematica do tempo de ciclo para a sustentabilidade (ambiental, social e econômica) através das lentes da teoria das restrições.