

**UNIVERSIDADE METODISTA DE PIRACICABA**  
**FACULDADE DE ENGENHARIA ARQUITETURA E URBANISMO**  
**PROGRAMA DE PÓS GRADUAÇÃO EM ENGENHARIA DE PRODUÇÃO**

**OTIMIZAÇÃO DO SEQUENCIAMENTO DA PRODUÇÃO POR MEIO  
DA INTEGRAÇÃO LEAN E SIMULAÇÃO**

**GUILHERME GORGULHO**

**ORIENTADOR: PROF. DR. CARLOS ROBERTO CAMELLO LIMA**

**SANTA BÁRBARA D'OESTE**

**2016**

**UNIVERSIDADE METODISTA DE PIRACICABA**  
**FACULDADE DE ENGENHARIA ARQUITETURA E URBANISMO**  
**PROGRAMA DE PÓS GRADUAÇÃO EM ENGENHARIA DE PRODUÇÃO**

**OTIMIZAÇÃO DO SEQUENCIAMENTO DA PRODUÇÃO POR MEIO  
DA INTEGRAÇÃO LEAN E SIMULAÇÃO**

**GUILHERME GORGULHO**

**ORIENTADOR: PROF. DR. CARLOS ROBERTO CAMELLO LIMA**

Dissertação apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Engenharia de Produção, da Faculdade de Engenharia Arquitetura e Urbanismo, da Universidade Metodista de Piracicaba – UNIMEP, como requisito para obtenção do Título de Mestre em Engenharia de Produção.

**SANTA BÁRBARA D'OESTE**

**2016**

# **OTIMIZAÇÃO DO SEQUENCIAMENTO DA PRODUÇÃO POR MEIO DA INTEGRAÇÃO LEAN E SIMULAÇÃO**

**GUILHERME GORGULHO**

Dissertação de mestrado defendida em 26 de fevereiro de 2016, pela  
Banca Examinadora constituída pelos Professores:

**PROF. DR. CARLOS ROBERTO CAMELLO LIMA  
(PRESIDENTE E ORIENTADOR)  
UNIVERSIDADE METODISTA DE PIRACICABA – UNIMEP**

**PROF. DR. ANDRÉ LUIS HELLENO  
UNIVERSIDADE METODISTA DE PIRACICABA – UNIMEP**

**PROF. DR. FERNANDO BERNARDI DE SOUZA  
UNIVERSIDADE ESTADUAL PAULISTA – UNESP-BAURU**

Ficha Catalográfica elaborada pelo Sistema de Bibliotecas da UNIMEP  
Bibliotecária: Marjory Harumi Barbosa Hito CRB-8/9128

G667o	Gorgulho, Guilherme Otimização do sequenciamento da produção por meio da Integração Lean e simulação / Guilherme Gorgulho. – 2016. 112 f. : il. ; 30 cm  Orientador: Prof. Dr. Carlos Roberto Camello Lima Dissertação (mestrado) – Universidade Metodista de Piracicaba, Engenharia de Produção, Santa Bárbara d'Oeste, 2016.  1. Sistemas de Produção. 2. Controle da Produção. 3. Manufatura Enxuta. I. Lima, Carlos Roberto Camello. II. Título.  CDU – 658.56
-------	--

Dedico esta dissertação aos meus pais, Edmar e Daisy, que me estimularam incondicionalmente em todos os meus sonhos, auxiliando-me a realizar mais uma conquista em minha vida profissional.

## **AGRADECIMENTOS**

Presumo que a elaboração de um texto de agradecimento tenha dois sentidos, sendo correlacionadas.

O primeiro sentido refere-se ao sentimento de satisfação pessoal, com a sensação de dever cumprido repleto de lembranças por ter vencido mais uma etapa, superando os obstáculos encontrados no caminho.

Em contrapartida, o segundo sentido, complementa o anterior, pois tudo foi possível somente com o auxílio de pessoas que passaram pelas nossas vidas. De tal modo, expresso meus profundos agradecimentos a estas pessoas pelos auxílios nesta caminhada, que com certeza foram indispensáveis para o desenvolvimento deste trabalho.

Em primeiro lugar, agradeço a Deus pela saúde e garra concedida, acompanhando-me nesta trajetória e em todas as outras na minha vida. Também pela motivação e inspiração diária, com o propósito de alcançar o objetivo proposto e concluir mais uma etapa da minha vida.

Aos meus pais, pela educação, valores e esforços realizados mesmo algumas vezes sendo caracterizados como impossíveis. Por me incentivar desde o início em cada sonho, me auxiliando a escolher o caminho correto. Sem eles, esta etapa seria impossível de ser realizada.

A minha irmã Fernanda que, mesmo de longe, procurou saber notícias sobre esta etapa, mandando energias positivas.

A minha namorada Giovana, por ser minha companheira nesta caminhada e em muitas outras e pelo entendimento da minha ausência neste período. Por não me deixar desanimar pelos obstáculos encontrados e pela paciência concedida, acompanhada com palavras de apoio e carinho.

Ao meu orientador e amigo Carlos Roberto Camello Lima, pela paciência, incentivo e confiança irrestrita depositada em mim desde o início desta jornada,

contribuindo com valorosas sugestões, que fizeram com que este trabalho fosse realizado com excelência.

Aos professores que participaram da banca do Exame de Qualificação; André Luis Helleno, Alexandre Tadeu Simon e Maria Rita Pontes Assumpção que contribuíram para a evolução e qualidade deste trabalho.

À empresa citada no desenvolvimento deste trabalho, e a todos os seus colaboradores, pelos tempos de companhia, discussões sobre o tema e debates produtivos que me auxiliaram direta ou indiretamente neste trabalho, e em muitos outros.

Ao programa de Pós-Graduação em Engenharia de Produção (PPGEP), por meio dos professores vinculados que ministraram disciplinas, compartilhando conhecimentos e experiências, enriquecendo o conhecimento.

À secretária do programa, Marta Helena T. Bragaglia, pelo auxílio no decorrer deste trabalho.

À Universidade Metodista de Piracicaba (UNIMEP), pela estrutura disponível e aos seus funcionários, pelo pronto atendimento, quando preciso.

E, por fim, à Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior (CAPES), pela bolsa concedida.

GORGULHO, Guilherme. **Otimização do sequenciamento da produção por meio da integração lean e simulação**. 2016. 96 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia de Produção) – Faculdade de Engenharia Arquitetura e Urbanismo, Universidade Metodista de Piracicaba (UNIMEP), Santa Bárbara d'Oeste – São Paulo.

## RESUMO

Devido ao mercado competitivo em que as empresas estão inseridas atualmente as constantes mudanças obrigam as empresas a reagirem rapidamente em relação à variabilidade de demanda e processo. As mudanças são originadas pelos clientes, ora por flutuações de demanda ou variações de produtos, ou ainda pela necessidade de atender os clientes no prazo de entrega acordados levando em consideração a busca contínua pela qualidade e custos competitivos nos produtos. Estas mudanças acabam impactando diretamente ou indiretamente as atividades do Planejamento e Controle da Produção (PCP), que exercem atividades no nível estratégico, tático e operacional dos sistemas de produção. Uma área de preocupação para as organizações encontra-se no curto prazo (nível operacional), pois nesta etapa de planejamento não há margem para erro, ocasionando desperdícios e impactos no fornecimento de produtos a tempo aos clientes. Desta forma, o presente trabalho tem como objetivo otimizar a eficiência do sequenciamento de produção, por meio de diferentes estratégias, em uma empresa de autopeças. Com intuito de almejar o objetivo proposto utilizou-se a simulação computacional em conjunto com o *lean manufacturing* para construir e validar o modelo atual, e posteriormente, a criação de cenários futuros.

**PALAVRAS-CHAVE:** Sequenciamento de Produção, Simulação Computacional, Manufatura Enxuta.

GORGULHO, Guilherme. **Optimizing the scheduling of production through lean integration and simulation**. 2016. 96 p. Dissertation (*Master's Degree in Production Engineering*) – College of Engineering, Architecture and Urbanism, Methodist University of Piracicaba (UNIMEP), Santa Bárbara d'Oeste – São Paulo.

### **ABSTRACT**

Due to the competitive market in which companies are currently engaged, the constant changes require companies to react quickly regarding the variability of demand and process. The changes are caused by customers, or by demand fluctuations or variations of products, or the need to serve customers within agreed delivery taking into account the continuous search for quality and competitive prices in products. These changes end up influencing directly or indirectly the activities of the Planning and Production Control (PPC), which does business in strategic, tactical and operational levels of production systems. One area of concern for organizations is in the short term (operational level), because this planning stage there is no room for error, causing waste and impact on the delivery of products on time to customers. Thus, this study aims to optimize the efficiency of production scheduling, using different strategies in an auto parts company. Seeking to aim the proposed objective, we used the computer simulation in conjunction with lean manufacturing to build and validate the current model, and subsequently the creation of future scenarios.

**KEYWORDS:** *Production scheduling, Computational Simulation, Lean Manufacturing.*

## SUMÁRIO

<b>RESUMO</b> .....	<b>VIII</b>
<b>ABSTRACT</b> .....	<b>IX</b>
<b>LISTA DE FIGURAS</b> .....	<b>XI</b>
<b>LISTA DE TABELAS</b> .....	<b>XII</b>
<b>LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS</b> .....	<b>XIII</b>
<b>1. INTRODUÇÃO</b> .....	<b>1</b>
1.1. CONTEXTUALIZAÇÃO DO PROBLEMA .....	1
1.2. PROBLEMA DE PESQUISA .....	7
1.3. OBJETIVOS DO TRABALHO.....	8
1.3.1. OBJETIVO GERAL.....	8
1.3.2. OBJETIVOS ESPECÍFICOS .....	8
1.4. DELIMITAÇÃO DO TRABALHO .....	9
1.5. VISÃO MACRO DA PESQUISA .....	9
1.6. ESTRUTURA DO TRABALHO .....	10
<b>2. REVISÃO DA LITERATURA</b> .....	<b>12</b>
2.1. SEQUENCIAMENTO DE PRODUÇÃO.....	12
2.2. LEAN MANUFACTURING.....	23
2.3. SIMULAÇÃO COMPUTACIONAL .....	36
2.3.1. SIMULAÇÃO COMPUTACIONAL EM AMBIENTES DE MANUFATURA .....	44
2.3.2. VARIABILIDADE DO PROCESSO.....	48
<b>3. ABORDAGEM METODOLÓGICA</b> .....	<b>50</b>
3.1. CLASSIFICAÇÃO DA PESQUISA .....	50
3.2. ETAPAS DO DESENVOLVIMENTO DE PESQUISA .....	54
<b>4. DESENVOLVIMENTO DA PESQUISA</b> .....	<b>57</b>
4.1. ETAPA 1 – DEFINIÇÃO DO PROCESSO .....	59
4.2. ETAPA 2 – CONSTRUÇÃO DO MODELO .....	71
4.3. ETAPA 3 – VALIDAÇÃO DO MODELO .....	76
4.4. ETAPA 4 – CRIAÇÃO DE CENÁRIOS .....	77
4.5. ETAPA 5 – ANÁLISE DOS CENÁRIOS .....	87
<b>5. CONSIDERAÇÕES FINAIS</b> .....	<b>88</b>
5.1. CONCLUSÕES.....	88
5.2. SUGESTÕES PARA TRABALHO FUTUROS .....	92
<b>6. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS</b> .....	<b>94</b>

## LISTA DE FIGURAS

FIGURA 1: PRODUÇÃO FÍSICA INDUSTRIAL 2002-2014. ....	2
FIGURA 2: VISÃO MACRO DA PESQUISA. ....	9
FIGURA 3: PROCESSO DE TRANSFORMAÇÃO INTEGRADO COM O PCP.....	12
FIGURA 4: FLUXO DE INFORMAÇÃO PRESENTE NO PCP.....	15
FIGURA 5: DECISÕES DO SEQUENCIAMENTO NA PRODUÇÃO EM LOTES.....	20
FIGURA 6: BENEFÍCIOS COM A IMPLANTAÇÃO DO LEAN MANUFACTURING.....	29
FIGURA 7: METODOLOGIA DE IMPLEMENTAÇÃO DO LEAN MANUFACTURING.....	30
FIGURA 8: FERRAMENTAS DO VSM. ....	33
FIGURA 9: VISÃO GERAL DAS ETAPAS DO VSM E SEU PAPEL NAS OPERAÇÕES DO PRINCÍPIOS LEAN. ....	35
FIGURA 10: MAPA DO ESTADO ATUAL. ....	35
FIGURA 11: PROCESSO DE SIMULAÇÃO. ....	37
FIGURA 12: ABORDAGENS DE SISTEMAS. ....	38
FIGURA 13: SISTEMAS DE SIMULAÇÃO. ....	39
FIGURA 14: VARIÁVEL DE ESTADO CONTÍNUA X DISCRETA.....	40
FIGURA 15: CONDUÇÃO DE ESTUDO DE CASO, SOB ÓPTICAS DISTINTAS .....	43
FIGURA 16: APLICAÇÕES DA SIMULAÇÃO COMPUTACIONAL. ....	45
FIGURA 17: APLICAÇÕES DA SIMULAÇÃO COMPUTACIONAL NA MANUFATURA. ....	46
FIGURA 18: MÉTODO PARA RESOLUÇÃO DE PROBLEMAS EM PESQUISA OPERACIONAL. ....	52
FIGURA 19: CLASSIFICAÇÃO DA PESQUISA.....	53
FIGURA 20: ETAPAS PARA SOLUCIONAR O PROBLEMA DESTA PESQUISA.....	54
FIGURA 21: METODOLOGIA MOVE. ....	59
FIGURA 22: SISTEMA DE PRODUÇÃO DA EMPRESA ABORDADA.....	62
FIGURA 23: MODELO ESQUEMÁTICO DO PROCESSO A .....	63
FIGURA 24: MÉTODO PARA DETERMINAR SETUP ENTRE COMPONENTES.....	65
FIGURA 25: MODELO ESQUEMÁTICO REFERENTE AO PROCESSO C .....	71
FIGURA 26: SIMULAÇÃO DO ESTADO ATUAL. ....	72
FIGURA 27: IMPLICAÇÕES DO CENÁRIO ATUAL PROCEDENTES DA SIMULAÇÃO.....	73
FIGURA 28: SISTEMA DE CORES UTILIZADO NA SIMULAÇÃO. ....	75
FIGURA 29: CRIAÇÃO DE CENÁRIOS FUTUROS. ....	78
FIGURA 30: PARAMETRIZAÇÃO DO SEQUENCIAMENTO DE PRODUÇÃO. ....	79
FIGURA 31: RESULTADOS REFERENTE AO SEQUENCIAMENTO PROPOSTO – SPT.....	83
FIGURA 32: RESULTADOS REFERENTE AO SEQUENCIAMENTO PROPOSTO – EDD .....	85

## LISTA DE TABELAS

TABELA 1: REGRAS DE SEQUENCIAMENTO EM PROCESSOS EM LOTES. ....	22
TABELA 2: DEFINIÇÕES DE LEAN MANUFACTURING SOB ÓPTICAS DISTINTAS .....	26
TABELA 3: TEMPO DE PROCESSAMENTO - PROCESSO A.....	64
TABELA 4: MATRIZ DE SETUP DO PROCESSO A ENTRE OS COMPONENTES X. ....	66
TABELA 5: MATRIZ DE SETUP DO PROCESSO A ENTRE OS COMPONENTES Y. ....	67
TABELA 6: TEMPO DE CICLO DOS COMPONENTES NO PROCESSO B.....	69
TABELA 7: COMPARATIVO ENTRE O SISTEMA REAL X VIRTUAL. ....	77
TABELA 8: SEQUENCIAMENTO DE PRODUÇÃO – ESTRATÉGIA SPT.....	80
TABELA 9: SEQUENCIAMENTO DE PRODUÇÃO – ESTRATÉGIA EDD .....	84
TABELA 10: MÉDIA COMPARATIVA ENTRE AS ESTRATÉGIAS DE SEQUENCIAMENTO ....	87

## LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

ANFAVEA - Associação Nacional dos Fabricantes de Veículos Automotores

CI - *Continuous Improvement*

EDD – *Earliest Due Date*

ERP – *Enterprise Resource Planning*

FENABRAVE – Federação Nacional de Distribuidores de Veículos Automotores

FIFO – *First In First Out*

ICR – Índice Crítico

IFA – Índice de Falta

IFO – Índice de Folga

IPI – Índice de Prioridade

JIT – *Just-In-Time*

KPIs – *Key Performance Indicators*

LM – *Lean Manufacturing*

MPS – *Master Production Schedule*

MDE – Menor Data de Entrega

MTP – Menor Tempo de Processamento

P&D – Pesquisa & Desenvolvimento

PCP – Planejamento e Controle de Produção

SINDIPEÇAS – Sindicato Nacional da Indústria de Componentes para Veículos Automotores

SIPOC – *Suppliers, Inputs, Process, Outputs, Customers*

STP – Sistema Toyota de Produção

SPT – *Shortest Processing Time*

TPM – *Total Productive Maintenance*

*Total Quality Management* – TQM

*Value Stream Mapping* – VSM

*Work In Process* – WIP

## 1. INTRODUÇÃO

Este capítulo tem como enfoque apresentar uma visão geral sobre o Planejamento e Controle da Produção (PCP) com foco no sequenciamento de produção, destacando a importância do planejamento para os sistemas de manufatura.

A resolução de problemas de sequenciamento de produção, por meio da simulação computacional, pode auxiliar os gestores rotineiramente na tomada de decisão, com intuito de otimizar os sistemas de produção economizando tempo e custo. A principal vantagem da simulação é de solucionar problemas, mesmo em casos complexos em um período de tempo otimizado. Logo, para se alcançar estes benefícios, é imprescindível considerar as restrições do sistema.

A lacuna que será explorada neste trabalho é identificada na tentativa de otimizar o sequenciamento de produção por meio da integração do *lean* e da simulação, levando em consideração as perdas encontradas no ambiente de produção. Uma proposta, que visa o aumento da eficiência da produção de maneira holística, considerando toda a cadeia de uma companhia privada fabricante de autopeças.

Este capítulo apresenta, também, o problema de pesquisa, os objetivos, a delimitação e a estrutura do trabalho.

### 1.1. CONTEXTUALIZAÇÃO DO PROBLEMA

De acordo com a Associação Nacional dos Fabricantes de Veículos Automotores – ANFAVEA (2015) e a Federação Nacional de Distribuição de Veículos Automotores – FENABRAVE (2015), entre 2011 e 2015, o emplacamento de autoveículos, que engloba todas as unidades adquiridas de automóveis, comerciais leves, caminhões e ônibus vêm sofrendo retração.

Este recuo do setor pode ser explicado pela situação econômica e política nacional em que a indústria brasileira está inserida. Em 2011, o acumulado de emplacamentos de veículos foi de 3.633.248 unidades, sendo que, em 2012 e 2013, houve uma ligeira variação, respectivamente 5% superior e 1% de retração; porém, em 2014, o número de emplacamentos foi de 3.498.012, sofrendo um *déficit* de 7% em relação a 2011.

Comparando o acumulado de emplacamentos entre Janeiro e Julho de 2015 com os outros anos (2011-2014), observa-se um *déficit* médio de 25%, o que representa um cenário desafiador para os gestores, no qual são obrigados a reduzir custos e desperdícios em máquinas e processos.

Paralelamente à redução de vendas e emplacamento de autoveículos, os índices de produção nas montadoras e fornecedores também são atingidos, influenciando negativamente em seus resultados. Dentre estes fornecedores, destacam-se os do setor de autopeças (segmento que será embasado neste trabalho).

De acordo com o Sindicato Nacional da Indústria de Componentes para Veículos Automotores – SINDIPEÇAS (2015), o mercado de produção de autopeças vem registrando declínio desde meados de 2007, conforme apresentado na Figura 1.

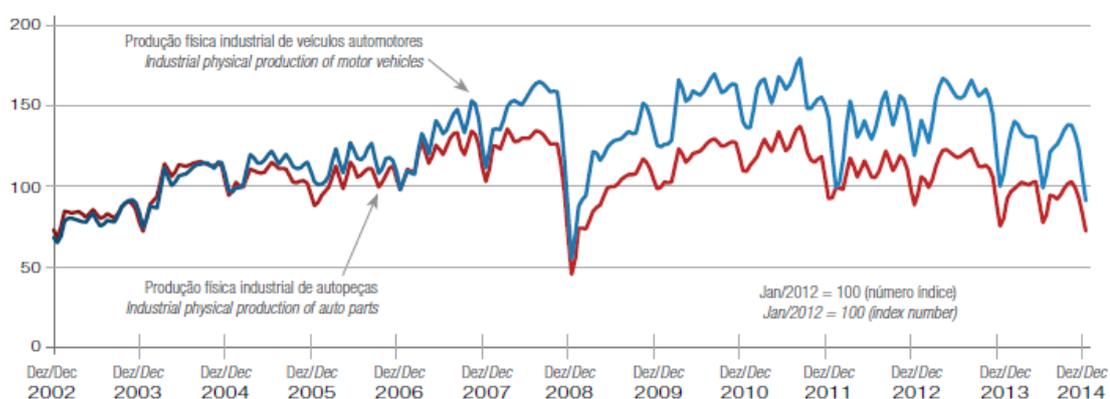


FIGURA 1: PRODUÇÃO FÍSICA INDUSTRIAL 2002-2014. FONTE: SINDIPEÇAS (2015).

Posteriormente ao ano de 2007, nota-se diferenças entre as produções industriais de veículos automotores x autopeças, o que pode ser evidenciado pelo aumento das importações neste período devido à valorização do real frente ao dólar.

Devido à globalização e à existência de inúmeras companhias nacionais e internacionais no mercado competitivo atual, a busca incessante pelo melhor aproveitamento de recursos torna-se indispensável com a finalidade de reduzir custos operacionais e otimizar processos produtivos. Diante deste cenário o Planejamento e Controle da Produção (PCP) desempenha papel primordial na gestão de operações das organizações.

Segundo Tocha (2014), as empresas estão envolvidas em um ambiente de acirrada competição com a finalidade de oferecer um pleno atendimento referente às expectativas e necessidades dos clientes, além da redução de custos. Para almejar a melhoria nos processos produtivos, estes fatores tornam-se essenciais.

Gradativamente as condições de mercado têm estimulado, ao longo das últimas décadas, empenho significativo na gestão de operações na indústria de uma forma geral, resultando em melhorias na tomada de decisões táticas e estratégicas, como, por exemplo, sequenciamento de produção e planejamento de capacidade na indústria (BALDEA; HARJUNKOSKI, 2014).

Davis, Aquilano e Chase (2001) e Tocha (2014) destacam que, para as organizações se manterem competitivas, é desejável possuir processos flexíveis, que possam atender as necessidades e exigências dos clientes. Portanto, quanto maior a flexibilidade no processo produtivo, mais complexa será a programação de produção. Com o intuito de atender estas necessidades, é essencial possuir na organização uma programação eficiente atrelada a um sequenciamento de produção otimizado.

Para Toso e Morabito (2005), temas relacionados ao PCP exercem um importante papel para o desempenho das organizações, pois envolvem

inúmeras informações que devem ser avaliadas concomitantemente, com intuito de otimizar a utilização dos recursos envolvidos. Para se obter a excelência na gestão de operações, o planejamento deve analisar o dimensionamento e sequenciamento de lotes de produção.

Neste contexto, pode-se afirmar que as mudanças de necessidades por parte dos clientes, ora por flutuações de demanda ou por variações de produto, ou ainda pela adequação da capacidade de produção, impactam diretamente no sequenciamento de produção, influenciando negativamente os indicadores de desempenho.

A ausência de um planejamento traz uma série de impactos negativos para o sistema de produção, pois o PCP não analisa o processo e a capacidade de produção, mas apenas define o roteiro de produção. O roteiro de produção indica o fluxo de produção e quais máquinas serão utilizadas por meio de uma ordem de vendas.

Para Toso (2008), o sequenciamento tem a incumbência de determinar a ordem de produção dos lotes, com intuito de minimizar os tempos de preparação que são dependentes da sequência produtiva. Uma condição ideal para otimizar os tempos de preparação é agregar lotes de produção do mesmo produto. Entretanto, as variações de demanda e altos custos de estocagem são fatores que influenciam nesta estratégia.

Além de minimizar os tempos de preparação um sequenciamento eficiente traz outros benefícios para os sistemas de produção, dentre estes benefícios, pode-se citar: menor custo de produção e de falhas, otimização no gerenciamento de matéria-prima e insumos, decisão com maior nível de assertividade e melhor utilização da capacidade de produção. Com um sequenciamento eficiente os sistemas de produção desfrutam destes benefícios, obtendo como resultado em relação aos trade-offs de produção: qualidade (produtos e serviços na qualidade requerida), custo (conforme planejado, isento de variação) e *delivery* (entrega no prazo estimado), assegurando assim, a satisfação do cliente.

No ambiente competitivo em que as organizações estão inseridas, a coordenação de produção, realizada pelo Planejamento e Controle da Produção, e os problemas de entrega têm sido amplamente discutidos. Na literatura estas questões são abordadas em diferentes ramos da indústria, tais como:

- Toso e Morabito (2005) analisaram uma empresa do setor de nutrição animal para otimizar o dimensionamento e sequenciamento de lotes de produção;
- Karwat (2012) avaliou os sistemas de produção de uma indústria de aço com a finalidade de realizar simulações para determinar a quantidade ideal de materiais semiacabados;
- Low *et al.* (2014) aplicaram a simulação em uma rede de varejistas com a finalidade de determinar a sequência para entrega de mercadorias dentro de janelas de tempo;
- Varas *et al.* (2014) avaliaram o planejamento de operações de recursos naturais, devido à incerteza destes recursos. A programação de produção para serrarias (processo de transformação de toras de madeira) apresenta desafios em relação à disponibilização da matéria-prima e no atendimento dos pedidos de produtos acabados;
- Virgínio da Silva *et al.* (2014) realizaram um estudo para otimizar a programação de produção de uma indústria aeronáutica. Esta indústria é caracterizada pela ausência de espaço físico referente ao tamanho das peças, que interferem na programação de produção devido às restrições de adjacência.

Com o intuito de estabelecer continuamente a excelência no resultado das companhias, os gestores são fortemente cobrados em desenvolver e disseminar as ferramentas de melhoria contínua, com a finalidade de eliminar os desperdícios provenientes do sistema de produção. A adoção destas

ferramentas permite alcançar níveis de qualidade exigidos em produtos e serviços, além da redução dos custos de processos.

Womack e Jones (1998) citam que Taiichi Ohno, passava a maior parte do tempo no chão de fábrica identificando as atividades que agregam e não agregam valor.

Chauhan e Singh (2012) destacam que o *lean manufacturing* evoluiu a partir do pensamento enxuto, sendo o principal meio para eliminar os desperdícios, definidos como qualquer atividade que absorva recursos, mas que não criam nenhum valor. A finalidade deste pensamento é aumentar o trabalho de valor agregado, eliminando sete tipos básicos de desperdícios: superprodução, movimentação, espera, transporte, superprocessamento, estoques e defeitos (refugo ou retrabalho).

Para Liker (2004), Taiichi Ohno considerava como a perda mais importante a superprodução, pois este desperdício tem como característica desencadear a maioria dos outros tipos de perda. Produzir antes do período solicitado ou de maneira demasiada, atividades que não são pagas pelo cliente, em qualquer operação do processo de produção, gera basicamente à formação de estoques entre os processos.

Embora exista uma variedade de métodos para resolução de problemas, a criação de cenários, com intuito de analisar as diferentes estratégias do sequenciamento de produção, não é classificada como uma atividade trivial em função da natureza combinatória. Logo, a simulação computacional auxilia de maneira ágil na criação de diferentes modelos virtuais integrando sequenciamento de produção e ferramentas do *lean*, permitindo analisar as variáveis do sistema de produção.

Uma das maiores aplicações da simulação computacional está na manufatura (LAW; MCCOMAS, 1999). Neste contexto, a aplicação da simulação em ambientes de produção traz benefícios, como, por exemplo: dimensionamento de recursos (equipamentos e pessoas), tomada de decisão, gerenciamento e inserção de *buffers*, programação de produção, planejamento de capacidade, análise e evolução de *performance*, avaliação de procedimentos operacionais e

mensuração de desempenho operacional (LAW e MCCOMAS, 1999; WILLIAMS, 2014).

Shannon (1998) destaca que a simulação pode ser considerada uma poderosa ferramenta para a tomada de decisão, sendo responsável pela concepção e operação de processos de sistemas complexos. Deste modo, esta ferramenta permite realizar estudos, análises e avaliações de situações que não seriam possíveis na vida real, ou ainda situações que exigem custo e tempo elevados.

Além disso, sendo utilizada corretamente, a simulação é uma força poderosa para a aprendizagem organizacional (WILLIAMS, 2014).

Este trabalho atua na otimização do sequenciamento de produção em uma indústria de autopeças por meio de diferentes estratégias de sequenciamento, levando em consideração a capacidade instalada de forma holística, contemplando toda a cadeia de um processo de produção. Um sequenciamento embasado pela simulação computacional e na utilização de ferramentas *lean* com intuito de analisar e avaliar diferentes cenários, e a partir disto, estabelecer um processo de produção otimizado.

## **1.2. PROBLEMA DE PESQUISA**

Considerando o cenário exposto, a questão relacionada ao problema de pesquisa que será respondida pelo presente trabalho é:

“Como analisar e otimizar o sequenciamento de produção integrando a simulação e ferramentas *lean*”.

Devido aos processos produtivos estarem evoluindo e tornando-se cada vez mais complexos e dinâmicos, a análise destes sistemas de forma ágil, permite que as empresas permaneçam competitivas.

Segundo Tocha (2014), diante deste cenário, com intuito de acatar as necessidades da empresa, profissionais estão buscando uma constante atualização, como, por exemplo os programadores de produção.

No intuito de definir o melhor sequenciamento possível, deve-se racionalizar a utilização dos recursos produtivos. Por este motivo, o estudo referente a sequenciamento torna-se relevante.

Com a finalidade de solucionar o problema de pesquisa deste estudo, diferentes estratégias de sequenciamento de produção serão abordadas por meio da simulação computacional com objetivo de analisar e avaliar diferentes cenários, levando em consideração indicadores de desempenho.

### **1.3. OBJETIVOS DO TRABALHO**

Os objetivos deste trabalho são classificados e divididos em objetivo geral e específicos, detalhados a seguir.

#### **1.3.1. OBJETIVO GERAL**

O objetivo geral deste trabalho é otimizar o sequenciamento de produção por meio de diferentes estratégias de sequenciamento, integrando a simulação computacional com as práticas do *lean*.

#### **1.3.2. OBJETIVOS ESPECÍFICOS**

Com intuito de alcançar o objetivo principal, os seguintes objetivos específicos são evidenciados:

- Aplicar a integração da simulação e ferramentas *lean* com diferentes estratégias de sequenciamento;
- Simular cenários e verificar as possibilidades de otimização dos indicadores de desempenho do processo avaliado;
- Comparar e avaliar diferentes cenários propostos, destacando os pontos fortes e fracos de cada modelo.

#### 1.4. DELIMITAÇÃO DO TRABALHO

Os resultados de uma simulação computacional, devido à técnica utilizada, fornecem um modelo transferido do sistema real, abrangendo uma faixa de erro.

Adicionalmente, os dados básicos para propor um sequenciamento de produção otimizado são oriundos de um período de tempo pré-determinado. Sob este cenário, as implicações encontradas são válidas somente para o período avaliado.

#### 1.5. VISÃO MACRO DA PESQUISA

Posteriormente ao problema, objetivos e à delimitação deste trabalho apresentados, o método de pesquisa neste trabalho adotará o roteiro descrito na Figura 2.

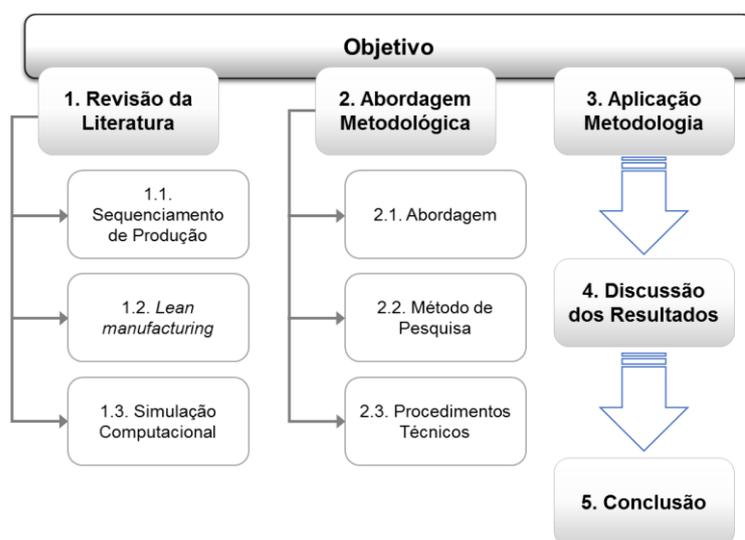


FIGURA 2: VISÃO MACRO DA PESQUISA.

Para atingir o objetivo proposto deste trabalho, a pesquisa foi dividida em revisão de literatura, abordagem metodológica, aplicação da metodologia, resultados e conclusão.

A revisão de literatura deste presente trabalho envolve o Planejamento e Controle da Produção (PCP) com foco no sequenciamento de produção, ferramentas do *lean manufacturing* e a simulação computacional. Estes temas se consolidam e servem de apoio para o desenvolvimento da pesquisa. Em seguida, a abordagem metodológica é apresentada com objetivo de explanar o método escolhido para dirigir o estudo proposto, aplicando a metodologia de forma correta no desenvolvimento da pesquisa.

## **1.6. ESTRUTURA DO TRABALHO**

Este trabalho está dividido em seis capítulos, conforme detalhados:

Capítulo 1 – Introdução: este capítulo aborda a contextualização do problema, objetivos geral e específicos, a delimitação do trabalho e a estrutura do trabalho.

Capítulo 2 – Revisão da Literatura: este capítulo tem como finalidade oferecer suporte para a interpretação e análise dos resultados, sendo dividido em:

2.1. Sequenciamento de Produção: relata o funcionamento do Planejamento e Controle da Produção, com ênfase no sequenciamento de produção;

2.2. *Lean manufacturing*: estuda a evolução histórica desta metodologia até a aplicação de suas ferramentas.

2.2. Simulação computacional: explica a aplicação da simulação em ambientes de manufatura.

Capítulo 3 – Abordagem Metodológica: apresenta os procedimentos metodológicos que serão utilizados no desenvolvimento deste trabalho.

Capítulo 4 – Desenvolvimento da Pesquisa: concentra-se em realizar um estudo dirigido com a finalidade de otimizar o sequenciamento de produção.

Capítulo 5 – Conclusões: neste último capítulo são apresentadas as conclusões finais após a discussão dos resultados obtidos de acordo com os objetivos que foram propostos, sendo apoiadas pela metodologia utilizada no desenvolvimento deste trabalho.

Capítulo 6 – Referências Bibliográficas: relação das referências que serviram de base para o desenvolvimento deste trabalho.

## 2. REVISÃO DA LITERATURA

Este capítulo tem como finalidade abordar os conceitos que serão adotados como base para interpretar os resultados adquiridos em relação aos objetivos e métodos apresentados. Para um melhor entendimento dos conceitos estudados, este capítulo está dividido em subcapítulos.

### 2.1. SEQUENCIAMENTO DE PRODUÇÃO

As empresas, como qualquer outra atividade de produção, podem ser analisadas de acordo com o modelo input-transformação-output, que transforma entradas (insumos), por meio de um processamento, em saídas (produtos e/ou serviços) esperados pelo cliente. Este sistema é denominado de sistema produtivo (CORRÊA; GIANESI; CAON, 2007; TUBINO, 2009; FERNADES; GODINHO FILHO, 2010).

A Figura 3 evidencia o processo de transformação na gestão de produção, sendo importante salientar que o acompanhamento de indicadores é essencial para a melhoria contínua nos processos de produção.

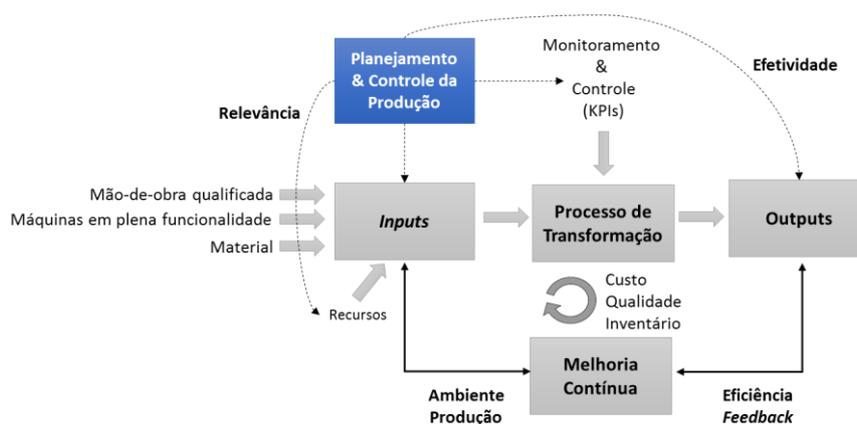


FIGURA 3: PROCESSO DE TRANSFORMAÇÃO INTEGRADO COM O PCP.

FONTE: ADAPTADO DE TUBINO (2009).

Stevenson (2009) destaca que a parte da organização que realiza a transformação de uma série de entradas em saídas (produtos), com o nível de qualidade exigido, é denominada função produção. Pode-se afirmar que a produção é um processo que agrega valor.

Mesquita e Santoro (2004) destacam que na Engenharia de Produção, as áreas de Planejamento e Controle da Produção e a logística tradicionalmente apresentam maior potencial para desenvolver e aplicação de modelos de otimização. Neste aspecto, Johnson e Montgomery (1974) e Hax e Candea (1984) constituem duas referências clássicas referentes a problemas de planejamento, programação e sequenciamento de produção.

Segundo Johnson e Montgomery (1974), Hax e Candea (1984) e Toso (2008), realizar o planejamento da produção demanda definir metas para um estado futuro otimizado, denominada horizonte de planejamento, que tem como finalidade aprimorar o uso de recursos produtivos para atender as demandas do mercado. As informações necessárias (*inputs*) para suportar estas atividades são: níveis e políticas de estoque, pedidos de clientes, previsões de demanda, estoque em processo – WIP, capacidade produtiva, disponibilidade de matéria-prima e insumos e padrões na cadeia produtiva.

As organizações necessitam aperfeiçoar seus sistemas produtivos almejando o aumento de produtividade por meio da melhoria contínua, criando sistemas flexíveis e sustentáveis com *lead time* e estoques reduzidos em relação as necessidades dos clientes. A integração destes aspectos traz como consequência a importância de aprimorar os sistemas. Com intuito de buscar essa excelência, as funções do PCP (planejamento, programação e controle) são responsáveis por comandar, coordenar e controlar os processos produtivo, por isso são caracterizadas como imprescindíveis (LUSTOSA *et al.* 2008).

Sob este cenário, as organizações buscam incessantemente minimizar custos de produção e *lead time* de entrega, maximizar o aproveitamento da mão-de-obra e a eficiência de máquinas e processos. As necessidades do chão-de-fábrica estão diretamente atreladas a programação da produção, na qual

surtem os problemas relacionados com sequenciamento de produção (TUBINO, 2009).

Para Toso (2008), os objetivos específicos referentes as atividades do PCP em um sistema produtivo são: estabelecer quantidades a serem produzidas em cada produto (lotes), processo ou processos alternativos; determinar níveis de produção para cada posto de trabalho e gerenciar os recursos. Vale ressaltar que, para atingir a meta traçada pelo PCP, é importante que os objetivos estejam alinhados com os objetivos da empresa.

Godinho Filho e Fernandes (2005) destacam que nos sistemas de produção há existência de *trade offs* que devem ser levados em consideração na projeção de sistemas de produção. Deste modo, as empresas devem concentrar os esforços em um número reduzido de objetivos.

É de suma importância que a produção esteja alinhada e siga a programação gerada pelo PCP, pois, o planejamento é responsável por disponibilizar a programação e fornecer os recursos para realizar o processo de transformação. O PCP é responsável por gerenciar e disponibilizar as informações necessárias para a produção com transparência. Estas informações abastecem todo o sistema produtivo, tanto na disponibilização de insumos e recursos a serem transformados, como a quantidade de peças e prazo em que os produtos devem ser entregues para os clientes.

A principal função do Planejamento e Controle da Produção é desenvolver planos de produção para nortear e controlar a produção, por meio da organização de informações, recursos e controle na tomada de decisão. Sintetizando, o PCP é responsável por catalisar, condensar e distribuir as informações oriundas de diversas áreas (TOSO, 2008; TUBINO, 2009).

Tubino (2009) destaca que o horizonte de um sistema produtivo é dividido em três níveis: o longo (nível estratégico), o médio (nível tático) e o curto prazo (nível operacional). O nível estratégico é responsável por montar um plano de produção, baseado no plano de vendas, com intuito de verificar a capacidade de produção sendo responsável pelo desempenho operacional. Posteriormente

ao plano de produção estruturado, parte-se para o nível tático, que tem o compromisso de planejar o uso da capacidade instalada para atender às previsões de vendas ou pedidos em carteira já negociados com os clientes. Por fim, o nível operacional tem a incumbência de executar a Programação da Produção, com o intuito de entregar o solicitado pelo cliente. A Figura 4 apresenta as funções do PCP e seu fluxo de informações.

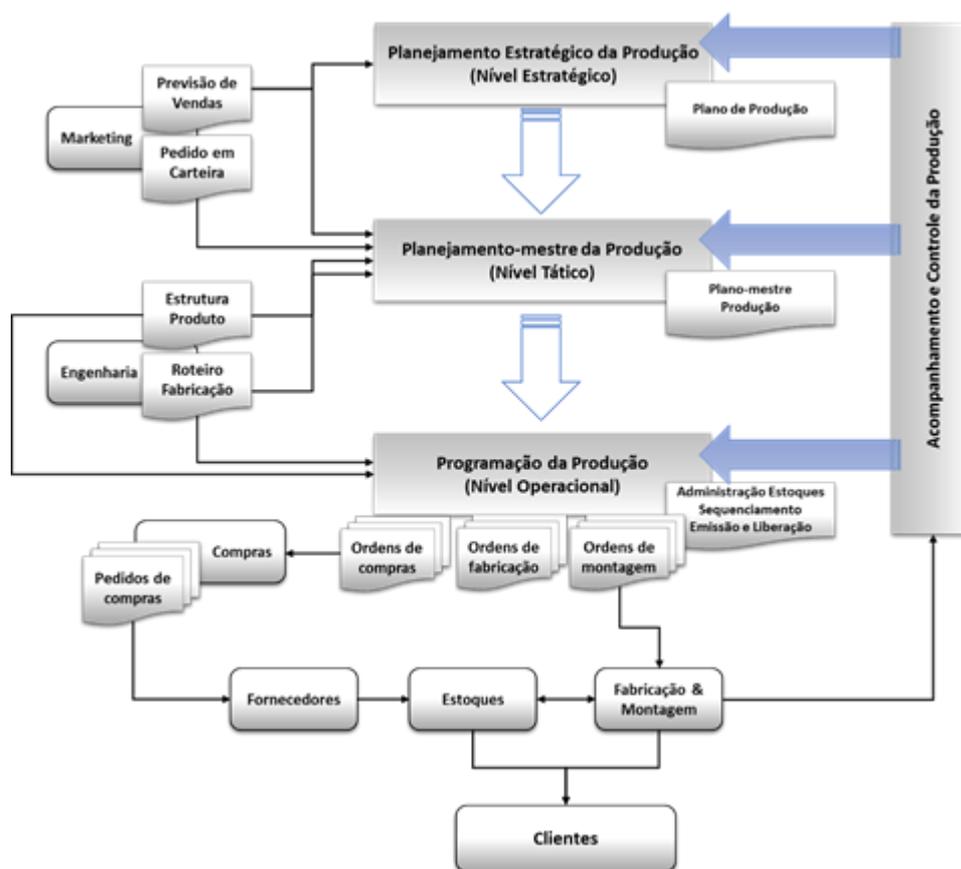


FIGURA 4: FLUXO DE INFORMAÇÃO PRESENTE NO PCP.

FONTE: ADAPTADO DE TUBINO (2007).

A mudança de estratégia no curto prazo ocasionará implicações negativas em diferentes setores produtivos, não havendo tempo hábil para sincronizar o processo como um todo. Deste modo, uma área de preocupação para muitas empresas de manufatura encontra-se no nível operacional, pois neste patamar

de planejamento, não há margem para erro, significando desperdício. Esta condição impacta diretamente no fornecimento de seus produtos a tempo aos seus clientes.

Drexl e Kimms (1997) e Toso e Morabito (2005) descrevem que o sequenciamento, dimensionamento e a programação de lotes de produção são temas comumente discutidos na tomada de decisão do PCP. Entretanto, a conciliação destes temas torna-se uma dificuldade para a indústria devido algumas particularidades: ausência de planejamento na programação da produção, flutuações de demanda e desperdícios presentes no processo, ocasionando perda de eficiência.

A flexibilidade referente à operação produtiva é constituída como uma das principais dificuldades do PCP nas organizações, sendo problema associado ao dimensionamento de lotes no qual consiste em determinar quando e quanto produzir de um determinado produto (LUSTOSA *et al.* 2008).

Segundo Vörös (2012), a flexibilidade pode ser denominada como um dos temas mais antigos referentes à gestão de operações. A principal particularidade dos sistemas em massa são os grandes lotes de produção, ao contrário do *Just-In-Time* (JIT) e do *lean manufacturing* que tem como característica a eliminação de desperdícios no sistema de produção por meio da diminuição dos lotes de produção com intuito de reduzir os custos de estoque. Em contrapartida lotes menores de produção aumentam a frequência de setup.

De acordo com Karimi *et al.* (2003), o planejamento da produção é uma atividade que analisa a melhor utilização dos recursos produtivos, com o propósito de alcançar as metas de produção ao longo de um determinado tempo, sendo denominado como horizonte de planejamento.

As decisões adequadas no dimensionamento de lotes afetam diretamente o desempenho do sistema e a produtividade que são essenciais para a capacidade de uma empresa para competir no mercado. As complexidades dos

problemas de dimensionamento são referentes às seguintes características (KARIMI *et al.* 2003):

- Horizonte de planejamento: definido como o intervalo de tempo em que o Planejamento Mestre da Produção projeta-se para o futuro. O horizonte pode ser finito ou infinito. Um horizonte finito é acompanhado pela demanda dinâmica e um horizonte de planejamento infinito pela demanda estacionária;
- Número de níveis: são classificadas em sistemas nível único ou multinível. Sistema de nível único é caracterizado pelo produto final simples, sendo que as matérias-primas, após o processamento por uma única operação são alteradas para o produto final. Em contrapartida, em sistemas multinível, há uma relação entre componentes e itens, constituindo que as matérias-primas após o processamento por várias operações alteram o produto final;
- Número de produtos: a quantidade de itens finais ou produtos finais em um sistema de produção é uma característica importante que afeta a modelagem dos problemas de planejamento de produção. São classificadas em dois grupos de sistema de produção em termos do número de produtos, sendo: único e multi-item. Planejamento de produção único é caracterizado por apenas um produto final, enquanto no planejamento de produção multi-item existem vários itens finais;
- Capacidade ou restrições de recursos: recursos ou capacidades em um sistema de produção incluem mão-de-obra, equipamentos, máquinas, entre outros. Não havendo nenhuma restrição sobre os recursos, o problema é definido como incapacitado, em contrapartida, havendo limitações de capacidade, o problema é descrito como capacitado;
- Demanda: classificados em demanda estática e demanda dinâmica. Na demanda estática o valor não muda ao longo do tempo, estando parada ou constante, enquanto que a demanda dinâmica muda de valor ao longo do tempo;

- Setup: classificados em setup simples e complexo. Tempo de *setup* e custo em um período de tempo independentes é denominado *setup* simples. Mas, se houver dependência em relação a sequência ou períodos, é denominado *setup* complexo;
- Inventário: em algumas organizações é permitido que a demanda atual possa ser atendida em períodos futuros (atrasos);

Fernandes e Godinho Filho (2010) caracterizam o Planejamento Mestre da Produção (MPS – *Master Production Schedule*) que está localizado no nível tático do PCP como atividade precursora do controle da produção, pois tem a finalidade de estabelecer quais produtos devem ser fabricados, período de tempo e as quantidades.

Segundo Drexel e Kimms (1997), as matérias-primas e componentes necessários para se obter o produto final, permanecem fluindo simultaneamente no sistema.

Vieira e Favaretto (2006) e Jonsson e Ivert (2015) definem Planejamento Mestre da Produção como um método de desenvolvimento de planos de produção, com a finalidade de identificar os produtos a serem fabricados. Deste modo, pode-se afirmar que o MPS coordena as operações e os processos de produção. Adicionalmente, este método fornece informações para o gerenciamento de pedidos entre clientes e a produção, bem como resolve os conflitos entre vendas e produção.

Atualmente, o Planejamento e Controle da Produção sofrem pressões dos setores de vendas nas organizações, e são obrigados a cederem devido aos contratos assinados entre a empresa e os clientes. Diante deste cenário o Planejamento Mestre da Produção não exerce sua função, abstendo de utilizar a capacidade instalada. Neste aspecto, a programação da produção acaba ditando o ritmo da produção por meio do sequenciamento da produção, alocado no curto prazo do PCP. Nesta etapa do planejamento a ocorrência de falhas é potencializada, interferindo na entrega dos produtos aos clientes.

Tocha (2014) destaca que a dificuldade da programação da produção é alocar as operações, máquinas e a programação destas operações em cada máquina. Em suma, determinar qual a sequência e em qual período do planejamento serão realizadas. O sequenciamento de recursos é considerado um problema recorrente da programação da produção, sofrendo punições tanto no atraso de produção, como nos custos.

Os objetivos para assegurar que a programação da produção realize suas tarefas com êxito são (DAVIS; AQUILANO; CHASE, 2001):

- Priorizar as datas de entrega aos clientes;
- Otimizar os tempos mortos do processo, máquinas e dos colaboradores;
- Diminuir o estoque em processo – WIP;
- Reduzir tempos e custos de setup;
- Minimizar *lead times*;
- Reduzir o tempo de processamento.

O desempenho da programação da produção pode ser otimizado levando em consideração regras de prioridade, quando selecionadas com critério. Como benefício, a programação elaborada corretamente procura o equilíbrio entre seus objetivos (MOREIRA, 2008).

A resolução de problemas referente a programação da produção tornou-se comum nos dias de hoje, devido as cobranças exercidas pelas organizações. Na literatura, existem diversos estudos que tem o intuito de melhorar os métodos existentes ou desenvolver novas metodologias. Porém, encontrar uma metodologia ou técnica que possa ser aplicada em todos os casos é praticamente improvável, pois, cada empresa tem a sua particularidade e cada problema demanda algumas prioridades determinadas pela regra de prioridade e critério de desempenho (TOCHA, 2014).

Segundo Tubino (2009) as regras de sequenciamento, conforme a Figura 5, são heurísticas utilizadas para selecionar por meio de informações sobre característica dos itens, lotes ou estado do sistema produtivo. De modo geral, as informações são relacionadas com tempo de processamento (custo) e data de entrega (atendimento ao cliente).

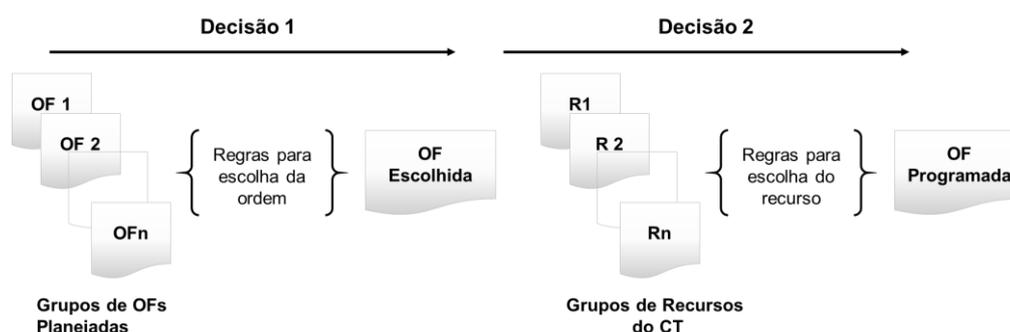


FIGURA 5: DECISÕES DO SEQUENCIAMENTO NA PRODUÇÃO EM LOTES.

FONTE: TUBINO (2009).

As regras de sequenciamento mais utilizadas na prática são ilustradas na Tabela 1, na qual cada uma tem sua aplicabilidade restrita à determinada situação de fábrica, pois não existem regras de sequenciamento que sejam eficientes em todas as situações. As regras mais utilizadas são (TUBINO, 2009; GODINHO FILHO; FERNANDES, 2010):

- FIFO – *First In First Out*: regra mais simples, sendo empregada normalmente em sistemas de serviço, na qual o cliente esteja presente e percebe a posição em relação à fila de espera. Esta regra tem como propriedade lotes com tempos longos retardem toda a sequência de produção, gerando tempo ocioso nos processos;
- SPT – *Shortest Processing Time* ou MTP – Menor Tempo de Processamento: tem como característica *lead time* médio baixo, reduzindo estoques em processo, agilizando a alimentação das

máquinas subsequentes, e melhorando o nível de atendimento ao cliente. Em contrapartida, esta regra faz com que tempos longos de processamentos sejam preteridas;

- EDD – *Earliest Due Date* ou MDE – Menor Data de Entrega: prioriza as datas de entrega dos lotes, fazendo com que os atrasos se reduzam, conveniente em processos que trabalham sob encomenda. Porém, não leva em consideração o tempo de processamento, gerando lotes com potencial de conclusão rápido fiquem aguardando;
- As demais regras, como Índice Crítico (ICR), Índice de Folga (IFO) e Índice de Falta (IFA) são baseadas em cálculos de índices que são empregadas em sistemas informatizados de sequenciamento. As regras ICR e IFO estão baseadas no conceito de folga entre a data de entrega do lote e o tempo de processamento, sendo que a regra IFO considera todas as operações. Estas duas opções privilegiam o atendimento ao cliente, entretanto a regra IFA relaciona os estoques atuais com a demanda, e busca evitar que os estoques se esgotem causando prejuízo ao fluxo produtivo.

Para Tocha (2014), a sequência de produção pode ser estabelecida levando em consideração alguns objetivos, tais como: cumprir datas previstas antes do término, velocidade de fluxo, otimizar utilização das máquinas e minimizar custos de produção.

Segundo Lustosa *et al.* (2008), a otimização da utilização de sistemas e máquina e a minimização da ociosidade dos recursos estão diretamente atreladas com o objetivo de reduzir custos de produção nas organizações, diferencial para as empresas que estão inseridas no mercado competitivo. Mas a capacidade de produção está situada no maior nível hierárquico do planejamento, denominado estratégico.

Pinedo (2009) destaca que a dificuldade em realizar sequenciamento está atrelada aos métodos utilizados na alocação de recursos e equipamentos para executar o processo de tarefas sob um determinado período de tempo. O termo

sequenciamento abrange três elementos essenciais: i) denominação dos recursos (recurso adequado para uma atividade conhecida), ii) sequenciamento de atividades (ordem de execução das atividades pelos recursos), e iii) tempo de utilização dos recursos pelas respectivas atividades.

TABELA 1: REGRAS DE SEQUENCIAMENTO EM PROCESSOS EM LOTES.

FONTE: TUBINO (2009).

Sigla	Especificação	Definição
FIFO	<i>First In First Out</i>	Tarefas são processadas na mesma sequência em que chegam na instalação
SPT (MTP)	<i>Shortest Processing Time</i> (Menor Tempo de Processamento)	Os lotes serão processados de acordo com os menores tempos de processamento no recurso
EDD (MDE)	<i>Earliest Due Date</i> (Menor Data de Entrega)	Os lotes serão processados de acordo com as menores datas de entrega
IPI	Índice de Prioridade	Os lotes serão processados de acordo com o valor da prioridade atribuída ao cliente ou ao produto
ICR	Índice Crítico	Os lotes serão processados de acordo com o menor valor de: $\frac{(data\ de\ entrega - data\ atual)}{Tempo\ de\ Processamento}$
IFO	Índice de Folga	Os lotes serão processados de acordo com o valor de: $\frac{Data\ de\ Entrega - \sum tempo\ de\ processamento\ restante}{Número\ de\ Operações\ Restantes}$
IFA	Índice de Falta	Os lotes serão processados de acordo com o menor valor da proporção: quantidade em estoque/taxa de demanda

A função de sequenciamento é avaliada como crítica para a performance do sistema produtivo em lotes, pois a maior parcela do *lead time* de um produto

fabricado em lotes compreende o tempo que o lote deste produto espera para ser trabalhado em um recurso. Caso essa função não seja estruturada, este tempo pode totalizar 80% do tempo total (TUBINO, 2009).

## **2.2. LEAN MANUFACTURING**

A abordagem da melhoria contínua (*Continuous Improvement* – CI) em produtos e nos processos que os cercam tem sido fonte de vantagens competitivas para diversas empresas sob segmentos distintos ao redor do mundo (GODINHO FILHO; UZSOYM, 2009).

O conceito lean originou no Japão após a Segunda Guerra Mundial, quando os fabricantes japoneses perceberam que não podiam arcar com o investimento maciço necessário para reconstruir instalações devastadas. Essa data também marcou um recomeço para a *Toyota Motor Company*, no qual o presidente em exercício, Toyoda Kiichiro afirmou que se o Japão não alcançasse os Estados Unidos em três anos a indústria automobilística do país não iria sobreviver. Para atingir a meta, o primeiro passo era conhecer os Estados Unidos e aprender sobre seus métodos (OHNO, 1997; BHAMU; SANGWAN, 2014).

Womack e Jones (2004) citam que um jovem engenheiro chamado Eiji Toyoda destacou que a Toyota necessitava aperfeiçoar seu sistema de produção após uma peregrinação no maior e mais eficiente complexo fabril na época, fábrica Rouge da Ford, situada em Detroit. Porém, adotar o sistema de produção visto na Ford era inviável, pois o Japão possuía algumas restrições tais como:

- Mercado doméstico era restrito;
- Força de trabalho nativa não estava predisposta a ser tratada como custo variável ou peça intercambiável;
- Aquisição de tecnologias de produção mais recentes em larga escala era impraticável devido ao país na época, estar devastado pela guerra;

- O mercado externo estava cheio de produtores de veículos motorizados, preparados para defender seus mercados consagrados contra as exportações japonesas.

Após a publicação do livro *A Máquina que Mudou o Mundo* por Womack e Jones, em 1990, foi demonstrada a diferença de desempenho entre a Toyota e as outras montadoras ocidentais, além de ter evidenciado o termo produção enxuta ou *lean manufacturing*. Até meados dos anos 1990, período de consciência desta filosofia, a manufatura era baseada na fabricação de automóveis e na dificuldade de lidar com a variabilidade na demanda (HINES; HOLWEG; RICH, 2004).

Desde que o termo *lean* foi divulgado esta filosofia evoluiu durante os anos, sendo aplicada em todas as áreas das organizações. Percebeu-se que a distinção do pensamento enxuto no nível estratégico e no nível operacional é crucial para aplicar estratégias adequadas com a finalidade de fornecer valor ao cliente por meio de ferramentas do *lean manufacturing* (BHAMU; SANGWAN, 2014).

Para Shah e Ward (2003), os crescentes desafios de concorrentes globais durante as últimas décadas, levaram muitas organizações de manufatura a adotar novas abordagens de fabricação. Com este intuito, o conceito de produção enxuta caracterizado como uma abordagem holística que abrange uma variedade de práticas de gestão incluindo: sistemas de qualidade, equipes de trabalho, manufatura celular, gestão de fornecedores, entre outros, passou a ser adotado em diversas empresas. Estes métodos devem trabalhar em sinergia para criar um sistema de qualidade, produzindo no ritmo da demanda do cliente com pouco ou nenhum desperdício.

Elmoselhy (2013) define manufatura enxuta como um método de produção que considera como desperdício os recursos gastos para qualquer atividade ou objetivo que não tenha como finalidade a criação de valor para o cliente final. Esta técnica proporciona aumento da eficiência, diminuindo os desperdícios, em que muitas vezes são invisíveis no sistema.

Bhamu e Sangwan (2014) definem manufatura enxuta como uma metodologia que visa produzir produtos e serviços com o menor custo, e tão rapidamente quanto requerido pelo cliente. A finalidade de responder ao cliente em um menor tempo reduz os desperdícios, tornando a empresa mais rentável.

Os princípios do pensamento enxuto foram amplamente aceitos por diversos gestores de produção, e têm sido aplicados com sucesso em diversas áreas das organizações. A Tabela 2, embasada no estudo de Bhamu e Sangwan (2014), apresenta diferentes versões e conceito sobre o *lean manufacturing* e as características associadas a cada autor.

Pode-se salientar que o conceito do *lean manufacturing* possui diferentes definições sob ópticas distintas ao longo do tempo. A evolução do termo *lean* é evidenciada devido as necessidades das organizações em otimizar os sistemas de produção e devido a necessidades impostas pelo cliente ou pelo mercado competitivo.

Womack e Jones (1994) definem que o conceito de produção enxuta é caracterizado como um modelo de produção integrando ferramentas distintas. Liker (1996) caracteriza o *lean* pela iminência em se reduzir o *lead time* de produção. Para Cooper (1996) o *lean* passa a ser um importante componente que auxilia as organizações no mercado competitivo perante seus concorrentes. Liker e Wu (2000) citam uma preocupação crescente em torno da qualidade dos produtos oriundos dos sistemas de produção, pois a produção a todo custo não era mais satisfatória para os clientes. Hopp e Spearman (2004) destacam que a produção passa a se comportar como um sistema integrado com o propósito de se produzir com custos mínimos.

De acordo com Holweg (2007), o foco passa a ser na eliminação de quaisquer tipos de desperdícios presentes nos sistemas de produção com o propósito de reduzir custos. A identificação de desperdícios é realizada por meio de uma análise da cadeia de valor, estendendo-se desde na organização ao longo da cadeia de suprimentos. Neste aspecto, o pensamento enxuto procura abranger também os fornecedores e os clientes.

A definição de Hallgren e Olhager (2009) evidencia a preocupação das organizações em utilizarem ferramentas e métricas do pensamento enxuto como são ilustradas em Taj e Morosan (2011), com intuito de aumentar a eficiência das operações. Esta preocupação acaba influenciando diretamente no lucro das empresas

TABELA 2: DEFINIÇÕES DE LEAN MANUFACTURING SOB ÓPTICAS DISTINTAS.

FONTE: ADAPTADO DE BHAMU E SANGWAN (2014).

#	Autor	Definição <i>Lean Manufacturing</i>
1	Womack <i>et al.</i> (1990, 2004)	<i>Lean</i> é uma metodologia dinâmica de transformação incentivado por um conjunto sistemático de princípios e melhores técnicas que se propõem a melhoria contínua. Manufatura enxuta integra as melhores práticas de produção em massa e artesanal.
2	Womack e Jones (1994)	O conceito de produção enxuta é caracterizado como um modelo de produção integrando ferramentas distintas, procedimentos e estratégias no desenvolvimento de produtos, gestão de suprimentos e gestão de operações de modo geral.
3	Womack e Jones (1996)	<i>Lean</i> denota um sistema que utiliza menos <i>inputs</i> para criar os mesmos <i>outputs</i> em um sistema de produção, aumentando a variabilidade para o cliente final
4	Liker (1996)	Filosofia que quando praticada reduz o <i>lead time</i> , desde o pedido até a entrega ao cliente, eliminando fontes de desperdício no fluxo de produção
5	Cooper (1996)	A produção enxuta é um sistema projetado que auxilia no mercado competitivo, ao invés de evitar a concorrência, deve-se enfrentar de frente
6	Liker e Wu (2000)	Metodologia de fabricação que se concentra em fornecer produtos de qualidade no tempo e com o menor custo
7	Hopp e Spearman (2004)	Produção enxuta é caracterizada como um sistema integrado que realiza a produção de bens ou serviços com custos mínimos
8	Shah e Ward (2007)	<i>Lean</i> poder ser denominada como filosofia de gestão, com foco na identificação e eliminação de desperdícios ao longo de toda cadeia de valor, que se estende na organização, e também, ao longo de toda a sua cadeia de suprimentos
9	Holweg (2007)	LM abrange acerca da aplicação da filosofia STP por meio destes elementos: i) processo de desenvolvimento do produto ii) processo de gerenciamento de fornecedores, iii) processo de gerenciamento de clientes, e iv) processo de política
10	Hallgren e Olhager (2009)	Pensamento enxuto é um método destinado especialmente para aumentar a eficiência das operações
11	Taj e Morosan (2011)	Abordagem multidisciplinar que é baseada na produção com uma quantidade mínima de desperdícios, fluxo contínuo ininterrupto ( <i>layout</i> celular), equipamentos em boas condições (TPM), sistema de qualidade estabelecido (TQM) e colaboradores treinados e qualificados, resultando em um impacto positivo nas operações (qualidade, custo, rápida resposta e flexibilidade)
12	Alves <i>et al.</i> (2012)	Produção enxuta é evidenciada como modelo na qual as pessoas assumem papel de pensadores, com intuito de promover a melhoria contínua proporcionando a agilidade necessária para encarar as exigências do mercado

Alves *et al.* (2012) evidenciam a nova preocupação das organizações, a retenção de talentos, pois colaboradores qualificados assumem papel de pensadores nas organizações promovendo a melhoria contínua da produção e dos processos em que são responsáveis.

O enfoque do *lean manufacturing* é a redução de custos, por meio da eliminação de atividades que não tenham valor agregado, realizada por etapas de trabalho, de modo que os produtos consumidos a partir de uma fase sejam direcionados para etapa seguinte até que o fim da linha de produção seja alcançada (WOMACK; JONES, 2004; DOOLEN; HACKER, 2005; YANG *et al.* 2015).

Womack e Jones (1998) definem cinco princípios *lean* que tem o intuito de eliminar o desperdício nas organizações, os quais são caracterizados a seguir:

- a) Valor: determinar um valor que atenda às necessidades do cliente em um momento específico;
- b) Cadeia de Valor: identificar na cadeia de valor os diferentes tipos de *muda*. Sendo classificados em três diferentes tipos de etapas:
  - i) que criam valor
  - ii) que não criam valor, e
  - iii) etapas adicionais que não criam valor e devem ser eliminadas;
- c) Fluxo: ajustar as obrigações dos funcionários em cada ponto da cadeia com o objetivo de fazer o valor fluir.
- d) Produção Puxada: estabelecer uma força de trabalho em função de um sistema de produção puxado pelo ritmo do cliente;
- e) Perfeição: em conjunto com os outros princípios, buscar a perfeição por meio de um sejam relativamente constantes, nas definições existem diversas práticas que podem e têm sido praticadas na busca da criação de valor na fabricação de produtos (DOOLEN e HACKER, 2005).

Ultimamente, a melhoria contínua apoia-se em filosofias de gestão de manufatura, como o *lean manufacturing*, sendo a Toyota como empresa precursora, e a Teoria das Restrições (GOLDRATT, 2002; LIKER, 2004). A

finalidade destas filosofias é alcançar vantagens competitivas de longo prazo por meio de ferramentas que permitam sustentar as melhorias no chão de fábrica – *shopfloor*. Os esforços destas ferramentas são direcionados a dois temas largamente discutidos na literatura: i) estoque em processo (WIP) e ii) capacidade produtiva (GODINHO FILHO; UZSOY, 2009). Paralelamente, deve-se analisar como estes empenhos afetam os Indicadores Chave de Desempenho (*Key Performance Indicators* – KPIs), tais como: WIP, capacidade produtiva, ocupação, paradas, eficiência, entre outros.

O desenvolvimento dos sistemas de produção na indústria automobilística tem sido debatido de forma abrangente, assim como a história do Sistema Toyota de Produção que se destaca como uma das maiores histórias de sucesso empresarial (OHNO, 1997; FUJIMOTO, 1999).

Bhamu e Sangwan (2014) caracteriza a manufatura do século XXI como produção de produtos personalizados, o que levou às organizações complexos sistema de planejamento, tornando a produção em massa um desafio. Diversas organizações, em particular as automotivas, enfrentam a cada dia o mercado competitivo com a incumbência de atrair novos clientes. Com o intuito de superar estes fatores e tornar a empresa mais rentável, surge a necessidade de aplicar o *lean manufacturing*, capacitando as organizações a responderem com rapidez às constantes variações de demanda do mercado.

A Toyota, empresa precursora da manufatura enxuta, produz automóveis com menor estoque, esforço humano, investimentos e defeitos, introduzindo uma maior e crescente variedade de produtos. Deste modo, pode-se salientar que a implantação do *lean manufacturing* nas organizações oferece aos fabricantes uma vantagem competitiva aos seus concorrentes, reduzindo os custos, e aumentando a produtividade e a qualidade (HOLWEG, 2007).

Os benefícios da implementação do *lean manufacturing* podem ser evidenciados por autores na literatura – Holweg (2007), Elmoselhy (2013), Bhamu e Sangwan (2014), Yang *et al.* (2015), dentre outros. A Figura 6 condensa os benefícios adquiridos com a implantação desta filosofia.

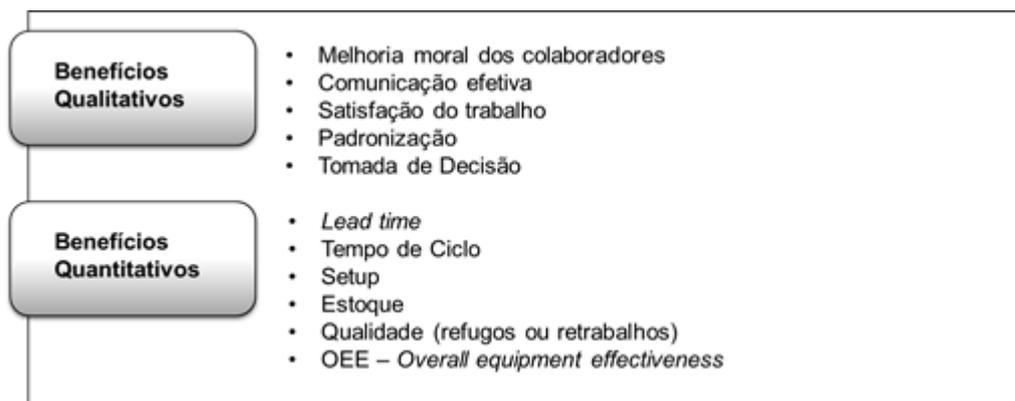


FIGURA 6: BENEFÍCIOS COM A IMPLANTAÇÃO DO LEAN MANUFACTURING.

Os benefícios da implementação da manufatura enxuta podem ser divididos em dois grupos: qualitativos e quantitativos. Isto mostra que as práticas do LM não estão somente compreendidas no aumento de produtividade no *shopfloor*. Mas, interferem, de maneira proporcional, no ambiente organizacional da empresa. Numa empresa na qual é aplicada a filosofia da manufatura enxuta, os colaboradores se sentem mais motivados.

Anand e Kodali (2009) citam que, antes de implementar o conceito de manufatura enxuta, as organizações necessitam criar programas de sensibilização que possam abranger todos os funcionários de diferentes níveis hierárquicos. Os objetivos do LM devem ser empregados para todos os colaboradores, inclusive os funcionários diretos, alocados nas máquinas no chão de fábrica. A alta direção deve-se comprometer e certificar que os paradigmas para a implementação desta metodologia possam ser eliminados dos processos de produção.

De acordo com Bhamu e Sangwan (2014), a metodologia para implementar a cultura *lean* em uma organização, pode ser resumida em: entradas, atividades e saídas, de acordo com a Figura 7. Esta implementação pode ser dividida em três fases:

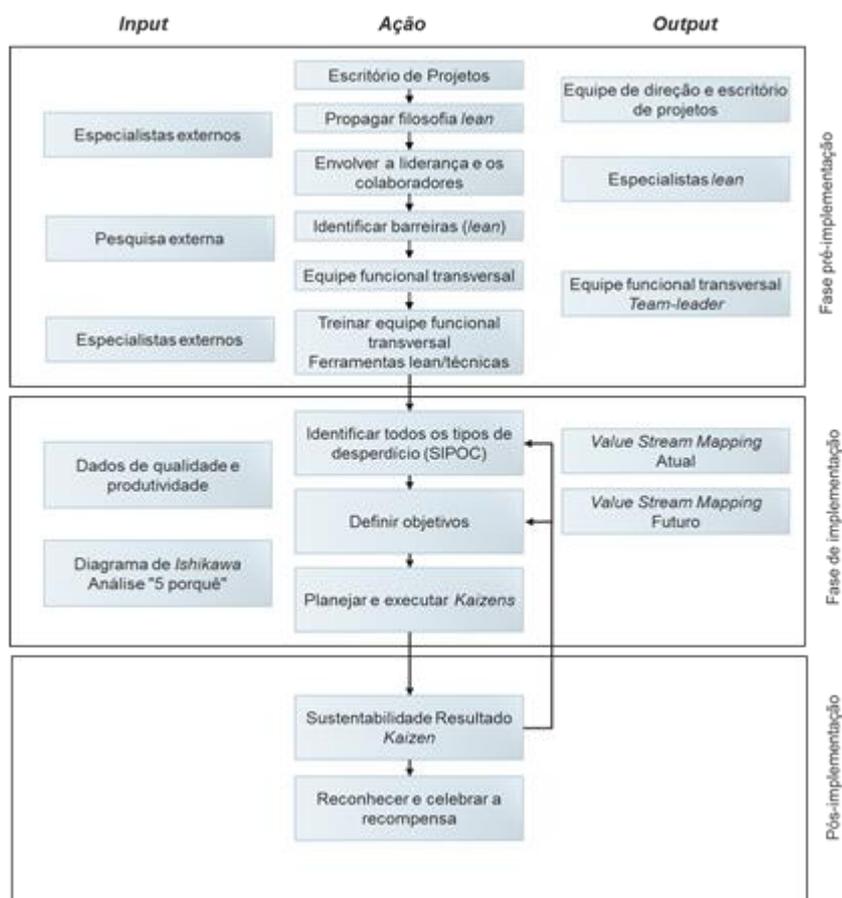


FIGURA 7: METODOLOGIA DE IMPLEMENTAÇÃO DO LEAN MANUFACTURING.

FONTE: ADAPTADO DE BHAMU E SANGWAN (2014).

- Pré-implementação: a principal contribuição desta etapa é conscientizar os colaboradores e propagar a filosofia enxuta, por meio de troca de experiências entre colaboradores mais experientes, com intuito de formar equipes de melhoria contínua;
- Implementação: após identificados todos os tipos de desperdícios, é importante definir metas e aplicar corretamente as ferramentas do *lean*. O *Value Stream Mapping* (VSM) é comumente aplicado nesta fase para analisar a cadeia de valor, com intuito de encontrar possíveis desperdícios;

- Pós-implementação: monitorar a sustentabilidade das ferramentas de melhoria contínua e replicar para outros postos de trabalho, se possível.

Para Elmoselhy (2013), a estratégia de manufatura procura referir-se a uma abordagem que tem início nas estratégias corporativas e de marketing, e em seguida projetar um sistema de manufatura com intuito de apoiá-los. Neste contexto, há quatro pilares de manufatura enxuta que são a redução de desperdícios, metodologia *Just-in-Time*, sistema a prova de falhas e automação (automação inteligente).

Neste trabalho, o intuito é utilizar o VSM ferramenta oriunda do *lean* integrada com a simulação computacional, em uma empresa de autopeças, e com isto, propor um sequenciamento otimizado de produção.

O sucesso do desenvolvimento do *lean* na fabricação e desenvolvimento de produtos, indústrias e serviços ocasionou a adaptação das ferramentas em diversos segmentos (ALI; PETERSEN; FRANÇA, 2015). Dentre estes segmentos, pode-se citar a indústria automotiva. Um ponto de partida para as empresas que querem ser classificadas como *lean* é a aplicação do *Value Stream Mapping* – VSM (Singh *et al.* 2013).

Para Womack e Jones (1998), esta metodologia auxilia a identificar maneiras de se obter materiais e informações de modo que fluam sem interrupção. Deste modo, a produtividade e competitividade são otimizadas auxiliando as pessoas a aplicar o sistema de maneira holística, ao invés de melhorias de processos isoladas.

De acordo com Rother e Shook (2003), o VSM pode ser definido como uma cadeia de valor, no qual todas as ações (atividades que agregam valor e atividades que não agregam valor) são obrigados a originar um produto, por meio do fluxo de cada produto: i) fluxo de produção de matéria-prima e ii) fluxo de projeto na concepção do lançamento. Esta técnica é caracterizada por mapas de fluxo de materiais e informações, sendo caracterizados por diagramas que apresenta o processo. Ali, Petersen e França (2015) definem VSM como uma prática de criar um mapa de fluxo de valor que identifica o

valor acrescentado por cada etapa no processo. Esta técnica é responsável por implementar vários dos princípios do *lean manufacturing* como otimizar o todo e reduzir desperdícios. Esta prática abrange o processo de maneira holística considerando desde o fornecedor até o cliente, envolvendo múltiplas partes interessadas responsáveis pelas atividades no processo, tanto na identificação de desperdícios quanto na implementação de melhorias.

A cadeia de valor pode ser caracterizada como uma compilação de todas as ações, com valor acrescentado e também com valor não acrescentado, que são obrigados a trazer um produto por meio de fluxos, com início na matéria-prima e terminando com o cliente. O objetivo do VSM é identificar todos os tipos de desperdícios na cadeia de valor e adotar medidas adequadas, com o intuito de buscar a eliminação destes (ROTHER; SHOOK, 2003 e ABDULMALEK; RAJGOPAL, 2007).

Segundo McDonald *et al.* (2002), diversos pesquisadores desenvolveram uma série de práticas com a finalidade de otimizar as operações individualmente dentro de uma cadeia de abastecimento. A maior parte destas ferramentas permanece distante de analisar os materiais e as informações de fluxo ao longo da cadeia de suprimentos da organização. Desta maneira, o VSM cria um alicerce para o processo de produção, promovendo assim, decisões mais bem planejadas para aprimorar o fluxo de valor.

A utilização do VSM nos auxilia a entender onde estamos (estado atual), para onde queremos ir (estado futuro) e definir uma rota para se chegar lá, denominado plano de implementação. Este plano tem intuito de otimizar a eficiência total, e não somente a eficiência independente oriunda de trabalhos individuais. A identificação de ferramentas *lean* aplicáveis a um plano de implantação é embasada em três fluxos: materiais, produtos e informações. As práticas de produção enxuta, implementadas nas empresas, provam que o VSM pode eliminar desperdícios de processo em até 50%, diminuir o tempo de ciclo em 30% e reduzir a variação de 30% para 5%, melhorando a qualidade dos produtos em questão (CHEN; MENG, 2010).

Com o passar dos anos, o VSM passou a ser utilizado para compreender o fluxo de materiais e informações não somente na manufatura no chão de fábrica, mas também no meio corporativo como por exemplo, entrada de pedidos, desenvolvimento de novos produtos e relatórios gerenciais. Deste fato, pode-se concluir que o Mapeamento do Fluxo de Valor (VSM) pode ser utilizado com a intenção de mapear qualquer processo de negócios (EMILLIANI; STEC, 2004).

A aplicação do *Value Stream Mapping* tem como intuito criar uma cadeia de valor, empregando um conjunto predefinido de ícones padronizados, conforme a Figura 8. Rother e Shook (2003) desenvolveram estes ícones padronizados que são comumente aplicados nos processos de produção.

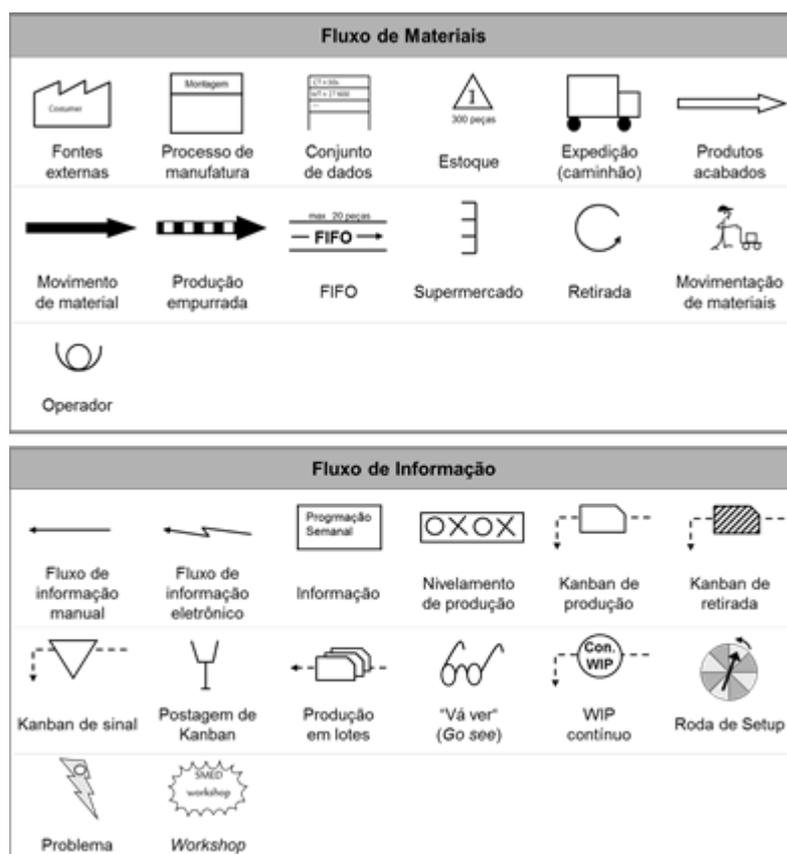


FIGURA 8: FERRAMENTAS DO VSM.

FONTE: ADAPTADO DE ROTHER E SHOOK (2003).

Singh *et al.* (2013) citam que o VSM é dividido em dois fluxos, sendo um deles o fluxo de materiais do fornecedor ao cliente e o outro é o fluxo de informação do cliente de volta ao fornecedor.

Conforme a produção puxada, a ideia principal é encontrar o tempo de criação de valor agregado ao produto e o tempo de desperdício, ocasionando a ausência de valor agregado ao produto. Porém, o ponto central é sincronizar o ritmo de produção com vendas, com intuito de projetar processos de trabalho com tempo de ciclo adequado para atender o cliente – denominado *takt* time, sendo calculado como razão entre o tempo de trabalho disponível por turno e a demanda do cliente por turno (KALSAAS, 2002).

De acordo com Emiliani e Stec (2004); Abdulmalek e Rajgopal (2007); Lasa, Laburu e Vila (2008); Chen e Meng (2010); Vinodh, Arvind e Somanaathan (2010); Singh *et al.* (2013), o primeiro passo para aplicar corretamente o *Value Stream Mapping* é a escolha de um determinado produto ou família de produtos como destino para a melhoria.

O segundo passo é desenhar o mapa do estado atual, que é basicamente uma captura instantânea de como os processos estão sendo feitos atualmente. Esta identificação do estado atual é realizada por meio de uma caminhada real ao longo do processo, fornecendo como base a análise do sistema, identificando seus pontos fracos. Terceiro passo do VSM é caracterizado pela criação do mapa do estado futuro, sendo uma imagem de como o sistema deverá se comportar no futuro, se as ineficiências forem eliminadas. O mapa do estado futuro é efetivado ao responder um conjunto de perguntas sobre questões relacionadas com a eficiência e a execução técnica relacionada com o uso de ferramentas *lean*. O mapa, em seguida, torna-se base para fazer as alterações necessárias no sistema.

A Figura 9 ilustra como o VSM pode operacionalizar de maneira sistêmica os princípios *lean*, utilizando primeiramente para orientar a análise do fluxo de valor atual, em seguida, na identificação de resíduos e, por último, identificar as melhorias a serem implementadas.

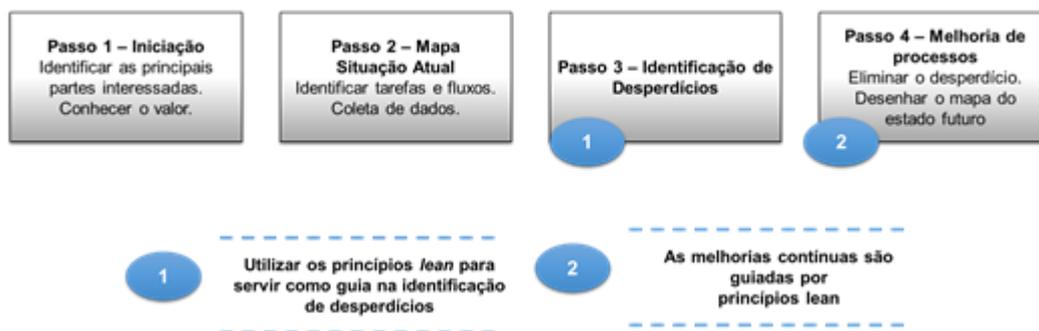


FIGURA 9: VISÃO GERAL DAS ETAPAS DO VSM E SEU PAPEL NAS OPERAÇÕES DO PRINCÍPIOS LEAN.  
 FONTE: ADAPTADO DE ALI, PETERSEN E FRANÇA (2015).

Singh e Sharma (2009) aplicaram o *Value Stream Mapping* na fabricação de engrenagens, e adotaram os princípios da manufatura enxuta: definir o valor do ponto de vista do seu cliente, identificar o fluxo de valor, eliminar os sete desperdícios, fluxo de trabalho, puxar o trabalho ao invés de empurrá-lo, e atingir a perfeição. A Figura 10 apresenta o mapa do estado atual.

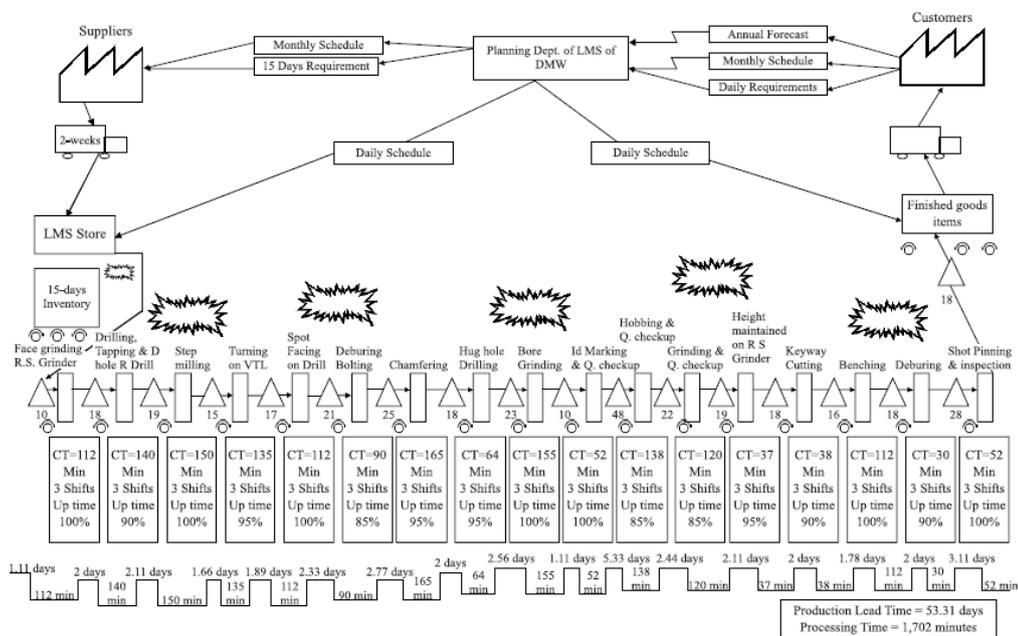


FIGURA 10: MAPA DO ESTADO ATUAL.  
 FONTE: SINGH E SHARMA (2009).

Com a análise da situação atual, pode-se determinar o tempo de processamento real, sendo 1702 minutos, enquanto o *lead-time* para esta produção é de 53,31 dias.

Para o estado futuro, Kalsaas (2002) define algumas questões-chave e *trade-offs* (soluções): descobrir o *takt time* do cliente; sistema de produção por meio de um supermercado de produtos acabados, na qual o cliente puxa a produção; utilização do fluxo contínuo; decidir como equilibrar o *mix* de produção; decidir o que será incrementado de forma consistentemente no processo de produção e identificar quais processos serão necessários para que o valor, flua de acordo com o mapa do estado futuro.

### **2.3. SIMULAÇÃO COMPUTACIONAL**

A simulação computacional vem se destacando durante os anos por permitir representar um sistema real por meio de um modelo dinâmico informatizado, proporcionando vantagens na implementação de melhorias contínuas nas organizações. Law (2006) destaca que, com a utilização desta ferramenta, as melhorias são implementadas com embasamento, permitindo a resposta de perguntas que demandariam recursos econômicos e tempo.

Shannon (1998) define simulação como processo de concepção de um modelo baseado em um sistema real com a finalidade de realizar experiências para compreender o desempenho de um sistema, ou avaliar estratégias para o funcionamento do mesmo. Portanto, é válido afirmar que o modelo imita o comportamento do sistema real de eventos que ocorrem ao longo do tempo.

Banks (2004) caracteriza simulação como a imitação de determinada operação de um processo ou sistema no mundo real em função do tempo, com intuito de extrair conclusões sobre o funcionamento do sistema real. A simulação é compreendida por meio do desenvolvimento de modelos, que abrange um conjunto de hipóteses sobre o funcionamento do sistema. Estas proposições são expressas em relações matemáticas, lógicas e simbólicas entre as entidades ou objetos de interesse do sistema.

Chung (2004) interpreta simulação como um processo de criação e experiência a partir de um modelo matemático, por meio de um sistema informatizado. Simulação é empregada para realizar análises de sistemas e tomada de decisões dos recursos, ou ainda, sobre seu funcionamento.

Law (2006) distingue simulação como um modelo matemático que, na maioria das vezes, utiliza recursos eletrônicos para representar um sistema real.

Kelton, Smith e Sturrock (2014) elucidam simulação como processo que transcreve o funcionamento de um sistema e seus processos internos ao longo do tempo, com a finalidade de encontrar conclusões sobre o comportamento do sistema. Adicionalmente, esta prática pode ser utilizada para prevenir o efeito das mudanças nos sistemas existentes, e também avaliar e monitorar os desempenhos de novos sistemas. Esta abordagem de modelagem possui aplicabilidade ampla.

O processo de simulação básico é mostrado na Figura 11. Nota-se que o processo não é estritamente sequencial e, muitas vezes, acabam por ser iterativo.

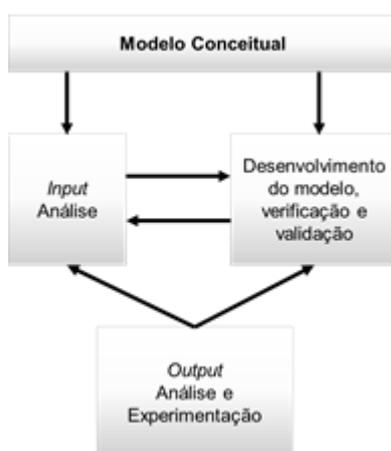


FIGURA 11: PROCESSO DE SIMULAÇÃO.

FONTE: ADAPTADO DE KELTON, SMITH E STURROCK (2014).

Segundo Banks (2004), o objetivo da simulação é compreender ou solucionar um problema por meio dos elementos que compõem o sistema e não apenas

para verificar números. A simulação é utilizada para gerar conhecimento e entendimento sobre um sistema novo, ou ainda um sistema modificado. Utilizando esta técnica é possível responder a algumas perguntas, como por exemplo: O processo atenderá às expectativas de rendimento? Quais são as necessidades de pessoal? Que problemas ocorrem? Se ocorrerem problemas o que é a sua causa e como eles surgem? Qual é a capacidade do sistema? Que condições causam para um sistema atingir sua capacidade?

Um sistema é definido como um conjunto de entidades (pessoas ou máquinas), que agem e interagem em conjunto para alcançar um determinado propósito, compreendendo que fatores externos geralmente afetam o sistema. Neste contexto, as abordagens distintas são relacionadas na Figura 12 (LAW, 2006; SAKURADA; MIYAKE, 2009).

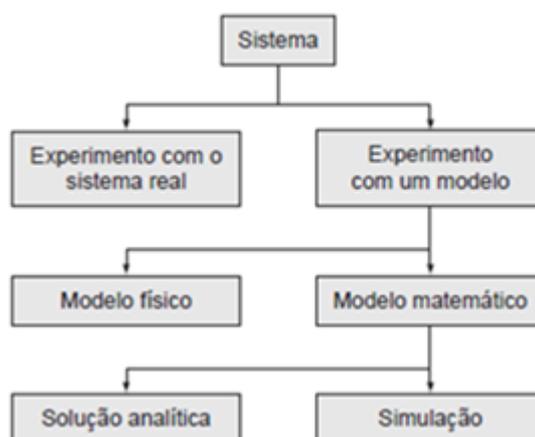


FIGURA 12: ABORDAGENS DE SISTEMAS.

FONTE: ADAPTADO DE SAKURADA E MIYAKE (2009).

Com o intuito de solucionar problemas em um sistema existente, duas alternativas podem ser abordadas: experimento com modelo real ou por meio de um modelo de sistema. Para assegurar o modelo de sistema duas possibilidades são evidenciadas, modelo físico ou matemático dividido em soluções analíticas ou por meio de simulação.

A aplicação de uma simulação pode ser realizada por meio de eventos discretos ou contínuos, conforme a Figura 13. Para se deparar com a solução do problema deve-se encontrar a melhor opção a ser utilizada.

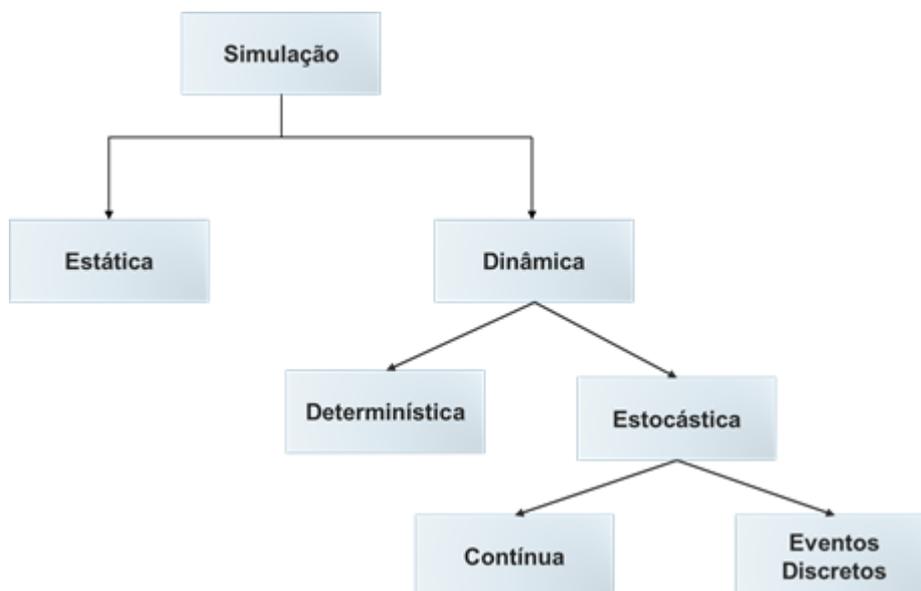


FIGURA 13: SISTEMAS DE SIMULAÇÃO.

FONTE: ADAPTADO DE LAW (2003).

Uma determinada simulação pode ser classificada em estática ou dinâmica (variabilidade). Law (2006) define simulação estática como a representação de um sistema em um dado momento, enquanto que a simulação dinâmica é a representação de um sistema ao longo do tempo.

As simulações dinâmicas são divididas em determinística e estocástica. É classificado como sistema determinístico o modelo que possui variáveis de entrada com valores exatos, como consequência os resultados serão sempre iguais, independentemente do número de aplicações. Já a simulação estocástica, sistema largamente utilizado, admite que as variáveis de entrada assumam diversos valores, e por causa disto, os resultados deste sistema são diferentes a cada aplicação, aproximando o modelo de simulação do real (KELTON; SMITH; STURROCK, 2014).

Por fim, a simulação estocástica pode ser dividida em: contínua ou discreta, conforme a Figura 14. Para Banks (2004) um sistema contínuo é caracterizado pelas variáveis que mudam de estado ao longo do tempo, enquanto que no sistema discreto as variáveis de estado alteram-se durante um período do tempo, sendo modificadas após a ocorrência de um evento.

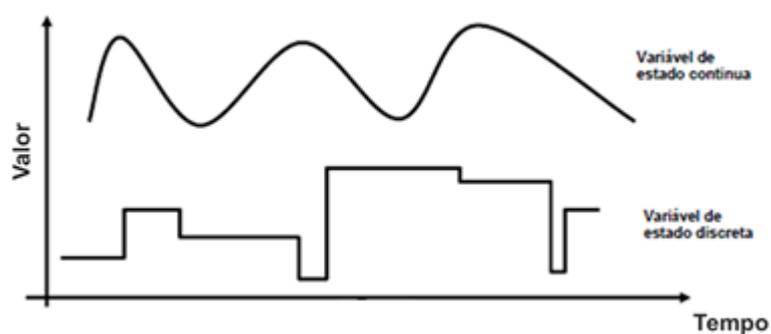


FIGURA 14: VARIÁVEL DE ESTADO CONTÍNUA X DISCRETA.

FONTE: ADAPTADO DE TORGA (2007).

Law (2003) apresenta uma abordagem de sete etapas para realizar um estudo bem-sucedido de simulação. As etapas são discutidas seguir.

- Etapa 1 – Formular o problema: nesta etapa devem ficar evidenciados os objetivos gerais do estudo, questões específicas a serem respondidas pelo estudo, definir medidas de desempenho que serão utilizadas com intuito de avaliar diferentes cenários, parâmetros do sistema a ser modelado e os recursos necessários. O desenvolvimento de projetos de simulação geralmente leva mais tempo do que estimado, pois há atrasos na obtenção de informações e dados necessários, ou o sistema é mais complexo do que se imaginava;
- Etapa 2 – Coleta de dados/informações e a construção de um modelo conceitual: todo o levantamento de dados deve ser

considerado nesta etapa, como informações sobre a estrutura do sistema e procedimentos operacionais, informações transparentes, levantamento de dados para especificar parâmetros do modelo, documentar os pressupostos do modelo e coletar dados de desempenho do sistema existente a ser usado para validação do modelo. O modelo de simulação deve ser construído, primeiramente, de uma maneira simples e aprimorá-lo conforme necessário;

- Etapa 3 – O modelo conceitual é válido? Realizar um passo-a-passo estruturado do modelo conceitual diante dos *stakeholders*. Esta operação, considerada crítica é chamada de validação conceitual do modelo, acaba sendo muitas vezes ignorada. A validação assegura que os modelos sejam corretos e completos, além de proporcionar a interação entre membros da equipe. Geralmente, erros ou omissões passam despercebidos pelo modelo proposto, neste aspecto o modelo conceitual deve ser revisto e corrigido antes da próxima etapa;
- Etapa 4 – Realizar a simulação: o modelo conceitual deve ser realizado em qualquer linguagem de programação, ou ainda, um *software* de simulação. A utilização de um *software* reduz o tempo de preparação do modelo. Dentre os *softwares* existentes, pode-se citar: *Arena, FlexSim, ProModel, Plant Simulation*, entre outros;
- Etapa 5 – O modelo simulado é válido? Se a aplicação do modelo for referente a um sistema existente, em seguida, deve-se confrontar os *outputs* com os indicadores de desempenho do sistema real. Isto é denominado como validação dos resultados ou aderência do modelo de simulação ao sistema real. Sendo a validação bem-sucedida o modelo possui credibilidade, permitindo realizar análises com intuito de identificar os fatores de maior impacto sobre os KPIs;
- Etapa 6 – Planejamento, realização e análise dos experimentos: cada execução da simulação é de interesse dos *stakeholders* decidir

questões estratégicas como, tempo de duração da simulação e número de repetições para os cenários propostos. As análises realizadas no modelo têm como finalidade definir métricas de desempenho para gerar novos cenários a serem simulados;

- Etapa 7 – Documentação e apresentação dos resultados da simulação: a documentação do modelo é importante, pois se futuramente o modelo for reutilizado, a descrição detalhada do processo e os resultados podem servir de base para outros cenários. A apresentação de resultados deve ser realizada de forma clara e concisa.

Os dois métodos mais conhecidos para conduzir um estudo de simulação estão representados na Figura 15, conforme embasado em Law (2003) e Banks (2004).

Paralelamente, Banks (2004) destaca que para implementar um trabalho de simulação, este deve respeitar uma sequência de doze etapas. Porém, o modelo apresentado por Banks assemelha-se com o modelo de Law (2003). Os dois modelos possuem o mesmo propósito sendo conduzidos de maneira distintas.

Sintetizando os dois modelos propostos, para a realização de um estudo de simulação, deve-se primeiramente formular o problema a ser debatido, realizando uma coleta de dados e informações que auxiliem na construção do modelo conceitual. Posteriormente, deve assegurar que o modelo foi examinado, etapa crítica do processo em que se deve comparar o comportamento do sistema real com a modelagem. Após garantir que o modelo é válido, a simulação pode então ser executada com intuito de realizar análises de cenários distintos. Obtendo o cenário almejado, é de suma importância a documentação para análises posteriores.

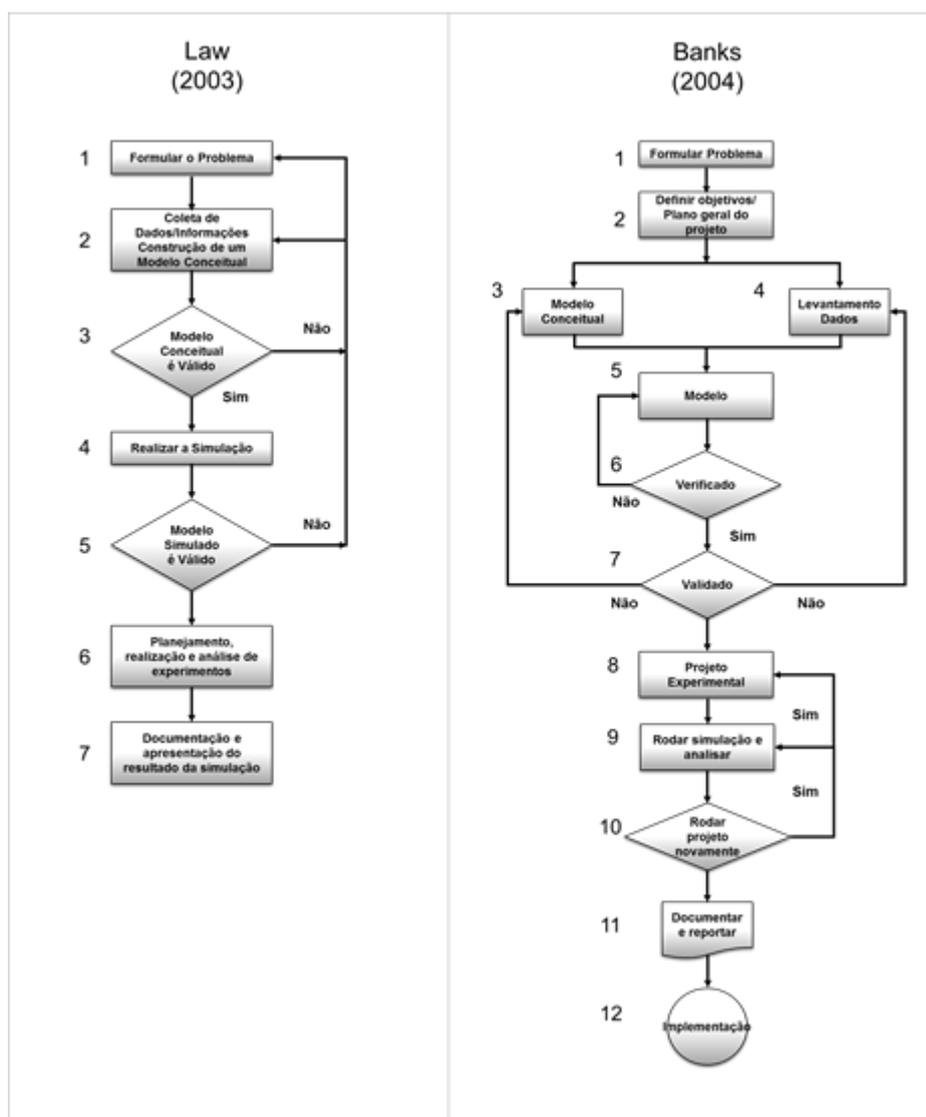


FIGURA 15: CONDUÇÃO DE ESTUDO DE CASO, SOB ÓPTICAS DISTINTAS.

FONTE: ADAPTADO DE LAW (2013) E BANKS (2004).

Segundo Shannon (1998), a simulação possui um número de vantagens sobre modelos matemáticos para análise de sistemas, devido à facilidade de transmitir o conteúdo abordado no modelo para as partes interessadas. Entretanto, a simulação possui vantagens adicionais, como por exemplo:

- Avaliar novos produtos, *layout* e infraestrutura sem comprometer recursos;

- Explorar mão-de-obra, procedimentos operacionais e fluxos de informações sem alterar as operações em andamento;
- Identificar recursos gargalos, materiais e produtos;
- Validar e analisar hipóteses sobre fenômenos que ocorrem no sistema;
- Controlar meses ou anos de experiência em questão de segundos, permitindo rapidamente analisar horizontes de longo prazo;
- Obter informações sobre como um sistema realmente funciona e compreender os indicadores de desempenho;
- Capacidade em responder novas situações e perguntas “e se”.

Embora a simulação possuir pontos fortes e vantagens, não é isenta de desvantagens. Dentre elas destacam-se (LAW, 2006):

- Modelagem de simulação requer níveis especializados e qualificação dos profissionais. A habilidade do modelador pode impactar de maneira negativa no modelo a ser analisado;
- Os dados resultantes por muitas vezes são questionáveis, colocando os dados de entrada a prova. Um modelo de simulação deve ser realizado somente com dados confiáveis.

A simulação pode ser definida como uma ferramenta de tomada de decisão rentável para os gestores, que permite minimizar os riscos identificando as decisões corretas com intuito de atingir o objetivo proposto.

### **2.3.1. SIMULAÇÃO COMPUTACIONAL EM AMBIENTES DE MANUFATURA**

A simulação tem sido uma ferramenta útil para projetar e analisar sistemas de produção ao longo de décadas (SON, JONES e WYSK, 2003). Dentre as competências derivadas da simulação computacional, destaca-se a capacidade única em prever com precisão o desempenho de sistemas complexos, tornando-se uma ferramenta importante e útil para planejar o sistema produtivo (HARRELL; GHOSH; BOWDEN, 2012).

Khalili e Zahedi (2013) destacam que a simulação em ambientes de manufatura foi uma das primeiras áreas que a simulação passou a ser empregada, e até os dias de hoje permanece como uma das áreas de aplicação mais populares.

As aplicações da simulação na indústria são diversificadas. Abu-Taieh e Sheikh (2007) realizaram uma pesquisa para identificar e categorizar qual as maiores áreas de aplicação da simulação. O estudo constatou que com 14% das aplicações, em primeiro lugar, são voltadas para os sistemas de manufatura conforme Figura 16.

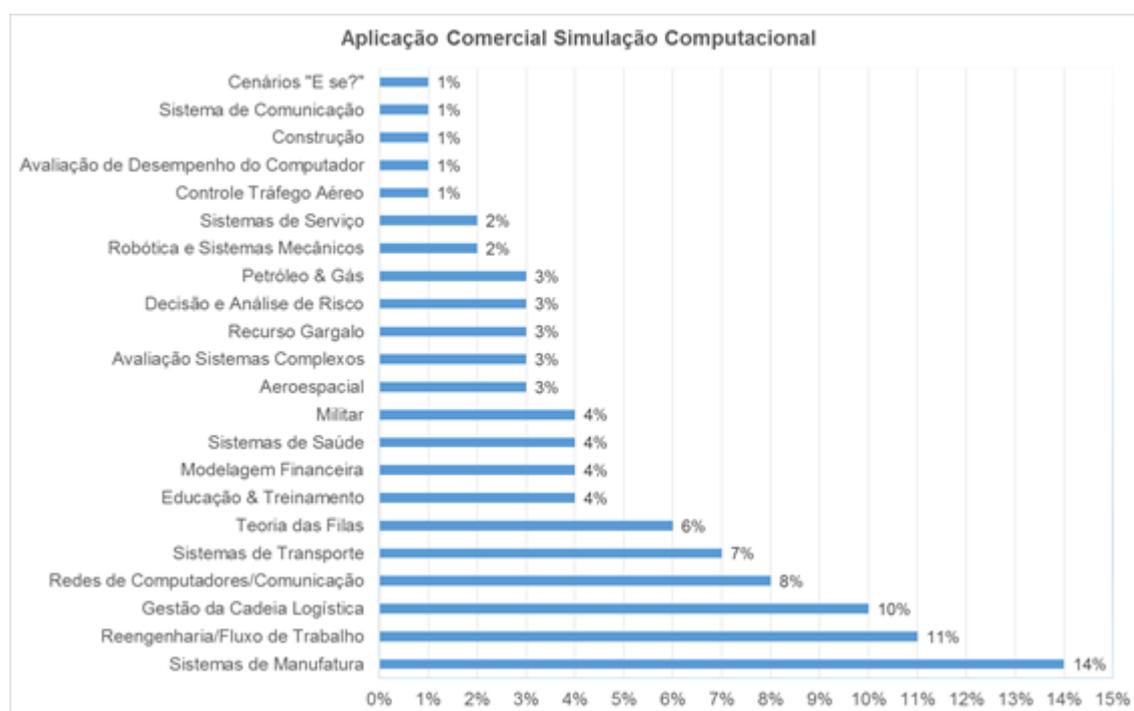


FIGURA 16: APLICAÇÕES DA SIMULAÇÃO COMPUTACIONAL.

FONTE: ADAPTADO DE ABU-TAIEH E SHEIKH (2007)

Em contrapartida, Mourtzis, Doukas e Bernidaki (2014) realizaram uma pesquisa somente sobre a aplicação da simulação em ambientes de manufatura com foco nos métodos e ferramentas de simulação. Na Figura 17

são ilustradas as áreas com maior concentração de aplicação na manufatura contemporânea.



FIGURA 17: APLICAÇÕES DA SIMULAÇÃO COMPUTACIONAL NA MANUFATURA.

FONTE: ADAPTADO DE MOURTZIS, DOUKAS E BERNIDAKI (2014).

Para Banks (2004) e Torga (2007), os motivos da simulação ser mais utilizada em sistemas de manufatura são: i) automação nos processos industriais impactam diretamente no aumento de produtividade e na qualidade dos produtos, e como os sistemas de automação são complexos, as análises são realizadas pela simulação ii) custos de equipamentos e instalações; iii) custos dos computadores são baixos em comparação com a aquisição de equipamentos; iv) softwares que permitem um desenvolvimento rápido de modelos; e v) a simulação por meio da animação resultam em uma maior compreensão por parte dos gestores.

A seguir, estão algumas das questões específicas em que a simulação é utilizada em sistemas de manufatura (LAW, 1998; BANKS, 2004):

- Equipamentos e mão-de-obra: número, tipo e disposição de máquinas para um objetivo particular; transporte de componentes ou equipamentos de suporte; dimensionamento e localização de

inventários; avaliação de alteração no volume de produtos, avaliação de investimentos e planejamento de mão-de-obra;

- Avaliação de desempenho: análise do tempo de atravessamento e análise do recurso gargalo (*bottleneck*);
- Avaliação de procedimentos operacionais: programação de produção, inventário, análise de confiabilidade (manutenção) e políticas de controle da qualidade;
- Medidas de desempenho gerados pela simulação: tempo de ciclo do sistema (quanto tempo leva para produzir uma parte), utilização dos recursos, trabalho e máquinas, análise do recurso gargalo, análise de inventários (WIP), necessidade de mão-de-obra e eficácia dos sistemas de programação e de controle.

Além da simulação em ambientes de manufatura, Kelton, Smith e Sturrock (2014) destacam que a simulação também tem sido empregada em uma grande variedade de aplicações, com intuito de entender e otimizar a eficácia do sistema, como por exemplo: aeroportos, hospitais, portos, mineração, parques de diversões, cadeias de suprimentos, âmbito militar, entre outros.

Abdulmalek e Rajgopal (2007) realizaram um estudo para aplicar as ferramentas do *lean manufacturing* em uma empresa de aço. Por meio de um modelo de simulação detalhado pode-se avaliar os indicadores de desempenho e analisar as configurações do sistema. Com a disponibilização das informações oriundas da simulação permitiu aplicar com segurança as ferramentas do *lean* e motivar a organização perante a melhoria contínua, a fim de obter os resultados desejados.

Robinson *et al.* (2012) aplicaram a simulação de eventos discretos e o *lean* para otimizar os processos e a prestação de serviços de saúde por meio de três papéis: educação, facilitação e avaliação.

Dewa e Chidzuu (2013) demonstraram que a integração entre a teoria das filas e a simulação é uma ótima solução para recursos gargalos. O modelo de simulação permitiu identificar que a máquina com o maior grau de utilização

não é necessariamente o recurso gargalo. A simulação pode ser utilizada também para determinar as datas de vencimentos para as ordens de clientes com diferentes configurações.

Melouk *et al.* (2013) empregaram uma abordagem de otimização de simulação para desenvolver uma ferramenta de apoio à decisão para auxiliar na tomada de decisões estratégicas e operacionais. Com intuito de investigar os níveis de estoque em processo de trabalho e possíveis alterações no processo de fabricação para reduzir custos de utilização.

Bahadori *et al.* (2014) realizaram um estudo para otimizar a performance do hospital por meio do desenvolvimento de teoria de filas e técnicas de simulação. Com o propósito de otimizar o desempenho do hospital foi realizado uma amostra de pacientes durante o dia coletando os dados necessários para calcular o fluxo de pacientes e variáveis de desempenho. Utilizando técnicas de teoria de filas com a simulação foi possível identificar que o tempo de espera dos pacientes e o número de pacientes à espera poderia ser reduzido com a realocação de mão-de-obra do hospital.

Yang *et al.* (2015) aplicaram o *Value Stream Mapping* com intuito de identificar as atividades que não agregam valor e o WIP em um processo de produção, com a finalidade de aumentar o nível de serviço. Com o auxílio da simulação computacional, os indicadores de desempenho do processo foram otimizados por meio de uma análise baseada na integração da simulação com o mapeamento do estado futuro, permitindo aumentar o nível de serviço e reduzir o WIP, respectivamente em 30% e 34%. Um ponto adicional neste processo otimizado é a ausência de investimentos, o que significa que a empresa abordada poderá implementar com segurança o estado futuro sem qualquer pressão financeira.

### **2.3.2. VARIABILIDADE DO PROCESSO**

A concepção, desenvolvimento e melhoria de processos é de importância principal para a gestão de operações, sendo relacionadas com o processo, como, por exemplo, utilização da capacidade e inventários. Devido à

complexidade e dinamismo das operações os ambientes competitivos continuam apresentando desafios para os gestores analisarem o impacto de incertezas nos sistemas de produção (KLASSEN; MENOR, 2007).

Klassen e Menor (2007) destacam que a análise e discussão dos *trade-offs* entre os objetivos da manufatura foi desenvolvida inicialmente por Skinner (1966). E permanecem intactos até hoje.

Segundo Skinner (1966) a corporação exige cada vez mais dos seus colaboradores devido à crescente variedade de produtos, em tempos de processamento e lotes mais curtos e qualidade impecável. Paralelamente a este cenário, otimizar o retorno sobre investimento por meio da inserção de novas tecnologias nos processos e materiais são recursos necessários para reduzir custos de processo e enfrentar o mercado competitivo. Abranger estas demandas conflitantes faz com que a empresa consiga uma vantagem estratégica considerável.

A existência dos *trade-offs* no projeto e nas operações dos sistemas de produção necessita ser levada em consideração na concepção dos sistemas de manufatura (GODINHO FILHO; FERNANDES, 2005).

### **3. ABORDAGEM METODOLÓGICA**

Este capítulo tem como finalidade apresentar o procedimento metodológico adotado nesta pesquisa, embasado em estudos diversificados da área abrangida, com o propósito de tornar a aplicação de pesquisa consistente.

A abordagem metodológica de uma pesquisa tem seu valor caracterizado por meio da necessidade de realizar um embasamento científico apropriado, frequentemente habilitado pela procura da melhor abordagem de pesquisa, endereçando as questões de pesquisa, assim como os respectivos procedimentos e ferramentas para o planejamento e condução (MIGUEL *et al.* 2012).

Neste contexto, as próximas seções abordarão a classificação da pesquisa e o método adotado para condução deste estudo, realizando um detalhamento sobre as etapas que compõem a realização deste trabalho.

#### **3.1. CLASSIFICAÇÃO DA PESQUISA**

Com intuito de explanar a abordagem metodológica exposta neste trabalho, a seguir será detalhada a classificação da pesquisa quanto ao gênero, abordagem, objetivos e método adotado.

Gil (2002) define pesquisa como processo lógico e ordenado que tem a finalidade de proporcionar respostas aos problemas que foram propostos. Pesquisa desenvolve-se por inúmeras etapas, desde a concepção e formulação do problema até a apresentação dos resultados de maneira satisfatória. Deste modo, é possível classificar pesquisa em três grupos, conforme os objetivos propostos:

- Pesquisa exploratória: este tipo de pesquisa tem como intuito, proporcionar familiaridade com o problema tornando explícito,

possibilitando construir hipóteses. Assume forma de pesquisa bibliográfica ou de estudo de caso;

- Pesquisa descritiva: tem como finalidade descrever as características de determinada população ou fenômeno, estabelecendo relações entre as variáveis. Uma das características deste tipo de pesquisa é a utilização de técnicas de coleta de dados, tais como, questionário e a observação sistemática;
- Pesquisa explicativa: é responsável por identificar fatores que determinam ou contribuem para a ocorrência dos fenômenos.

Conforme Marconi e Lakatos (2013) pesquisa pode também ser classificada de acordo com a sua natureza:

- Pesquisa básica: tem como finalidade gerar o desenvolvimento científico (ampliação de conhecimentos), porém ser realizar uma aplicação prática;
- Pesquisa aplicada: tem como característica a aplicação dos resultados na prática.

A pesquisa também pode ser classificada de acordo com a abordagem (MIGUEL *et al.* 2012):

- Quantitativa: tem como característica a mensuração de variáveis na pesquisa e transformá-la em informações com o intuito realizar análises. Os métodos de pesquisa mais apropriados para conduzir uma pesquisa quantitativa são: *survey*, modelagem e simulação e experimento;
- Qualitativa: esta abordagem tem a preocupação de obter informações referente a perspectiva dos indivíduos, bem como explicar o ambiente em que a problemática acontece. Isto implica, que o ambiente dos indivíduos é o ambiente de pesquisa.

A gestão de operações na engenharia de produção abrange um conjunto de decisões sobre as atividades desenvolvidas em cada nível de planejamento: estratégico (longo prazo), tático (médio prazo) ou operacional (curto prazo).

Sob este cenário, Miguel *et al.* (2012) exemplificam o setor de Planejamento e Controle da Produção de uma empresa, que tem como finalidade definir o que irá ser produzido, quando e quanto levando em consideração uma infinidade de informações, tornando o sistema complexo. Para auxiliar na tomada de decisão destas situações, os gestores utilizam modelos (modelagem e simulação) que permitem compreender o ambiente, identificar problemas, formular estratégias e oportunidades, entre outros.

Berto e Nakano (2000) e Miguel (2007) explanam que modelagem abrange a utilização de métodos matemáticos, com o propósito de delinear o funcionamento de um sistema de produção. Adicionalmente, a utilização da simulação, apoiada por técnicas computacionais, permite a simulação de ambientes reais baseados em um conjunto de variáveis, possibilitando investigar a relação entre essas variáveis.

Miguel (2012) destaca que a metodologia de pesquisa baseada em modelagem quantitativa tem como base a pesquisa operacional, caracterizada por uma abordagem que procura determinar como melhor projetar, planejar e operar sistemas. Bertrand e Fransoo (2002) apresenta um método, conforme Figura 18, baseado na abordagem de pesquisa operacional, dividido em quatro fases: i) conceito ii) modelagem iii) modelo de solução e iv) implementação.

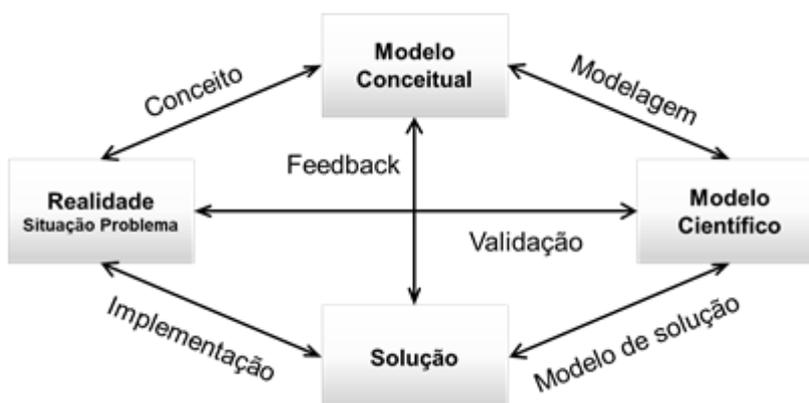


FIGURA 18: MÉTODO PARA RESOLUÇÃO DE PROBLEMAS EM PESQUISA OPERACIONAL.

FONTE: ADAPTADO DE BERTRAND E FRANSOO (2002).

Diante deste cenário, esta pesquisa pode ser classificada de acordo com a Figura 19.

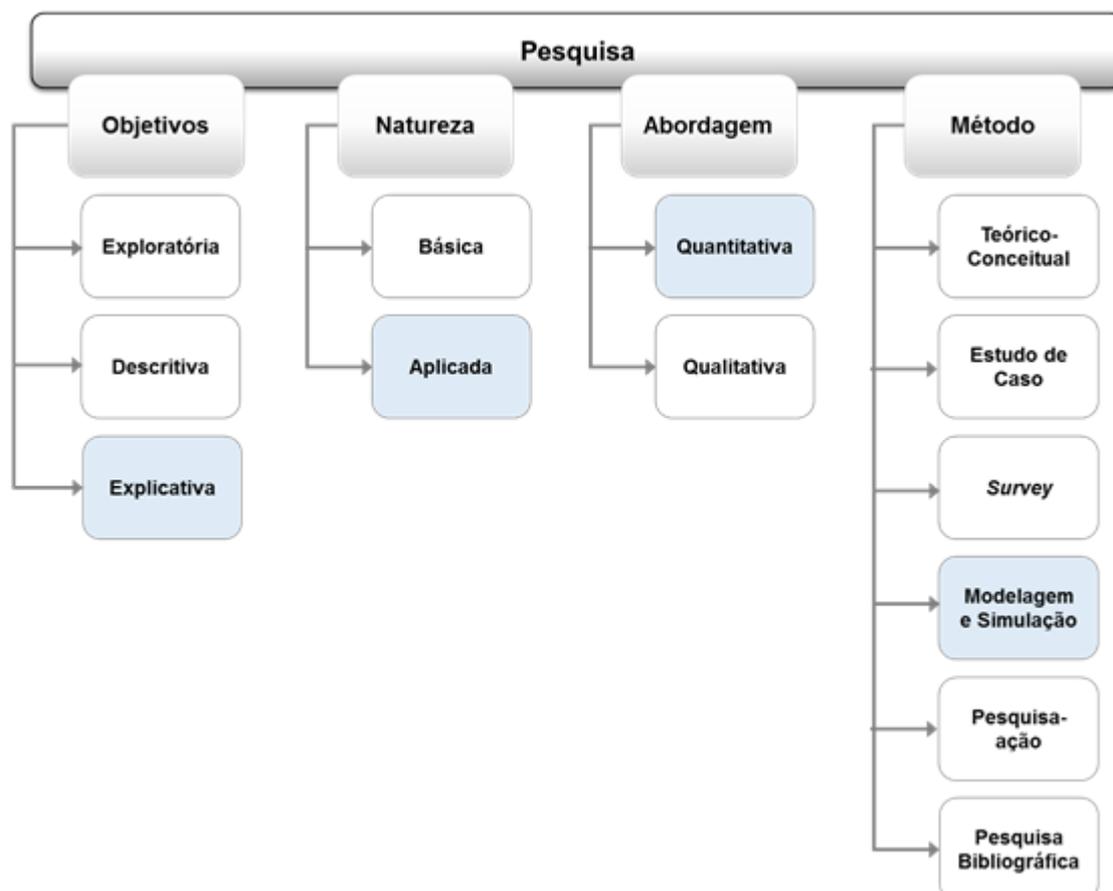


FIGURA 19: CLASSIFICAÇÃO DA PESQUISA.

Em um primeiro momento procurou-se realizar um embasamento teórico sobre os temas a serem discutidos neste trabalho como: Planejamento e Controle da Produção (PCP) com enfoque no sequenciamento de produção, *lean manufacturing* e simulação computacional.

Em seguida ao embasamento teórico, foi evidenciada a lacuna a ser explorada nesta pesquisa, a ausência de um sequenciamento otimizado de produção levando em consideração a integração das ferramentas *lean* e a simulação

computacional. Uma proposta que contemple a cadeia de produção de forma holística.

### 3.2. ETAPAS DO DESENVOLVIMENTO DE PESQUISA

O modelo proposto por Bertrand e Fransoo (2002) recomenda quatro etapas (conceito, modelagem, modelo de solução e implementação) para solucionar problemas referentes a modelagem e simulação. Com base neste modelo, este trabalho seguirá as etapas ilustradas na Figura 20 para solucionar o problema considerado nesta pesquisa.

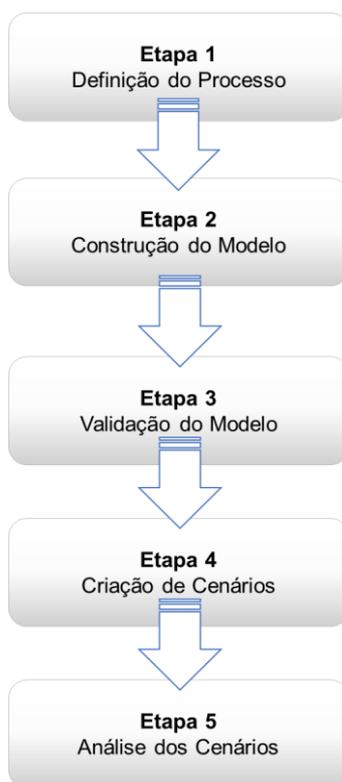


FIGURA 20: ETAPAS PARA SOLUCIONAR O PROBLEMA DESTA PESQUISA.

A primeira etapa é responsável por definir e compreender o processo, detalhando a cadeia de produção de forma holística. Dentre as informações

que serão coletadas nesta primeira etapa destacam-se: produtos e suas características geométricas, sequência de operações, layout, estrutura organizacional, recursos e suas particularidades, tempos de processamento e setup, dentre outros. Estas informações são imprescindíveis para o modelo a ser desenvolvido, pois alimentam a modelagem atuando como variáveis de entrada.

O levantamento de informações ocorreu por meio de visitas ao chão de fábrica (*in loco*), além de *softwares* que realizam o gerenciamento das informações de produção. Nos ambientes de produção da empresa abordada, os dados são coletados por um *software*, no qual os colaboradores realizam os apontamentos de produção, como, quantidade de peças, paradas, refugos, entre outros. Este software condensa as informações que são utilizadas pelos gestores para a tomada de decisão. O sistema *Enterprise Resource Planning* (ERP) recebe estas informações para realizar o gerenciamento de ordens de produção, como, custos, tempo de produção, setup, entre outros dados para controles de produção.

Para almejar o objetivo proposto, vale ressaltar a importância da transparência das informações que serão coletadas. Estes dados serão a base de todo o trabalho a ser realizado. Com a finalidade de assegurar a confiabilidade das informações, os dados são revisados e comparados mediante formulários de apontamento de produção que ficam alocados juntamente com as máquinas. No desenvolvimento desta pesquisa serão utilizados dados retroativos referentes ao período de janeiro de 2013 a agosto de 2015.

As informações coletadas foram confrontadas com dados de produção oficiais da organização, com intuito de encontrar quaisquer divergências de informações.

Na segunda etapa, o modelo baseado em Law (2003) é construído utilizando todas as informações coletadas. Com intuito de transferir o processo de produção para o modelo virtual é necessário detalhar o processo

minuciosamente, considerando particularidades a fim de garantir a aderência entre o real e o virtual.

A validação do modelo virtual é realizada na terceira etapa, pois qualquer divergência entre o sistema real e o modelo virtual influenciará de maneira negativa nos resultados da simulação. Com o intuito de evitar estes impactos negativos, as discordâncias foram avaliadas e eliminadas, por meio aderência dos modelos com intuito de verificar quantos por cento o modelo virtual é semelhante ao real.

Quarta etapa intitulada de criação de cenários é realizada posteriormente, e somente, a validação do modelo analisado. Os desenvolvimentos de novos cenários foram realizados exclusivamente pela simulação computacional, com a finalidade de otimizar o sequenciamento de produção levando em consideração diferentes estratégias, conforme a Tabela 1.

A quinta, e última etapa, é responsável por comparar e discutir os cenários propostos identificando pontos positivos e negativos entre eles.

#### 4. DESENVOLVIMENTO DA PESQUISA

A pesquisa foi realizada em uma empresa multinacional de origem europeia, considerada como uma das líderes mundiais em componentes automotivos e industriais, desenvolvendo soluções baseadas em inovação, criatividade e constante foco no cliente. No Brasil, a empresa está presente há mais de 50 anos, sendo sediada no interior do estado de São Paulo. A empresa possui uma única planta fabril no Brasil com aproximadamente 3.000 colaboradores, porém, está presente em todos os continentes, seja por operações de manufatura ou unidade de negócios, totalizando 80.000 colaboradores, caracterizando-a como uma das maiores empresas de tecnologia. Esta interação entre os colaboradores ocorre por meio de uma rede mundial de plantas fabris, instalações de Pesquisa & Desenvolvimento (P&D) e distribuidores.

Os produtos da empresa abordada são diversificados, atuando como fornecedor global líder nos setores automotivo e industrial. A atuação desta empresa pode ser denominada como sistemista. Atende diversos mercados, como, industrial (máquinas, segmento agrícola e motocicletas), automotiva (linha leve e pesada), *aftermarket* (mercado de reposição) e exportação.

A empresa possui como característica qualidade em seus produtos, tecnologia e um elevado nível de inovação. Dentre os objetivos da organização estudada, pode-se citar o aumento do faturamento, redução de custos e racionalização dos processos de produção. Para suportar estes objetivos a adoção de práticas do pensamento enxuto, introdução de novos produtos e tecnologias, desenvolvimento contínuo dos colaboradores, entre outras atividades são estimuladas pelos gestores em busca da excelência operacional.

Devido à variedade dos produtos fornecidos pela organização e às pressões sofridas por fatores externos, a adoção da melhoria contínua na gestão de operações torna-se imprescindível para almejar os objetivos propostos.

A empresa abordada possui o *lean manufacturing* atrelado aos seus processos de produção e nos departamentos administrativos (*office*), porém, a empresa desenvolveu uma metodologia própria de melhoria contínua, denominado MOVE, baseado no Sistema Toyota de Produção. Esta técnica foi elaborada pela matriz, sendo constantemente desenvolvida com o propósito de disseminar e atualizar o embasamento teórico e as ferramentas de aplicação para qualquer planta, independentemente de sua localização geográfica. Neste sentido, a uniformidade de informação torna-se uma vantagem para a troca de conhecimento entre colaboradores de diferentes unidades de negócios.

Uma das vantagens da adoção do Sistema Toyota de Produção – STP é a redução de desperdícios presentes na produção, trazendo como benefícios o aumento do volume de produção e a otimização da capacidade de seus processos.

A metodologia MOVE pode ser definida como um método para tornar a empresa mais eficaz e cada vez mais focada em seus clientes, maximizando a confiabilidade e flexibilidade nas entregas, com intuito de possuir custo e qualidade como vantagens competitivas. A Figura 21 ilustra, de forma sintetizada, esta metodologia.

Para adequar a metodologia MOVE, pensamento enxuto, a todos os departamentos e processos, deve-se levar em consideração alguns fatores:

- Propagar e consolidar, perante aos colaboradores, a cultura da melhoria contínua na estrutura e processos da empresa;
- Identificar, reduzir e eliminar os desperdícios de modo contínuo, com intuito de aumentar o valor agregado em produtos e serviços;
- Simplificar produtos e processos complexos;
- Realizar somente atividades que foram solicitados pelo cliente na medida e tempo exato.



FIGURA 21: METODOLOGIA MOVE.

Tanto na empresa abordada, assim como em outras organizações, o fator denominado comprometimento dos colaboradores é essencial para suportar as operações de produção, assim como a eliminação de desperdícios, com o intuito de ter um processo sem falhas

De forma geral, a metodologia MOVE procura desenvolver e produzir o que foi solicitado pelo cliente, e sobre o que o cliente precisa e paga de forma eficiente quanto possível.

#### 4.1. ETAPA 1 – DEFINIÇÃO DO PROCESSO

A motivação desta pesquisa é pela necessidade em otimizar o sequenciamento de produção de uma célula piloto denominada *lighthouse* (farol), cujo processo é o último antes dos produtos serem destinados para a expedição e, conseqüentemente, para os clientes.

Quando um equipamento ou recurso é tratado como *lighthouse* na empresa analisada, as melhores práticas, recursos humanos e financeiros, máquinas, insumos, e a implementação de ferramentas do *lean manufacturing* são destinadas primeiramente para esta estação de trabalho, com intuito de inserir

a cultura da melhoria contínua no chão-de-fábrica. Um projeto *lighthouse* é caracterizado pela otimização holística do processo, com a finalidade de assegurar a confiabilidade de entrega (produtos e serviços) aos clientes no prazo, na quantidade e nos custos acordados entre fornecedor e cliente. Após implementado o conceito de célula piloto e evidenciar a sustentabilidade referente à aplicação das melhores práticas, deve-se replicar as atividades para outros recursos em toda a fábrica, garantindo, assim, uma melhoria nos processos de forma estruturada.

Para analisar as diferentes áreas que compõem o recurso a ser otimizado, *workshops* regulares são realizados com intuito de verificar possíveis potenciais de melhoria. Dentre estas áreas, destacam-se: gerenciamento da produção e logística (logística interna, *lead time*, setup, OEE), compras e fornecedores (gestão de materiais em relação ao tempo de entrega) e o planejamento com foco na previsão de pedido de clientes (qualidade do planejamento, níveis de estoque, capacidade de demanda).

A necessidade de desenvolver os recursos existentes e torná-los referência dentro da organização, ocorre a partir da exigência do mercado em reduzir custos, aumentar a capacidade de produção, maximizar a eficiência, e ainda, otimizar máquinas e processos sob o pretexto de não tornar o processo de produção obsoleto visando projetos futuros, ou ainda, o desenvolvimento de novos produtos. Além da exigência do mercado competitivo, as organizações devem aplicar constantemente um mapa do estado futuro (Visão de Futuro) que estabelece metas quantitativas e qualitativas com a finalidade de almejar um cenário de excelência.

Para iniciar este processo de mudança, os gestores responsáveis pelos sistemas de produção são incumbidos de gerenciar projetos, no qual o primeiro passo é criar uma equipe de trabalho com a finalidade de diminuir a lacuna existente entre o recurso analisado e o *benchmarking*. *Benchmarking* é um processo de comparação entre processos de manufatura e métricas de desempenho para indústrias, com a finalidade de identificar o recurso referência e efetuar comparações entre os processos.

Logo, é imprescindível que haja harmonia entre a produção e os setores de manutenção e Pesquisa & Desenvolvimento da organização, sendo que o objetivo de cada área é explanado a seguir:

- Manutenção: assegurar que as máquinas funcionem em sua plena funcionalidade;
- Produção: estabelecer padrões para desenvolver célula *lighthouse*, identificando oportunidades para otimizar produção e custos;
- Pesquisa & Desenvolvimento – P&D: suportar as atividades, por meio de novas tecnologias, levando em consideração *benchmarking* interno e externo.

Para identificar as práticas que devem ser implementadas com a finalidade de transformar o recurso existente em *lighthouse*, os *stakeholders* realizam um *brainstorming* comparando o recurso analisado com o *benchmarking*, sob os aspectos principais: indicadores de desempenho, máquinas, tempo de ciclo, tempo de setup, insumos, entre outros.

Porém, vale ressaltar que é imprescindível analisar a cadeia como um todo, pois os processos anteriores podem influenciar de maneira positiva ou negativa a performance da célula. Realizando a análise das operações em conjunto, é possível potencializar as otimizações ao invés de analisar separadamente os recursos, gerando resultados somente no recurso analisado.

O sistema de produção da empresa abordada é dividido em três fases: tratamento térmico, célula de usinagem, e por fim, célula de montagem respectivamente designados como processo A, B e C, conforme Figura 22. A célula *lighthouse* corresponde ao Processo C, que possui 21 tipos de produtos diferentes entre si, havendo também a mesma quantidade para cada componente.

Na empresa abordada o ritmo de produção é conduzido pela célula de montagem, pois o produto final é constituído de dois componentes (x e y) que

são produzidos ao longo da cadeia produtiva, possuindo particularidades que serão descritas a seguir. Para obter o produto final de um determinado item é necessário que os componentes x e y estejam disponíveis para realizar a montagem, além de ter sido processados pelas operações anteriores (tratamento térmico e usinagem). Neste contexto, os programadores de produção requisitam os componentes para o sistema produtivo, somente, se os dois itens estiverem disponíveis para serem processados.

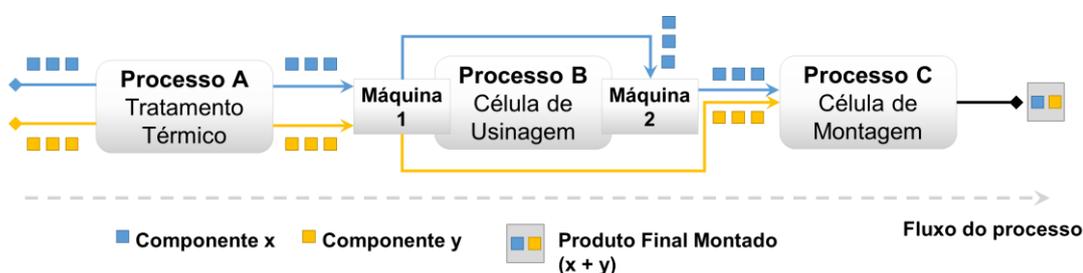


FIGURA 22: SISTEMA DE PRODUÇÃO DA EMPRESA ABORDADA.

A capacidade de produção do Processo A - Tratamento Térmico na empresa avaliada é de 1.500 kg/hora sendo que este processo é responsável por temperar e, posteriormente, revenir todos os componentes. Vale salientar que todas as unidades dos componentes devem obrigatoriamente ser processadas nesta operação. Tratamento térmico é caracterizado por aquecer determinado material a uma certa temperatura com o propósito de oferecer ao material propriedades particulares, tais como: dureza, resistência, ductibilidade, entre outros.

Na empresa abordada, o processo de tratamento térmico é dividido em carregamento, lavagem, tempera, pós-tempera, revenimento e descarregamento, conforme exemplificado na Figura 23.

O carregamento é a primeira etapa do tratamento térmico, sendo realizada por dois colaboradores habilitados e treinados, porém, deve-se ter cautela em não

exceder o limite de 250 kg em cada carga. Com as peças carregadas, elas mesmas são destinadas para o processo de lavagem, que tem o intuito de remover o excesso de resíduos e impurezas provenientes dos processos anteriores, ou ainda pelo transporte das peças até o tratamento térmico. No entanto, a ausência do processo de lavagem impacta o desempenho dos componentes existentes no processo, gerando fuligem e prejudicando a atmosfera no processo de tempera.

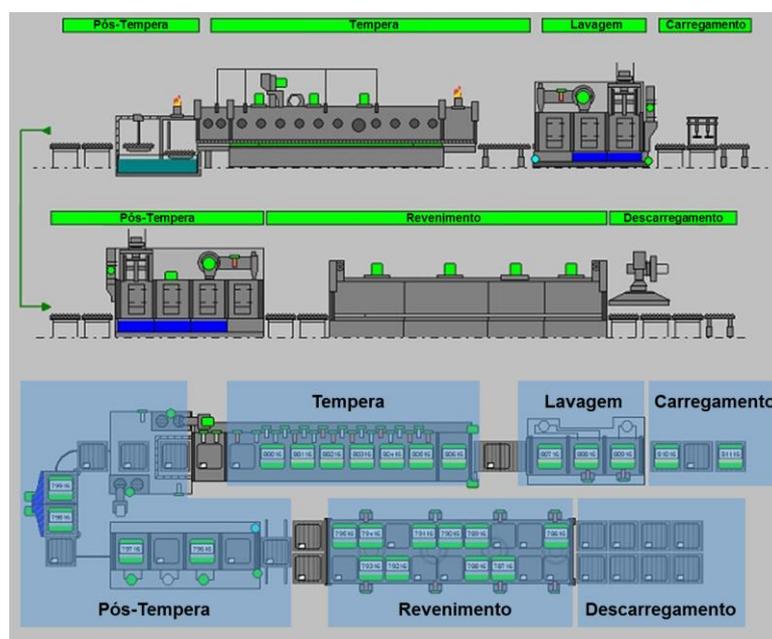


FIGURA 23: MODELO ESQUEMÁTICO DO TRATAMENTO TÉRMICO (PROCESSO A).

Após o processo de lavagem, as peças são encaminhadas para a tempera, processo considerado vital do tratamento térmico, pois tem a finalidade de aquecer o material acima da zona crítica (austenitização) seguido de um resfriamento rápido (água, ar ou sal) levando em consideração o tipo de material, tamanho da peça e a propriedade desejada. No processo de tempera, o constituinte final é a martensita, sendo que esta fase traz como benefício ao material: aumento de dureza, aumento de resistência mecânica (tração) e redução de ductilidade, sendo resfriado bruscamente em um banho de sal.

Em seguida ao processo de tempera, as peças são dirigidas a uma câmara, que contém sopradores com intuito de remover o excesso de sal permanente na carga. Além disto, as peças passam novamente por outro processo de lavagem antes de serem conduzidas para o processo de revenimento.

O processo de revenimento é realizado posteriormente a tempera, pois tem o propósito de extinguir resquícios intrínsecos aos processos anteriores, além de remover tensões, corrigir as durezas excessivas e a fragilidade do material, proporcionando um acréscimo de ductibilidade. Este processo é indispensável para controlar a dureza final das peças, conforme solicitado por cada cliente.

Após realizado os processos de carregamento, lavagem, tempera, pós-tempera e revenimento, as peças são conduzidas para o final do processo, sendo disponibilizadas para o próximo processo (célula de usinagem). O descarregamento, última etapa do tratamento térmico, é realizado pelos colaboradores, no qual as peças são distribuídas em contêineres, pesadas, quantificadas e lançadas no sistema ERP existente na empresa para acompanhamento e controle de produção, sendo separadas de acordo com a família de produtos. O ciclo completo de produção no Processo A – Tratamento Térmico – para qualquer componente é de cinco horas, dividida conforme a Tabela 3.

*TABELA 3: TEMPO DE PROCESSAMENTO - TRATAMENTO TÉRMICO (PROCESSO A)*

#	Etapa	Tempo Processamento (etapa)	Tempo Acumulado
1	Carregamento	15 minutos	15 minutos
2	Lavagem	20 minutos	35 minutos
3	Tempera	60 minutos	95 minutos
4	Pós-Tempera	30 minutos	125 minutos
5	Revenimento	160 minutos	285 minutos
6	Descarregamento	15 minutos	300 minutos

No processo de tratamento térmico esquematizado anteriormente, vale ressaltar que o processo que dita o ritmo é a tempera, pois há possibilidade de

temperar simultaneamente seis cargas, resultando em 1.500 kg/hora. Com intuito de temperar uma nova carga é necessário aguardar até que uma se desloque para o processo de pós-tempera levando em consideração as restrições do sistema.

O sistema de produção abordado com 21 produtos existentes possui restrições, no qual se destaca o tempo de *setup* entre os componentes no processo de tratamento térmico. O tempo de *setup* neste processo pode variar de 8 minutos a 2.100 minutos dependendo da peça a ser processada, pois cada componente assume propriedades particularidades em sua aplicação, sendo requeridas pelos clientes. A Tabela 4 apresenta uma matriz de *setup*, em minutos, com enfoque no componente x e as possíveis interações. Em contrapartida, a Tabela 5 apresenta as mesmas informações, porém em relação ao componente y.

Para identificar o tempo de *setup* entre os componentes, deve-se levar em consideração primeiramente as colunas e posteriormente as linhas. Por exemplo, o tempo necessário para realizar o *setup* do componente Jx para Sx é de 2.100 minutos conforme Figura 24. Do mesmo modo que o *setup* do componente Dy para ly é de apenas 8 minutos.

**1. Coluna**

	Ax	Bx	Cx	Dx	Ex	Fx	Gx	Hx	Ix	Jx
Ax		60	60	60	60	60	60	60	60	60
Bx	60		8	8	8	8	8	8	8	8
Cx	60	8		8	8	8	8	8	8	8
Dx	60	8	8		8	8	8	8	8	8
Ex	60	8	8	8		8	8	8	8	8
Fx	60	8	8	8	8		0	8	8	8
Gx	60	8	8	8	8	0		8	8	8
Hx	60	8	8	8	8	8	8		8	8
Ix	60	8	8	8	8	8	8	8		8
Jx	60	8	8	8	8	8	8	8	8	
Kx	60	8	8	8	8	8	8	8	8	8
Lx	60	8	8	8	8	8	8	8	8	8
Mx	60	8	8	8	8	8	8	8	8	8
Nx	8	60	60	60	60	60	60	60	60	60
Ox	8	60	60	60	60	60	60	60	60	60
Px	8	60	60	60	60	60	60	60	60	60
Qx	8	60	60	60	60	60	60	60	60	60
Rx	8	60	60	60	60	60	60	60	60	60
Sx										2100
Tx	60	8	8	8	8	8	8	8	8	8
Ux	60	8	8	8	8	8	8	8	8	8

**2. Linha**

FIGURA 24: MÉTODO PARA DETERMINAR TEMPO DE SETUP ENTRE COMPONENTES.

TABELA 4: MATRIZ DE SETUP DO PROCESSO A ENTRE OS COMPONENTES X.

	Ax	Bx	Cx	Dx	Ex	Fx	Gx	Hx	Ix	Jx	Kx	Lx	Mx	Nx	Ox	Px	Qx	Rx	Sx	Tx	Ux	
Ax		60	60	60	60	60	60	60	60	60	60	60	60	8	8	8	8	8	60	60	60	
Bx	60		8	8	8	8	8	8	8	8	8	8	8	60	60	60	60	60	8	8	8	
Cx	60	8		8	8	8	8	8	8	8	8	8	8	60	60	60	60	60	8	8	8	
Dx	60	8	8		8	8	8	8	8	8	8	8	8	60	60	60	60	60	8	8	8	
Ex	60	8	8	8		8	8	8	8	8	8	8	8	60	60	60	60	60	8	8	8	
Fx	60	8	8	8	8		0	8	8	8	8	8	8	60	60	60	60	60	8	8	8	
Gx	60	8	8	8	8	0		8	8	8	8	8	8	60	60	60	60	60	8	8	8	
Hx	60	8	8	8	8	8	8		8	8	8	8	8	60	60	60	60	60	8	8	8	
Ix	60	8	8	8	8	8	8	8		8	8	8	8	60	60	60	60	60	8	8	8	
Jx	60	8	8	8	8	8	8	8	8		8	8	8	60	60	60	60	60	8	8	8	
Kx	60	8	8	8	8	8	8	8	8	8		8	8	60	60	60	60	60	8	8	8	
Lx	60	8	8	8	8	8	8	8	8	8	8		8	60	60	60	60	60	8	8	8	
Mx	60	8	8	8	8	8	8	8	8	8	8	8		60	60	60	60	60	8	8	8	
Nx	8	60	60	60	60	60	60	60	60	60	60	60	60		8	8	8	8	60	60	60	
Ox	8	60	60	60	60	60	60	60	60	60	60	60	60	8		8	8	8	60	60	60	
Px	8	60	60	60	60	60	60	60	60	60	60	60	60	8	8		8	8	60	60	60	
Qx	8	60	60	60	60	60	60	60	60	60	60	60	60	8	8	8		8	60	60	60	
Rx	8	60	60	60	60	60	60	60	60	60	60	60	60	8	8	8	8		60	60	60	
Sx	2100	2100	2100	2100	2100	2100	2100	2100	2100	2100	2100	2100	2100	2100	2100	2100	2100	2100	2100		2100	2100
Tx	60	8	8	8	8	8	8	8	8	8	8	8	8	60	60	60	60	60	8		8	
Ux	60	8	8	8	8	8	8	8	8	8	8	8	8	60	60	60	60	60	8	8		

TABELA 5: MATRIZ DE SETUP DO PROCESSO A ENTRE OS COMPONENTES Y.

	Ay	By	Cy	Dy	Ey	Fy	Gy	Hy	Iy	Jy	Ky	Ly	My	Ny	Ou	Py	Qy	Ry	Sy	Ty	Uy
Ay		8	8	8	8	8	60	8	8	8	8	60	60	8	8	8	8	8	60	8	8
By	8		0	8	8	8	60	8	8	8	8	60	60	8	8	8	8	8	60	8	8
Cy	8	0		8	8	8	60	8	8	8	8	60	60	8	8	8	8	8	60	8	8
Dy	8	8	8		8	8	60	8	8	8	8	60	60	8	8	8	8	8	60	8	8
Ey	8	8	8	8		8	60	8	8	8	8	60	60	8	8	8	8	8	60	8	8
Fy	8	8	8	8	8		60	8	8	8	8	60	60	8	8	8	8	8	60	8	8
Gy	60	60	60	60	60	60		60	60	60	60	8	8	60	60	60	60	60	8	60	60
Hy	8	8	8	8	8	8	60		8	8	8	60	60	8	8	8	8	8	60	8	8
Iy	8	8	8	8	8	8	60	8		8	8	60	60	8	8	8	8	8	60	8	8
Jy	8	8	8	8	8	8	60	8	8		8	60	60	8	8	8	8	8	60	8	8
Ky	8	8	8	8	8	8	60	8	8	8		60	60	8	8	8	8	8	60	8	8
Ly	60	60	60	60	60	60	8	60	60	60	60		8	60	60	60	60	60	8	60	60
My	60	60	60	60	60	60	8	60	60	60	60	8		60	60	60	60	60	8	60	60
Ny	8	8	8	8	8	8	60	8	8	8	8	60	60		8	8	8	8	60	8	8
Ou	8	8	8	8	8	8	60	8	8	8	8	60	60	8		8	8	8	60	8	8
Py	8	8	8	8	8	8	60	8	8	8	8	60	60	8	8		8	8	60	8	8
Qy	8	8	8	8	8	8	60	8	8	8	8	60	60	8	8	8		8	60	8	8
Ry	8	8	8	8	8	8	60	8	8	8	8	60	60	8	8	8	8		60	8	8
Sy	60	60	60	60	60	60	8	60	60	60	60	8	8	60	60	60	60	60		60	60
Ty	8	8	8	8	8	8	60	8	8	8	8	60	60	8	8	8	8	8	60		8
Uy	8	8	8	8	8	8	60	8	8	8	8	60	60	8	8	8	8	8	60	8	

Concluído o Processo A – Tratamento Térmico do sistema de produção, os componentes ficam alocados na produção aguardando serem processados pelo Processo B denominado Célula de Usinagem, que possui três colaboradores habilitados e treinados. Este processo é dividido em duas máquinas, sendo que a primeira tem a finalidade de realizar desbaste, e a segunda máquina o processo de acabamento. A remoção de material (cavaco) é realizada primeiramente pela operação de desbaste, processo inicial de usinagem, que tem a finalidade de moldar o material a ser processado na fase seguinte. Na fase de acabamento, obtém-se o produto final com as características dimensionais e geométricas solicitadas pelos clientes.

Neste contexto, vale ressaltar que o componente x deve ser processado tanto pela fase de desbaste, como pela fase de acabamento, enquanto o componente y deve ser processado apenas pela fase de desbaste, pois o acabamento é efetuado no Processo C – Célula de Montagem.

A célula de usinagem caracteriza-se, no sistema produtivo abordado, como o processo que possui o menor tempo de atravessamento, possuindo tempo de ciclo e de setup mínimos em comparação com o restante do sistema. Levando em consideração os tempos de ciclo de todos os componentes produzidos neste processo, a produção média na fase de desbaste e de acabamento é de respectivamente cinquenta e vinte peças por minuto. Adicionalmente, outra característica deste processo é de possuir tempo de setup de trinta minutos para qualquer componente, seja qual for a ordem de produção. A Tabela 6 apresenta os tempos de ciclo de cada componente em ambas as fases.

A partir do cenário exposto em relação ao Processo B – Célula de Usinagem, pode-se comprovar por meio dos tempos de ciclo e de setup que este processo não será o gargalo do sistema. Porém, este processo tem o compromisso de produzir antecipadamente os itens a serem destinados ao próximo processo.

TABELA 6: TEMPO DE CICLO DOS COMPONENTES NO PROCESSO B (CÉLULA DE USINAGEM).

	Desbaste Tc (min)	Acabamento Tc (min)		Desbaste Tc (min)
Ax	0,018	0,052	Ay	0,032
Bx	0,020	0,052	By	0,022
Cx	0,019	0,068	Cy	0,022
Dx	0,022	0,054	Dy	0,021
Ex	0,022	0,066	Ey	0,021
Fx	0,036	0,040	Fy	0,019
Gx	0,036	0,040	Gy	0,020
Hx	0,021	0,042	Hy	0,023
Ix	0,023	0,054	Iy	0,021
Jx	0,016	0,044	Jy	0,019
Kx	0,016	0,044	Ky	0,019
Lx	0,048	0,064	Ly	0,020
Mx	0,040	0,068	My	0,025
Nx	0,028	0,052	Ny	0,023
Ox	0,019	0,048	Ou	0,021
Px	0,019	0,048	Py	0,021
Qx	0,038	0,070	Qy	0,042
Rx	0,017	0,066	Ry	0,018
Sx	0,034	0,088	Sy	0,028
Tx	0,017	0,054	Ty	0,024
Ux	0,019	0,050	Uy	0,015

Posteriormente ao processo de tratamento térmico e de usinagem, os componentes são direcionados ao último processo do sistema de produção, denominado Processo C – Célula de Montagem. O propósito desta etapa é efetuar o acabamento de ambos componentes, em seguida, realizar a montagem do produto final.

A Figura 25 ilustra de forma esquemática o Processo C – Célula de Montagem. Em um primeiro momento os componentes, oriundos das operações anteriores, permanecem alocados no início do processo aguardando serem processados, e posteriormente, montados. Previamente à montagem do produto final, os componentes são separados em dois ramais, possuindo características distintas:

- Componente x:
  - Primeiro Estágio: responsável por remover resquícios das operações anteriores;
  - Segundo Estágio: etapa com incumbência de otimizar o acabamento do componente;
  - Terceiro Estágio: fase encarregada de gravar informações relevantes, tais como, descrição do produto e data de fabricação, no próprio componente com intuito de monitorar a produção contra possíveis problemas futuros. Encerrando o ciclo deste estágio, o componente é disponibilizado para a montagem.
  
- Componente y:
  - Primeiro Estágio: devido à ausência da operação de acabamento no Processo B – Célula de Usinagem, esta etapa tem a responsabilidade de realizar o acabamento no componente;
  - Segundo Estágio: esta etapa tem como objetivo remover os resíduos provenientes dos processos anteriores;
  - Terceiro Estágio: fase com a intenção de otimizar o acabamento devido à exigência dos clientes na aplicação do produto a ser montado. Encerrando o ciclo de acabamento, o componente é encaminhado para a célula de montagem.

O Processo C – Célula de Montagem possui quatro colaboradores, distribuídos da seguinte forma: dois colaboradores responsáveis respectivamente pelo ramal do componente x e y, além de outros dois colaboradores situados na montagem.

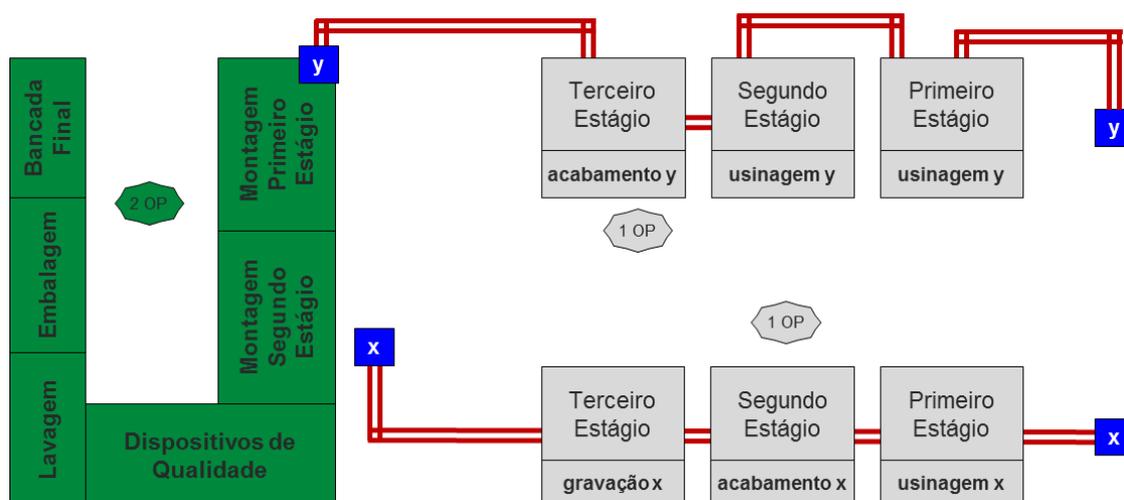


FIGURA 25: MODELO ESQUEMÁTICO REFERENTE AO PROCESSO C (CÉLULA DE MONTAGEM).

Para realizar a montagem do produto final os componentes devem necessariamente passar por todas as etapas do processo anteriores a montagem, levando em consideração os aspectos de qualidade. Os dois colaboradores situados na montagem realizam a unificação dos componentes em dois estágios e, em seguida, realizam uma série de testes de qualidade para minimizar a ocorrência de reclamações de clientes, além de embalar as peças de acordo com o cliente. Este processo é caracterizado por possuir um tempo de ciclo de 22s e um tempo de setup médio de 160 minutos para todo o *range* de produtos.

#### 4.2. ETAPA 2 – CONSTRUÇÃO DO MODELO

Para construir o modelo a ser simulado as informações referentes ao estado atual do sistema de produção foram coletadas e organizadas, sendo posteriormente repassadas para o software *Plant Simulation*, responsável por simular o cenário atual conforme ilustrado na Figura 26, e também, os cenários futuros.

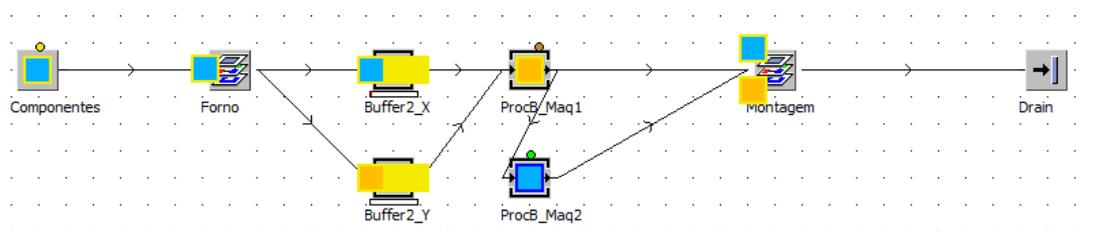


FIGURA 26: SIMULAÇÃO DO ESTADO ATUAL.

No desenvolvimento da simulação tomou-se a preocupação em utilizar a ferramenta denominada *ShiftCalendar* disponibilizada no *software*. Esta ferramenta tem como objetivo parametrizar o horário de trabalho dos colaboradores, extraindo os dias não trabalhados (feriados e finais de semana) e pausas, tais como, refeição, ginástica laboral e troca de turno. Na empresa abordada, o setor de controladoria é responsável por determinar e informar a quantidade de dias trabalhados, ou seja, período em que o sistema de produção está em pleno funcionamento. Para o estado atual será considerado 260 dias produtivos no ano de acordo com o *budget*, realizado um ano anteriormente.

Com o propósito de representar o sistema real no ambiente simulado de forma mais autêntica, outras duas ferramentas foram utilizadas: *TableFile* e *Method*; tais ferramentas são essenciais para analisar as particularidades do sistema produtivo. O *TableFile* é responsável por auxiliar na parametrização do modelo em relação ao sequenciamento de produção e as variabilidades existentes no sistema de produção, pois para cada peça a ser produzida deve-se levar em consideração as particularidades referentes a tempo de ciclo e *setup*. Enquanto o *Method* possibilita a criação de procedimentos (*procedure*) e funções, por meio de programações, a fim de serem inseridas no modelo. Esta ferramenta permite implementar diferentes abordagens para adaptar o modelo, conforme a necessidade do usuário, além de otimizar a eficiência e flexibilidade do modelo de simulação. Com o auxílio desta ferramenta, as particularidades no sistema

produtivo ocorrem, por exemplo, é possível unificar os componentes corretamente na célula de montagem neste trabalho.

Posteriormente à realização da coleta de dados e de informações, as quais foram analisadas e validadas, foi possível construir o modelo de simulação do estado atual conforme Figura 27, a qual representa de forma fidedigna o sistema de produção da empresa abordada.

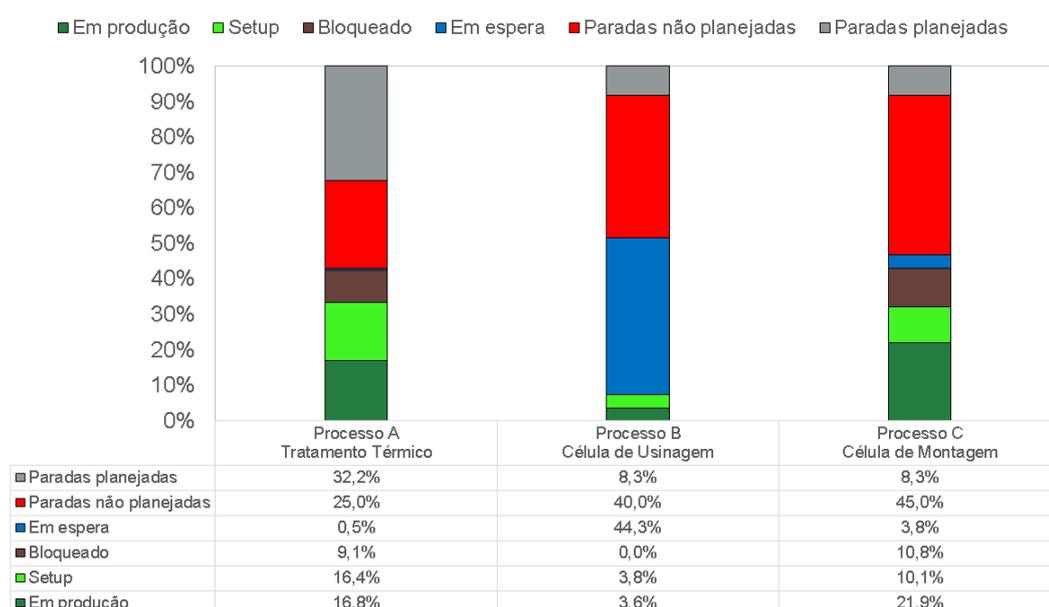


FIGURA 27: IMPLICAÇÕES DO CENÁRIO ATUAL PROCEDENTES DA SIMULAÇÃO.

Para auxiliar o entendimento do modelo de simulação é comumente utilizado um sistema de cores, conforme Figura 28, sendo que cada cor representa o status do recurso avaliado, conforme descrição abaixo:

- Em produção: máquina ou processo produzindo algum produto. Nesta etapa ocorre a agregação de valor ao produto. O valor agregado no produto é a operação que o cliente está disposto a pagar;

- Setup: tempo e atividades ocorridas entre a produção do último produto do lote  $n$  até o primeiro produto do lote posterior ( $n+1$ ), levando em consideração a qualidade necessária aos produtos;
- Bloqueado: o valor não pode ser transferido para a etapa sucessora, pois o recurso seguinte está impossibilitado de realizar outro tipo de operação. Esta condição resulta no sistema produtivo a formação de filas, acarretando diretamente no aumento do WIP entre os processos;
- Em espera: fase em que a operação está parada aguardando a finalização dos processos anteriores para, enfim, iniciar seu processo. A máquina ou processo está disponível para produzir determinado produto, porém, não há nenhum produto, ou ainda matéria-prima disponível (*input* vazio). Máquina parada sem nenhuma ordem de produção;
- Paradas não planejadas: falhas indesejadas que ocorrem no sistema de produção gerando desperdício, impactando negativamente nos indicadores de desempenho do sistema de produção. Dentre estas falhas podem-se citar: manutenção corretiva, falta de material, espera, reajustagens, entre outros.
- Paradas planejadas: este tipo de parada ocorre com um planejamento prévio, e não interferem na performance da cadeia produtiva. Alguns exemplos deste tipo de parada são: turno não trabalhado, manutenção preventiva, ou ainda TPM, pausa para refeições, treinamentos, entre outros.

A partir dos resultados gerados pela simulação no cenário atual, pode-se afirmar que os processos que ficam mais tempo em produção são respectivamente processo de montagem, tratamento térmico e usinagem. Esta ordem é devido às particularidades existentes no sistema, sendo que a célula de usinagem produz dezenas de produtos por minuto devido ao tempo

de ciclo reduzido, enquanto o tratamento térmico permite a produção de diferentes produtos simultaneamente, e o processo de montagem é caracterizado por diversos postos de trabalho permitindo a montagem de apenas um produto por ciclo.

Status	Cor	
Em produção	Verde	
Setup	Verde claro	
Bloqueado	Marrom	
Em espera	Amarelo	
Paradas não planejadas	Vermelho	
Paradas planejadas	Cinza	

FIGURA 28: SISTEMA DE CORES UTILIZADO NA SIMULAÇÃO.

O setup é realizado para cada novo produto que é produzido no sistema produtivo. O tratamento térmico possui o maior índice de *setup*, pois neste processo o tempo varia de 8 minutos a 2.100 minutos devido a características solicitadas pelo cliente. Outro aspecto que auxilia o tratamento térmico neste índice é a existência de *setup* entre componentes, totalizando 42 itens. Enquanto que na célula de usinagem e na célula montagem o tempo de setup é de respectivamente de 30 e 160 minutos.

Em relação ao status bloqueado, o processo de tratamento térmico apresenta este status somente quando o processo de tempera possui as seis cargas em produção simultaneamente, capacidade total. No modelo simulado a célula de usinagem não apresentou índices deste recurso, pois o seu processo de produção permite absorver a produção do tratamento térmico antes de uma nova carga ser disponibilizada para produção. Em contrapartida, o processo de montagem possui discrepância em relação ao tempo de ciclo e setup com o processo anterior, permitindo a formação de filas, e conseqüentemente WIP, restringindo o sistema de produção.

Com relação à inatividade dos recursos, período em espera, o processo de usinagem é o principal recurso afetado, devido também a discrepância dos tempos entre os dois primeiros processos. Além de todas as peças obrigatoriamente terem que ser processadas pelas três operações.

As paradas não planejadas são responsáveis por 37% em média do tempo disponível para produção, constituindo em perdas diversificadas. Um dos fatores que contribuem para este percentual elevado é o sequenciamento de produção, pela ocorrência de setups no processo de tratamento térmico, que influencia todo o sistema de produção, provocando índices de espera e recursos bloqueados. Estas paradas indesejadas ocorrem também pela ocorrência de manutenção corretiva nas máquinas e processos.

Em relação às paradas planejadas, os processos de usinagem e montagem possuem o mesmo índice, devido a parametrização idêntica do horário de trabalho dos colaboradores em todos os postos de trabalho. O processo de tratamento térmico possui uma particularidade neste aspecto por ser um processo crítico, que não possui processo alternativo, estimula a ocorrência de manutenções preventivas periódicas.

Deste modo, nota-se que o sequenciamento de produção implica holisticamente o desempenho do sistema de produção impactando em qualquer recurso.

#### **4.3. ETAPA 3 – VALIDAÇÃO DO MODELO**

Conforme explanado anteriormente, todo modelo aplicado a um sistema existente depois de construído deve confrontar os resultados com o sistema real, por meio dos resultados oficiais da fábrica, com propósito de validar o modelo construído.

A Tabela 7 apresenta os resultados da simulação, efetuando uma comparação entre o sistema real e o virtual comparando a aderência entre os sistemas no curto, médio e longo prazo.

Para o curto prazo, utilizou-se um período de avaliação de apenas três meses, o médio prazo seis meses, enquanto ao longo prazo foi utilizado o período de um ano para os sistemas.

TABELA 7: COMPARATIVO ENTRE O SISTEMA REAL X VIRTUAL.

	Quantidade de peças produzidas		Aderência entre os sistemas
	Sistema Real	Sistema Virtual	
Curto Prazo	97.258	95.256	98%
Médio Prazo	194.496	186.716	96%
Longo Prazo	388.864	369.421	95%

A aderência entre os sistemas ficou entre 95-98% o que confirma a validação do modelo realizado, permitindo utilizar a mesma base para a construção de cenários futuros.

#### 4.4. ETAPA 4 – CRIAÇÃO DE CENÁRIOS

A partir do cenário do estado atual houve a possibilidade de identificar as atividades não produtivas do sistema de produção. O intuito da criação de cenários futuros é de otimizar o sistema de produção, por meio de diferentes estratégias de sequenciamento de produção.

Vale ressaltar que na construção dos cenários futuros o foco é analisar a produção de acordo com a estratégia de sequenciamento escolhida, abstendo-se de focar em programas de melhoria contínua. Em um segundo momento há a integração das ferramentas do *lean manufacturing* com o sequenciamento de produção.

De acordo com a Figura 29, e para um melhor entendimento no desenvolvimento do texto, os cenários futuros são apresentados.

Em relação aos diferentes tipos de estratégias de sequenciamento, para o cenário (1) levou-se em consideração o SPT (*Shortest Processing Time*) na qual os lotes são processados levando em consideração os tempos de processamento no sistema de produção, enquanto o cenário (2) os lotes são processados de acordo com as menores datas de entrega.

Para ambos os níveis de planejamento, algumas premissas necessitam estar alinhadas com o propósito de certificar o entendimento pleno das atividades, pois qualquer divergência na programação de programação (alocado no curto prazo do PCP) está atrelado a atraso na entrega dos produtos para os clientes. Tais premissas são:

- Comunicação alinhada entre planejamento de matéria-prima juntamente ao fornecedor;
- Eficiência operacional de excelência dos processos envolvidos;
- Entrega dos produtos acabados para expedição respeitando data de entrega do cliente.

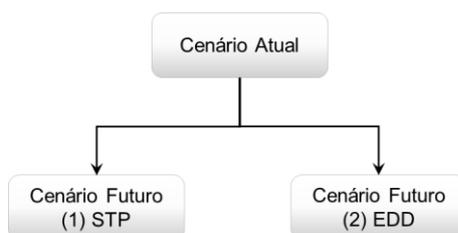


FIGURA 29: CRIAÇÃO DE CENÁRIOS FUTUROS.

O sequenciamento de produção é parametrizado na Célula de Montagem, pois este recurso é responsável por determinar o ritmo da produção, ou seja, puxar a produção. No *Plant Simulation*, a parametrização é realizada por meio de um *TableFile*, conforme a Figura 30. Posteriormente, é definida a ordem de produção que deverá ser processada na montagem e destinada para os

clientes. Os dois componentes devem estar disponíveis na célula de montagem.

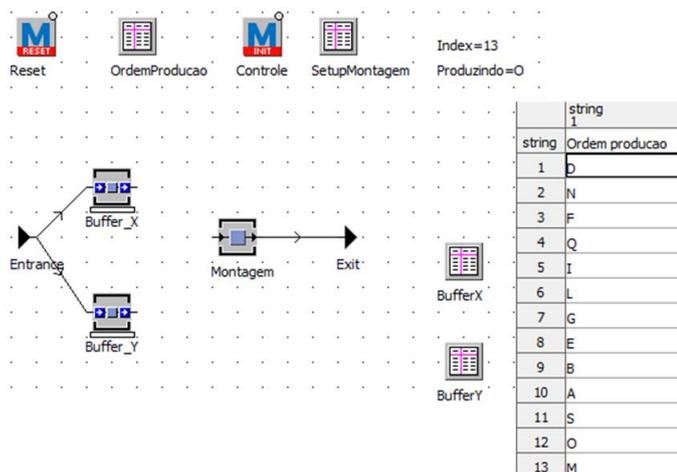


FIGURA 30: PARAMETRIZAÇÃO DO SEQUENCIAMENTO DE PRODUÇÃO.

Para os cenários a serem simulados a seguir, o sequenciamento de produção e os tempos de processamentos levarão em consideração as restrições do sistema de produção.

Com o intuito de garantir que no cenário (1) o sequenciamento obedeça a estratégia SPT, dimensionando a produção a partir dos menores tempos de processamento, a produção do tratamento térmico deve considerar a maior quantidade possível de peça por carga, levando em consideração o peso de cada componente. Lembrando que, para montar o produto final a ser entregue para o cliente, é necessária a disponibilização dos dois componentes no processo, portanto, com a disparidade dos pesos entre os componentes o item mais leve prevaleceu.

Em seguida, o processo de usinagem definirá a sequência das peças a partir da pré-classificação realizada pelo tratamento térmico, pois a célula de montagem possui o mesmo tempo de ciclo para realizar a montagem de todas as peças. A Tabela 8 ilustra o sequenciamento da estratégia SPT.

TABELA 8: SEQUENCIAMENTO DE PRODUÇÃO – ESTRATÉGIA SPT.

Classificação levando em consideração somente peso			Classificação unificando os componentes para o próximo processo			Estratégia SPT Sequenciamento definido		
	Item	Peso kg		Item	Peso kg		Item	Tempo min
1	Sx	0,474	1	Sx	0,474	1	Uy	0,015
2	Sy	0,524	2	Sy	0,524	2	Ux	0,069
3	Ay	0,630	3	Ay	0,630	3	Ry	0,018
4	Fx	0,630	4	Ax	0,665	4	Rx	0,083
5	Gx	0,630	5	Fx	0,630	5	Fy	0,019
6	Jx	0,641	6	Fy	0,772	6	Fx	0,076
7	Kx	0,641	7	Gx	0,630	7	Jy	0,019
8	Lx	0,653	8	Gy	0,688	8	Jx	0,060
9	Ly	0,653	9	Jx	0,641	9	Ky	0,019
10	Ax	0,665	10	Jy	0,817	10	Kx	0,060
11	Gy	0,688	11	Kx	0,641	11	Gy	0,020
12	Ky	0,702	12	Ky	0,702	12	Gx	0,076
13	Ry	0,719	13	Lx	0,653	13	Ly	0,020
14	Tx	0,736	14	Ly	0,653	14	Lx	0,112
15	Rx	0,743	15	Ry	0,719	15	Dy	0,021
16	Ix	0,747	16	Rx	0,743	16	Dx	0,076
17	Iy	0,747	17	Tx	0,736	17	Ey	0,021
18	Ex	0,770	18	Ty	0,868	18	Ex	0,088
19	Fy	0,772	19	Ix	0,747	19	Iy	0,021
20	By	0,793	20	Iy	0,747	20	Ix	0,077
21	Cy	0,793	21	Ex	0,770	21	Oy	0,021
22	Ey	0,817	22	Ey	0,817	22	Ox	0,067
23	Jy	0,817	23	By	0,793	23	Py	0,021
24	Ny	0,834	24	Bx	0,888	24	Px	0,067
25	Hx	0,852	25	Cy	0,793	25	By	0,022
26	Hy	0,852	26	Cx	0,915	26	Bx	0,072
27	Ty	0,868	27	Ny	0,834	27	Cy	0,022
28	Bx	0,888	28	Nx	1,231	28	Cx	0,699
29	Mx	0,896	29	Hx	0,852	29	Hy	0,023
30	Dx	0,910	30	Hy	0,852	30	Hx	0,063
31	Cx	0,915	31	Mx	0,896	31	Ny	0,023
32	My	0,933	32	My	0,933	32	Nx	0,080
33	Uy	0,959	33	Dx	0,910	33	Ty	0,024
34	Ox	1,030	34	Dy	1,120	34	Tx	0,071
35	Px	1,030	35	Uy	0,959	35	My	0,025
36	Py	1,051	36	Ux	1,076	36	Mx	0,108
37	Qy	1,065	37	Ox	1,030	37	Sy	0,028
38	Ux	1,076	38	Oy	1,108	38	Sx	0,122
39	Ou	1,108	39	Px	1,030	39	Ay	0,032
40	Dy	1,120	40	Py	1,051	40	Ax	0,070
41	Nx	1,231	41	Qy	1,065	41	Qy	0,042
42	Qx	1,295	42	Qx	1,295	42	Qx	0,108

Nota-se que, a classificação levando em consideração somente o peso, os componentes ficam distintos entre si. Por exemplo, o item A, enquanto o Ay é o terceiro componente da sequência o Ax é somente o décimo, ou em outros casos mais críticos como o produto T, em que o Tx é o décimo quarto da sequência, enquanto o Ty é vigésimo sétimo. Esta condição acaba implicando o surgimento de estoque em processo entre as estações de trabalho. A pré-classificação oriunda do tratamento térmico é realizada primeiramente levando em consideração o peso dos componentes, devido o tratamento térmico possuir como particularidade o limite de 250 kg para cada carga, em seguida os componentes são unificados.

A célula de usinagem define o sequenciamento de produção para a estratégia SPT, pois o tempo de ciclo para cada componente difere, enquanto que na célula de montagem para todas as peças o tempo de ciclo é equivalente a 26s. Para definir a sequência de planejamento, levou-se em consideração, primeiramente, os componentes y, pois eles são produzidos apenas na primeira máquina da célula de usinagem. Em contrapartida, para os componentes x, a produção é realizada nas duas máquinas de usinagem. Vale salientar que o processo de montagem necessita dos dois componentes para montar o produto acabado.

Diante deste contexto, o cenário (1) foi simulado e os resultados da simulação são evidenciados na Figura 31.

O intuito deste trabalho não é otimizar a quantidade de peças produzidas, mas a performance do sequenciamento de produção na empresa abordada. Neste aspecto, o cenário (1), nota-se uma maximização em relação ao cenário atual em relação aos seguintes aspectos:

- Processo A – Tratamento Térmico
  - Com a adoção da estratégia SPT, que favorece os menores tempos de processamento, a disponibilidade deste recurso é

elevada, ocasionando assim, redução de paradas, tanto de planejada, como de não planejada;

- A principal influência desta regra de sequenciamento está atrelada ao status bloqueado, permitindo uma melhoria de 80% em seu processo. No estado atual, as peças são sequenciadas sem seguir um critério estabelecido, tendo como único objetivo: atender os clientes sem influenciar de maneira negativa na produção dos mesmos.
- Processo B – Célula de Usinagem
  - Este tipo de estratégia, possibilita a redução do tempo em espera, proporcionando uma maior disponibilidade de paradas planejadas, permitindo aos gestores realizar ações preventivas;
  - A principal contribuição para este processo no sequenciamento SPT, é a redução do tempo de espera, devido a priorização do tempo de processamento, além de disponibilizar os dois componentes simultaneamente. No estado atual a disparidade dos componentes no fluxo de produção era evidenciada;
  - Este processo de produção, possui tempos de ciclo reduzidos, permitindo a produção de várias peças por minuto, resultando em um processo de rápido processamento. Logo, este processo permite a absorção completa dos processos anteriores.
- Processo C – Célula de Montagem
  - Para este recurso a regra de sequenciamento tipo SPT, altera em pequena escala o comportamento deste processo, sendo a principal mudança a eliminação do tempo em espera, proporcionando aumento de paradas (planejada e não planejada).

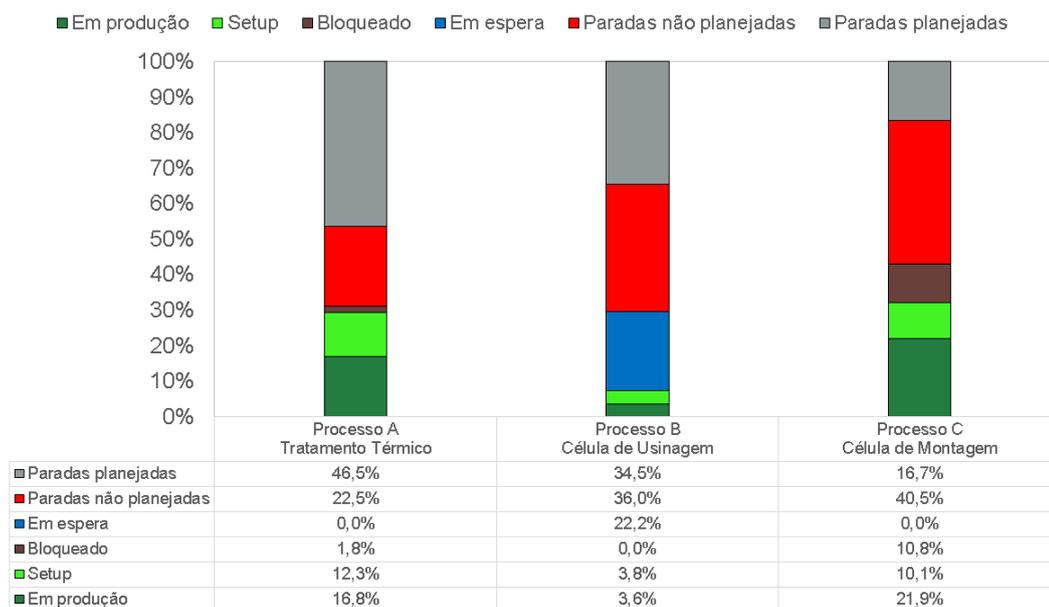


FIGURA 31: RESULTADOS REFERENTE AO CENÁRIO (1) – REGRA DE SEQUENCIAMENTO – SPT.

No cenário (1), estratégia de sequenciamento tipo SPT, o tratamento térmico é a operação que mais se favorecerá, otimizando seu processo de produção. Dentre as melhorias no tratamento térmico, podem-se citar: diminuição em 15% de setup e aumento na disponibilidade de máquina (otimização dos status bloqueado e em espera),

A célula de usinagem também tem sua performance aprimorada, com redução em 50% do tempo em espera, principal problema decorrente do estado atual. A melhoria deste processo está atrelada à potencialização também da célula de montagem.

Em suma, nota-se que as paradas não planejadas no sistema produtivo têm uma melhoria de 12%, permitindo que os gestores possam utilizar este tempo para planejamento de produção, além da possibilidade de realizar treinamentos com intuito de maximizar a qualificação de mão-de-obra e manutenções preventivas nos processos.

Em contrapartida, no cenário (2), utiliza-se a regra de sequenciamento EDD, sendo a estratégia que leva em consideração as menores datas de entrega,

sendo que esta entrega considera que os produtos estejam disponíveis para os clientes. O sequenciamento de produção, que utilizar a estratégia EDD é ilustrado na Tabela 9. As datas de entrega ilustradas são decorrentes de um mês de produção.

TABELA 9: SEQUENCIAMENTO DE PRODUÇÃO – ESTRATÉGIA EDD

Tratamento Térmico Levando em consideração menor data de entrega			Estratégia EDD Sequenciamento definido			
	Item	Peso kg		Item	Tempo min	Data Entrega
1	Dx	0,910	1	Dx	0,910	1
2	Dy	1,120	2	Dy	1,120	1
3	Hx	0,852	3	Hx	0,852	2
4	Hy	0,852	4	Hy	0,852	2
5	Px	1,030	5	Px	1,030	4
6	Py	1,051	6	Py	1,051	4
7	Ox	1,030	7	Ox	1,030	6
8	Oy	1,108	8	Oy	1,108	6
9	Lx	0,653	9	Lx	0,653	8
10	Ly	0,653	10	Ly	0,653	8
11	Mx	0,896	11	Mx	0,896	9
12	My	0,933	12	My	0,933	9
13	Ix	0,747	13	Ix	0,747	10
14	Iy	0,747	14	Iy	0,747	10
15	Bx	0,888	15	Bx	0,888	12
16	By	0,793	16	By	0,793	12
17	Cx	0,915	17	Cx	0,915	14
18	Cy	0,793	18	Cy	0,793	14
19	Rx	0,743	19	Rx	0,743	15
20	Ry	0,719	20	Ry	0,719	15
21	Qx	1,295	21	Qx	1,295	17
22	Qy	1,065	22	Qy	1,065	17
23	Ux	1,076	23	Ux	1,076	19
24	Uy	0,959	24	Uy	0,959	19
25	Gx	0,630	25	Gx	0,630	20
26	Gy	0,688	26	Gy	0,688	20
27	Jx	0,641	27	Jx	0,641	21
28	Jy	0,817	28	Jy	0,817	21
29	Nx	1,231	29	Nx	1,231	23
30	Ny	0,834	30	Ny	0,834	23
31	Kx	0,641	31	Kx	0,641	25
32	Ky	0,702	32	Ky	0,702	25
33	Tx	0,736	33	Tx	0,736	26
34	Ty	0,868	34	Ty	0,868	26
35	Sx	0,474	35	Sx	0,474	27
36	Sy	0,524	36	Sy	0,524	27
37	Ax	0,665	37	Ax	0,665	28
38	Ay	0,630	38	Ay	0,630	28
39	Fx	0,630	39	Fx	0,630	29
40	Fy	0,772	40	Fy	0,772	29
41	Ex	0,770	41	Ex	0,770	30
42	Ey	0,817	42	Ey	0,817	30

Para assegurar este sequenciamento, o setor de Planejamento e Controle da Produção (PCP) necessita possuir informações confiáveis com intuito de nivelar o nível de informações entre planejamento, produção e cliente.

Diante deste tipo de planejamento, o sequenciamento não pode ser definido pelo tempo das operações, ou a análise do processo, mas por meio das prioridades definidas pelo cliente juntamente com o setor de vendas presente nas organizações. Para garantir a entrega dos produtos aos clientes na data planejada, o desempenho operacional do sistema produtivo é influenciado negativamente, pois este tipo de planejamento permite a ocorrência de filas de espera entre os processos.

O comportamento do sequenciamento do tipo EDD não assume nenhuma lógica em nenhum processo de operação, possuindo como característica uma combinação de ora peça leve, ora peça pesada no tratamento térmico, possibilitando o aumento de estoques entre os processos (WIP), sendo que os resultados da simulação são evidenciados na Figura 32.

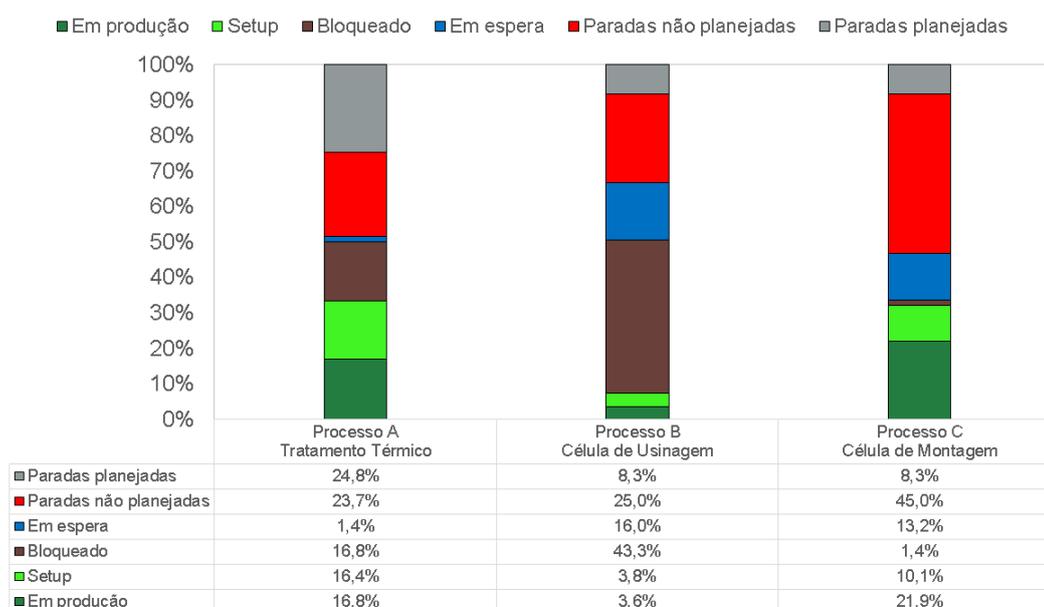


FIGURA 32: RESULTADOS REFERENTE AO SEQUENCIAMENTO PROPOSTO – EDD

Confrontando o cenário atual e o cenário (2) utilizando a estratégia de sequenciamento tipo EDD, algumas constatações podem ser feitas.

- Processo A – Tratamento Térmico
  - A partir da priorização das datas de entrega dos produtos para os clientes, nota-se, na diminuição das paradas planejadas, por causa da criação de filas de espera na entrada do tratamento térmico;
  - E também, vale ressaltar o aumento de bloqueio deste processo, devido a priorização das peças por data, sem avaliar qual procedimento e sequenciamento para determinado processo.
- Processo B – Célula de Usinagem
  - Na célula de usinagem a principal alteração foi o surgimento de filas e estoques em processo, que ocasiona bloqueio na célula de usinagem. Deste modo, o processo fica impossibilitado de produzir as peças no momento da chegada das mesmas.
- Processo C – Célula de Montagem
  - Neste processo nota-se o surgimento de tempos de espera, devido o aumento dos processos anteriores, visto que, os processos de tratamento térmico e célula de usinagem aumentaram substancialmente o status bloqueado, influenciando em toda a cadeia.

Em suma, nota-se que o status bloqueado, que é resultante da formação de fila entre as operações teve um acréscimo tanto na operação de tratamento térmico, como na célula de usinagem.

#### 4.5. ETAPA 5 – ANÁLISE DOS CENÁRIOS

Levando em consideração o objetivo que foi proposto neste trabalho, esta seção é responsável por comparar os cenários propostos e simulados. Esta análise tem como propósito, condensar os resultados obtidos por meio dos modelos de simulação oriundos do sistema produtivo da empresa abordada, conforme a Tabela 10.

TABELA 10: MÉDIA COMPARATIVA ENTRE AS ESTRATÉGIAS DE SEQUENCIAMENTO

	Cenário		
	Atual	SPT	EDD
Em produção	14%	14%	14%
Setup	10%	9%	10%
Bloqueado	7%	4%	21%
Em espera	16%	7%	10%
Paradas não planejadas	37%	33%	31%
Paradas planejadas	16%	33%	14%

Estas informações, além de analisar o sistema produtivo, municiam informações necessárias para os gestores na tomada de decisão perante as constantes mudanças no mercado competitivo.

## **5. CONSIDERAÇÕES FINAIS**

Esta seção é responsável por apresentar a conclusão do trabalho, bem como, sugestões para possíveis trabalhos futuros referentes ao tema abordado.

### **5.1. CONCLUSÕES**

O objetivo proposto deste trabalho foi otimizar o sequenciamento de produção por meio de diferentes estratégias de sequenciamento. Para lidar com este propósito, integrou-se o conceito e as ferramentas do *lean manufacturing* com a simulação computacional. Em um primeiro momento, notou-se que o setor de Planejamento e Controle da Produção não exerce sua função de utilizar a capacidade instalada; em contrapartida, a programação da produção acaba ditando o ritmo de produção por meio do sequenciamento da produção.

Neste trabalho, foi identificado uma lacuna entre o sequenciamento de produção aplicado na empresa e o sequenciamento otimizado integrando os conceitos *lean* e a simulação computacional. Diante deste cenário, há oportunidade em desenvolver aplicações para utilizar diariamente nos ambientes de produção, com intuito de prever soluções para os problemas e as dificuldades encontradas.

Os objetivos desta pesquisa foram satisfatórios em relação ao período de tempo especificado, sendo que o estudo foi direcionado para otimizar o sequenciamento de produção de um processo de produção, utilizando diferentes estratégias de sequenciamento. Um modelo foi construído com o propósito de avaliar as alternativas de sequenciamento para um estado futuro, e também os parâmetros de produção.

Devido ao sequenciamento da produção estar alocado no curto prazo do Planejamento e Controle da Produção, qualquer erro ou desperdício acaba sendo potencializado e replicado para os clientes, pois acaba interferindo na

entrega dos produtos aos clientes, pelo fato de possuir um curto tempo de resposta. Uma proposta de realizar o sequenciamento de produção utilizando a simulação computacional integrado com os conceitos *lean* foi desenvolvida para lidar com esta questão.

As soluções sugeridas demonstraram que o processo de produção analisado é diversificado, possuindo um range de produtos heterogêneos em relação a tempo de ciclo, demanda e características geométricas, impactando no fluxo de produção. Adicionalmente, verificou-se que os parâmetros que alteram o sequenciamento e afetam o desempenho operacional eram desconhecidos.

O objetivo desta dissertação foi alcançado, por meio da avaliação e aplicação de diferentes estratégias de sequenciamento, baseado no *lean manufacturing*, com intuito de otimizar o sequenciamento de produção.

A análise de diferentes estratégias de sequenciamento de produção, por meio da simulação computacional, permitiu verificar quais parâmetros estão atrelados aos melhores resultados em relação aos indicadores de desempenho. As diferentes estratégias de sequenciamento foram analisadas no modelo atual, inserido em um ambiente *lean*.

O sistema de produção atual da empresa abordada foi transferido para um modelo de simulação, e o desempenho dos diferentes cenários (estratégias de sequenciamento) foram registrados. Com base nos conceitos *lean*, o estado futuro foi desenvolvido e os parâmetros desejados foram testados, com intuito de almejar o melhor resultado.

Posteriormente, a execução do modelo de simulação em diferentes períodos de tempo, desde três até doze meses de análise, os resultados foram obtidos pela criação de cenários. Com base nestes resultados, pode-se apresentar as seguintes conclusões:

- a) O Planejamento e Controle da Produção responsável pela programação de produção é considerado, pela manufatura, tema primordial para a

redução de desperdícios presentes nos sistemas de produção, possibilitando assim a melhor utilização de máquinas e processos.

- b) O processo de tratamento térmico é responsável por definir o planejamento da produção, pois as restrições e dificuldades de cada estratégia de sequenciamento são esclarecidas nesta operação, devido ser um processo mais complexo quando comparado aos demais. Para uma melhor utilização da capacidade desta operação, as peças necessitam ser avaliadas em relação ao peso; em contrapartida, os outros processos são avaliados por meio do tempo de ciclo.
- c) Com o intuito de realizar a melhoria contínua nos processos de produção na empresa analisada, a aplicação de ferramentas do *lean* na cadeia deve ser focada no processo de tratamento térmico, devido ser este processo limitante em toda a cadeia de produção;
- d) Os processos de Usinagem e Montagem possuem tempos de ciclo reduzidos; porém, nota-se uma preocupação iminente no surgimento de estoques intermediários (WIP) e de bloqueio destes processos, onde o material fica aguardando até ser processado;
- e) Embora exista uma diferente variedade de estratégias de sequenciamento de produção, não se pode afirmar que estas estratégias terão resultado otimista em todos os processos de produção. Neste trabalho, a estratégia SPT traduziu um melhor resultado em comparação com a EDD.
- f) A aplicação de diferentes estratégias de sequenciamento de produção deve ser comumente empregada nos processos de produção; porém, deve-se desenvolver também estratégias híbridas, permitindo, assim, a aplicação de duas ou mais estratégias de sequenciamento.

Os resultados desta pesquisa foram inteiramente baseados em visitas ao chão de fábrica, além dos dados fornecidos pelo sistema ERP da empresa, confrontado com dados históricos oficiais de produção.

A análise isolada de diferentes estratégias de sequenciamento de produção, integrado com a simulação computacional, acaba não sendo satisfatória, pois atualmente as empresas estão inseridas no conceito de manufatura enxuta e, portanto, deve-se integrar também nos modelos de simulação os conceitos *lean*. Para isto, primeiramente, deve-se entender os princípios do pensamento enxuto para aplicá-los em conjunto. Desenvolver e aplicar modelos de simulação em ambientes de produção é caracterizado como primeiro indício da implementação do *lean* na organização, pois a simulação permite analisar diferentes cenários, a fim de obter os resultados esperados, por meio de distintas configurações no gerenciamento da produção (alteração em processos, aplicações de novas ferramentas e análises de quaisquer informações ao longo do tempo).

De acordo com a literatura estudada, a aplicação comercial da simulação computacional está crescendo com o passar dos anos, podendo-se afirmar que um dos principais motivos deste crescimento é devido à simulação ser dinâmica, permitindo ao usuário a aplicação de diversos cenários em ambientes de produção. As avaliações de diferentes cenários do modelo simulado para tomada de decisão ocorrem sem custos, permitindo ao usuário a representação do processo futuro sem aplicação real.

Por ser a simulação computacional classificada como uma ferramenta dinâmica, ela é comumente aplicada em conjunto com ferramentas do *lean manufacturing*, em especial ao *Value Stream Mapping* (VSM). O VSM fornece o *status* da situação atual, servindo como base para desenvolver o modelo de simulação. Entretanto, a simulação computacional, possui interface gráfica que permite ao usuário visualizar as alterações operacionais. Esta propriedade fornece uma vantagem para os usuários em modelos de mudança de *layout* (comparativo *status* atual e futuro), fluxo de materiais e produção, ergonomia e aplicações logísticas.

A vantagem em se utilizar a simulação computacional neste trabalho foi devido a permitir observar como o processo de produção se comportaria ao longo do tempo por meio de diferentes estratégias de sequenciamento, levando em

consideração dois tipos diferentes de sequenciamento de produção – SPT x EDD. A aplicação do VSM (ferramenta estática) permitiu identificar as questões-chaves do processo de produção, fornecendo uma base de dados para a modelagem, que foi realizada no *Plant Simulation*, fornecendo, assim, dados de desempenho *versus* tempo.

Analisando somente os benefícios oriundos da utilização da simulação computacional, pode induzir ao leitor a aplicação em quaisquer atividades; porém, deve-se avaliar a complexidade do caso e a necessidade, pois a simulação não é considerada como uma ferramenta trivial, que pode ser facilmente implementada. A simulação computacional requer previamente a compreensão e o entendimento do conceito de simulação baseada em eventos, bem como capacidade técnica para desenvolver um modelo no *software* escolhido pelo usuário. O *software* de simulação requer também uma curva de aprendizagem em se trabalhar com as diversas ferramentas existentes.

Os modelos construídos nesta dissertação para avaliação de diferentes estratégias de sequenciamento de produção foram baseados em uma dificuldade encontrada na empresa abordada. A execução e avaliação destes parâmetros não garantem que a aplicação em outros processos alcance resultados satisfatórios. Deve-se efetuar previamente uma análise de parâmetros e restrições do sistema de produção.

## **5.2. SUGESTÕES PARA TRABALHO FUTUROS**

Outros estudos sobre este assunto são benéficos para os campos de simulação, sequenciamento de produção e o *lean manufacturing*. Para trabalhos futuros, seria interessante considerar outras variáveis, ou ainda, otimizar ainda mais o sequenciamento de produção, por meio:

- Simular outros cenários futuros com outras regras de sequenciamento, e posteriormente, sequenciamentos híbridos

(mesclando a utilização de duas ou mais regras de sequenciamento e outras ferramentas adicionais);

- Simular novos cenários utilizando as ferramentas do *lean manufacturing*;
- Utilizar *softwares* específicos para gerenciamento do sequenciamento de produção, tais como, Preactor e Legin;
- Analisar a cadeia levando em consideração apenas componentes.

## 6. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ABU-TAIEH, E. M. O.; SHEIKH, A. A. R. Commercial simulation packages: a comparative study. *International Journal of Simulation: Systems, Science & Technology*, v.8, n.2, p. 66-76, 2007.

ABDULMALEK, F. A.; RAJGOPAL, J. Analyzing the benefits of lean manufacturing and Value Stream Mapping via simulation: A process sector case study. *International Journal of Production Economics*, v.107, n.1, p. 223-236, 2007.

ALI, N. B.; PETERSEN, K.; FRANÇA, B. Evaluation of simulation-assisted value stream mapping for software product development: two industrial cases. *Information and Software Technology*, v.68, n.12, p. 45-61, 2015.

ALVES, A. C; DINIS-CARVALHO, J; SOUSA, R. M. Lean production as promoter of thinkers to achieve companies' agility. *The Learning Organization*, v.19, n.3, p. 219-237, 2012.

ANAND, G.; KODALI, R. Development of a framework for lean manufacturing systems. *International Journal of Services and Operations Management*, v.5, n.5, p. 687-716, 2009.

ASSOCIAÇÃO NACIONAL DOS FABRICANTES DE VEÍCULOS AUTOMOTORES. ANFAVEA. Disponível em: <<http://www.anfavea.com.br>>. Acesso em: 14 de agosto de 2015.

BAHADORI, M.; MOHAMMADNEJHAD, S. M.; RAVANGARD, R.; TEYMOURZADEH, E. Using Queuing Theory and Simulation Model to Optimize Hospital Pharmacy Performance. *Iranian Red Crescent Medical Journal*, v.16, n.3, p.1-7, 2014.

BALDEA, M.; HARJUNKOSKI, I. Integrated production scheduling and process control: systematic review. *Computers and Chemical Engineering*, v.71, n.1, p. 377-390, 2014.

BANKS, J. *Discrete-Event System Simulation*. New York: Prentice Hall – Pearson, 2004.

BERTO, R. M.; NAKANO, D. N. A produção científica nos anais do encontro nacional de engenharia de produção: um levantamento de métodos e tipos de pesquisa. *Produção*, v.9, n.2, p. 65-76, 2000.

BERTRAND, J. W. M.; FRANSOO, J. C. Modeling and simulation: operations management research methodologies using quantitative modelling. *International Journal of Operations & Production Management*, v.22, n.2, p. 241-264, 2002.

BHAMU, J.; SANGWAN, K. S. Lean manufacturing: literature review and research issues. *International Journal of Operations & Production Management*, v.34, n.7, p. 876-940, 2014.

CHAUHAN, G.; SINGH, G. C.; Measuring parameters of lean manufacturing realization. *Measuring Business Excellence*, v.16, n.3, p. 57-71, 2012.

CHEN, L.; MENG, B. The application of Value Stream Mapping based lean production system. *International Journal of Business and Management*, v.5, n.6, p. 203-209, 2010.

CHUNG, C. A. *Simulation Modeling Handbook: a practical approach*. New York: CRC Press, 2004.

COOPER, R. Lean enterprises and the confrontation strategy. *The Academy of Management*, p. 28-39, 1996.

CORRÊA, H.; GIANESI, I. G. N.; CAON, M. *Planejamento, programação e controle da produção*. São Paulo: Atlas, 2007.

DAVIS, M. M.; AQUILANO, N. J.; CHASE, R. B. Fundamentos de Administração da Produção. São Paulo: Bookman, 2001.

DEWA, M.; CHIDZUU, L. Managing bottlenecks in manual automobile assembly systems using discrete event simulation. The South African Journal of Industrial Engineering, v.24, n.2, p. 155-166, 2013.

DREXL, A.; KIMMS, A. Lot sizing and scheduling – Survey and extensions. European Journal of Operation Research, v.99, n.2, p. 221-235, 1997.

DOOLEN, T.; HACKER, M. E. A review of lean assessment in organizations: an exploratory study of lean practices by electronics manufacturers. Journal of Manufacturing Systems, v.24, n.1, p. 55-67, 2005.

ELMOSELHY, S. Hybrid lean-agile manufacturing system technical facet, in automotive sector. Journal of Manufacturing Systems, v.32, n.4, p. 598-619, 2013.

EMILIANI, M. L.; STEC, D. J. Using value-stream maps to improve leadership. Leadership & Organization Development Journal, v.25, n.8, p. 622-645, 2004.

FEDERAÇÃO NACIONAL DE DISTRIBUIÇÃO DE VEÍCULOS AUTOMOTORES. FENABRAVE. Disponível em: <<http://www.fenabreve.org.br>>. Acesso em: 14 de agosto de 2015.

FERNANDES, F. C. F.; GODINHO FILHO, M. Planejamento e controle da produção: dos fundamentos ao essencial. São Paulo: Atlas, 2010.

FUJIMOTO, T. The evolution of a manufacturing system at Toyota. New York: Oxford University Press, 1999.

GIL, A. C. Como Elaborar Projetos de Pesquisa. São Paulo: Atlas, 2002.

GODINHO FILHO, M.; FERNANDES, F. C. F. Paradigmas estratégicos de gestão da manufatura (PEGEMs): elementos-chave e modelo conceitual. Gestão & Produção. v.12, n.3, p. 333-345, 2005.

GODINHO FILHO, M; UZSOY, R. Efeito da redução do tamanho de lote e de programas de Melhoria Contínua no Estoque em Processo (WIP) e na Utilização: estudo utilizando uma abordagem híbrida System Dynamics - Factory Physics. *Produção*, v.19, n.1, p. 214-229, 2009.

GOLDRATT, E. *A meta: um processo de melhoria contínua*. São Paulo: Nobel, 2002.

HALLGREN, M; OLHAGER, J. Lean and agile manufacturing: external and internal drivers and performance outcomes. *International Journal of Operations & Production Management*, v.29, n.10, p. 976-999, 2009.

HARRELL, C.; GHOSH, B.; BOWDEN, R. *Simulation Using ProModel*. New York: McGraw-Hill, 2012.

HAX, A. C.; CANDEA, D. *Production and Inventory Management*. Nova Jersey: Prentice-Hall, 1984.

HINES, P.; HOLWEG, M.; RICH, N. Learning to evolve: A review of contemporary lean thinking. *International Journal of Operations & Production Management*, v.24, n.10, 10 p. 994-1011, 2004.

HOLWEG, M. The genealogy of lean production. *Journal of Operations Management*, v.25, n.2, p. 420-437, 2007.

HOPP, W. J.; SPEARMAN, M. L. To pull or not to pull: what is the question? *Manufacturing and Service Operations Management*, v.6, n.2, p. 133-148, 2004.

JOHNSON, L. A.; MONTGOMERY, D. C. *Operations research in production planning, scheduling and inventory control*. New York: John Wiley & Sons, 1974.

JONSSON, P.; IVERT, L. K. Improving performance with sophisticated master production scheduling. *International Journal of Production Economics*, v.168, n.10, p. 118-130, 2015.

KALSAAS, B. Value Stream Mapping, an adequate method for going lean? In: Proceedings of the 14 International Conference (NOFOMA). Anais... Trondheim, 2002.

KARIMI, B.; GHOMI, S. M. T. F.; WILSON, J. M. The capacitated lot sizing problem: a review of models and algorithms. Omega The International Journal of Management Science, v.31, n.5, p. 365-378, 2003.

KARWAT, B. Optimization of production schedules in the steel production system. Archives of Civil and Mechanical Engineering, v.12, n.2, p. 240-252, 2012.

KELTON, W. D.; SMITH, J. S.; STURROCK, D. Simio and Simulation: Modeling, Analysis, Applications. New York: SIMIO LLC, 2014.

KHALILI, M. H.; ZAHEDI, F. Modeling and simulation of a mattress production line using ProModel. In: Proceedings of the 2013 Winter Simulation Conference. Anais... United States of America, 2013.

KLASSEN, R. D.; MENOR, L. J. The process management triangle: an empirical investigation of process trade-offs. Journal of Operations Management, v.25, n.1, p. 1015-1034, 2007.

LASA, I. S.; LABURU, C. O.; VILA, R. C. An evaluation of the value stream mapping tool. Business Process Management Journal, v.14, n.1, p. 39-52, 2008.

LAW, A. M.; MCCOMAS, M. G. Simulation of manufacturing systems. In: Proceedings of the 1999 Winter Simulation Conference. Anais... United States of America, 1999.

LAW, A. M. How to conduct a successful simulation study. In: Proceedings of the 2003 Winter Simulation Conference. Anais... United States of America, 2003.

LAW, A. M. Simulation Modeling and Analysis with Expertfit Software. New York: McGraw-Hill, 2006.

LIKER, J. K. Becoming Lean. Portland: Productivity Press, 1996.

LIKER, J. The Toyota Way: 14 Management Principles from the World's Greatest Manufacturer. New York: McGraw-Hill, 2004.

LIKER, J. K.; WU, Y. C. Japanese automakers, US suppliers and supply-chain superiority. Sloan Management Review, p. 81-93, 2000.

LOW, C.; CHANG, C.; LI, R.; HUANG, C. Coordination of production scheduling and delivery problems with heterogeneous fleet. International Journal of Production Economics, v.153, n.7, p. 139-148, 2014.

LUSTOSA L. J.; MESQUITA, M. A.; QUELHAS, O. L. G.; OLIVEIRA, R. J. Planejamento e Controle da Produção (PCP). Rio de Janeiro: Elsevier, 2008.

MARCONI, M. A.; LAKATOS, E. M. Técnicas de pesquisa: planejamento e execução de pesquisas, amostragens e técnicas de pesquisa, elaboração, análise e interpretação de dados. São Paulo: Atlas, 2013.

MCDONALD, T.; VAN-AKEN, E. M.; RENTES, A. F. Utilizing simulation to enhance value stream mapping: a manufacturing case application. International Journal of Logistics Research and Applications, v.5, n.2, p. 213-232, 2002.

MELOUK, S. H.; FREEMAN, N. K.; MILLER, D.; DUNNING, M. Simulation optimization-based decision support tool for steel manufacturing. International Journal of Production Economics, v.141, n.1, p. 269-165, 2013.

MESQUITA, M. A.; SANTORO, M. C. Análise de modelos e práticas de planejamento e controle da produção na indústria farmacêutica. v.14. n.1. p. 64-77, 2004.

MIGUEL, P. A. C. Estudo de caso na engenharia de produção: estruturação e recomendações para sua condução, v. 17, n.1, p. 216-229, 2007.

MIGUEL, P. A. C. Metodologia de pesquisa em engenharia de produção e gestão de operações. Rio de Janeiro: Elsevier, 2012.

MOREIRA, D. A. Administração da Produção e Operações. São Paulo: Cengage Learning, 2008.

MOURTZIS, D.; DOUKAS, M.; BERNIDAKI, D. Simulation in Manufacturing: Review and Challenges. In: Procedia CIRP 25. 2014.

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

PINEDO, M. L. Planning and scheduling in manufacturing and services. Nova York: Springer, 2009.

ROBINSON, S.; RADNOR, Z. J.; BURGESS, N.; WORTHINGTON, C. SimLean: Utilising simulation in the implementation of lean in healthcare. European Journal of Operational Research, v.219, n.1, p. 188-197, 2012.

ROTHER, M.; SHOOK, J. Aprendendo a enxergar: mapeando o fluxo de valor para agregar valor e eliminar o desperdício. São Paulo: Lean Institute Brasil, 2003.

SAKURADA, N.; MIYAKE, D. I. Aplicação de simuladores de eventos discretos no processo de modelagem de sistemas de operações de serviços. Gestão & Produção, v.16, n.1, p. 25-43, 2009.

SHAH, R.; WARD, P. T. Lean manufacturing: context, practice bundles, and performance. Journal of Operations Management, v.21, n.2, p. 129-149, 2003.

SHAH, R.; WARD, P. T. Defining and developing measures of lean production. Journal of Operations Management, v.25, n.4, p. 785-805, 2007.

SHANNON, R. E. Introduction to the art and science of simulation. In: Proceedings of the 1998 Winter Simulation Conference. Anais... United States of America, 1998.

SINDICATO NACIONAL DA INDÚSTRIA DE COMPONENTES PARA VEÍCULOS AUTOMOTORES. SINDIPEÇAS. Disponível em: <<http://www.sindipecas.org.br/home>>. Acesso em: 29 de agosto de 2015.

SINGH, B.; SHARMA, S. K. Value stream mapping as a versatile tool for lean implementation: an Indian case study of a manufacturing firm. *Measuring Business Excellence*, v.13, n.3, p. 58-68, 2009.

SINGH, H.; SINGH, A. Application of lean manufacturing using value stream mapping in an auto-parts manufacturing unit, v.10, n.1, p. 72-84, 2013.

SKINNER, W. Production under pressure. *Harvard Business Review*, v.42, n.6, p. 139-146, 1966.

STEVENSON, W. *Operations Management*. New York: McGraw-Hill Irwin, 2009.

SON, Y. J.; JONES, A. T.; WYSK, R. A. Component based simulation modeling from neutral component libraries. *Computers & Industrial Engineering*, v.45, n.1, p. 141-165, 2003.

TAJ, S; MOROSAN, C. The impact of lean operations on the Chinese manufacturing. *Journal of Manufacturing Technology Management*, v.22, n.2, p. 223-240, 2011.

TUBINO, D. F. *Planejamento e Controle da Produção: teoria e prática*. São Paulo: Atlas, 2009.

TOCHA, C. R. *Desenvolvimento de ferramentas computacionais para o sequenciamento da produção*. Dissertação de Mestrado. Universidade Federal do Paraná (UFPR), Curitiba, 2014.

TORGA, B. L. M. *Modelagem, simulação e otimização em sistema puxados de manufatura*. Dissertação de Mestrado. Universidade Federal de Itajubá (UNIFEI), Itajubá, 2007.

TOSO, E. A. V. Dimensionamento e sequenciamento de lotes de produção na indústria de suplementos para nutrição animal. Tese de Doutorado. Universidade Federal de São Carlos (UFSCAR), São Carlos, 2008.

TOSO, E.; MORABITO, R. Otimização no dimensionamento e sequenciamento de produção: estudo de caso numa fábrica de rações. *Gestão & Produção*, v.12, n.2, p. 203-217, 2005.

VARAS, M.; MATURANA, S.; PASCUAL, R.; VARGAS, I.; VERA, J. Scheduling production for a sawmill: a robust optimization approach. *International Journal of Production Economics*, v.150, n.4, p. 37-51, 2014.

VIEIRA, G. E.; FAVARETTO, F. A new and practical heuristic for master production scheduling creation. *International Journal of Production Research*, v.44, n.18-19, p. 3607-3627, 2006.

VINODH, S.; ARVIND, K. R.; SOMANAATHAN, M. Application of value stream mapping in an Indian camshaft manufacturing organisation. *Journal of Manufacturing Technology Management*, v.21, n.7, p. 888-900, 2010.

VIRGÍNIO DA SILVA, B. J.; MORABITO, R.; YAMASHITA, D. S.; YANASSE, H. H. Production scheduling of assembly fixtures in the aeronautical industry. *Computers & Industrial Engineering*, v.67, n.1, p. 195-2013, 2014.

VÖRÖS, J. On the relaxation of multi-level dynamic lot-sizing models. *International Journal of Production Economics*. v.77, n.1, p. 53-61, 2002.

YANG, T.; KUO, Y.; SU, C.; HOU, C. Lean production system design for fishing net manufacturing using lean principles and simulation optimization. *Journal of Manufacturing Systems*, v.34, n.1, p. 66-73, 2015.

WILLIAMS, E. J. Simulation attacks manufacturing challenges. In: *Proceedings of the 2014 Winter Simulation Conference*. Anais... United States of America, 2014.

WOMACK, J. P.; JONES, D. T. From lean production to the lean enterprise. Harvard Business Review, v.72, n.2, p. 93-103, 1994.

WOMACK, J. P.; JONES, D. T. Lean thinking. New York: Simon & Schuster. 1996.

WOMACK, J. P.; JONES, D. T. A mentalidade enxuta nas empresas: elimine desperdício e crie riqueza. Rio de Janeiro: Campus, 1998.

WOMACK, J. P.; JONES, D. T. A máquina que mudou o mundo. Rio de Janeiro: Elsevier, 2004.