

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

FABRICIO CARLOS SCHMIDT

SISTEMA DE PRODUÇÃO PARA INDÚSTRIA DE AUTOPEÇAS COM ELEMENTOS
DA INDÚSTRIA 4.0

SÃO LEOPOLDO
2019

FABRICIO CARLOS SCHMIDT

SISTEMA DE PRODUÇÃO PARA INDÚSTRIA DE AUTOPEÇAS COM ELEMENTOS
DA INDÚSTRIA 4.0

Tese apresentada como requisito parcial do
título de Doutor em Engenharia de Produção e
Sistemas, pelo Programa de Pós-Graduação
em Engenharia de Produção e Sistemas da
Universidade do Vale do Rio dos Sinos —
UNISINOS

Orientador:
Prof. Dr. André Luis Korzenowski

São Leopoldo
2019

S349s

SCHMIDT, FABRICIO CARLOS

Sistema de Produção para Indústria de Autopeças com elementos da Indústria 4.0 / FABRICIO CARLOS SCHMIDT — 2019.

206 f.: il.; 30 cm.

Tese (Doutorado) — Universidade do Vale do Rio dos Sinos, Programa de Pós-Graduação em Engenharia de Produção e Sistemas, São Leopoldo, 2019.

“Orientador: Prof. Dr. André Luis Korzenowski.”

1. Indústria de Autopeças. 2. Sistema de Produção X. 3. Sistemas de Produção Toyota. 4. Sistemas de Produção Hyundai. 5. Indústria 4.0. 6. Simulação de Eventos Discretos. I. Título.

CDU 658.51

Dados Internacionais de Catalogação na publicação (CIP)

(Bibliotecário responsável: Bruna Sant’anna — CRB 10/2360)

AGRADECIMENTOS

Foram 4 anos de conquistas, perdas e realizações, começo agradecendo a Deus, por nunca me faltar e sempre me guiar pelos caminhos corretos que me propiciaram crescimento pessoal e profissional.

A minha esposa Ana Carla Cargnin Schmidt, agradeço por estar ao meu lado em todos estes momentos, entendendo todos as noites e finais de semana sacrificados, e sempre me incentivando e trazendo uma palavra de incentivo ao longo deste período. Te amo muito.

A minha filha Maria Cecília Cargnin Schmidt, que sempre foi inspiração para mim não desanimar. Te amo minha filha linda.

Quero agradecer aos meus pais Carlos e Marli Schmidt pelo esforço e preocupação em me dar condições de estudar em boas instituições desde o “jardim da infância”, nunca deixando de cobrar resultados positivos nos estudos e principalmente na vida.

Ao meu irmão Marcelo Carlos Schmidt, que desde pequeno não mede esforços para me ajudar a entender os conteúdos da vida. Sendo um exemplo pessoal e profissional. Valeu "mano véio".

Aos Professores, grandes mestres que tive ao longo de toda minha vida, por todo aprendizado e lições repassadas. Há um pouco de cada um de vocês em mim, podem ter certeza.

Agradeço a empresa Bruning Tecnometal, pelo apoio ao doutorado. Esse investimento não foi em vão, podem ter certeza! Muito Obrigado!

Ao meu chefe, amigo e exemplo Daniel Pöttker, sempre presente e disposto a ajudar em minha jornada profissional. Sendo uma referência como profissional e como pessoa. Daniel, obrigado por tudo mais uma vez.

Ao meu incansável orientador e grande amigo que ganhei André Luis Korzenowski, obrigado por tudo que fizeste por mim. Se hoje chego até essa etapa, é porque sempre tive o teu apoio. Obrigado por me conduzir até aqui! Espero ter o mesmo brilhantismo e sucesso em minha trajetória! Conte comigo sempre!

A minha mente tende a cristalizar e assim preciso renovar minha determinação a cada dia e forçar a mim mesmo para pensar criativamente. Há sempre muito a fazer no campo da produção

— TAIICHI OHNO, 1996

RESUMO

A constante exigência por produtividade tem sido uma das formas utilizadas pelas indústrias de autopeças para enfrentarem a concorrência e a dinâmica imposta frente as necessidades dos clientes do segmento automotivo. Consolidada mundialmente para melhoria da produtividade e redução dos custos, *Lean Manufacturing* e mais recentemente as práticas desenvolvidas pela *Hyundai Motor Company* são algumas das metodologias e diretrizes aderidas pelas organizações para prosperar no mercado atual, caracterizado por um ambiente altamente competitivo. Em consonância a essa necessidade por melhoria contínua, a quarta revolução industrial, chamada de Indústria 4.0, busca construir uma fábrica mais inteligente aplicando avançados sistemas de informação, comunicação e tecnologias orientadas para o futuro. Nesse contexto, o objetivo desta tese é propor um método para implementação de um sistema de produção para Indústria de Autopeças com elementos da Indústria 4.0 no intuito de auxiliar às empresas a evoluírem na direção da Indústria 4.0 a fim de obter melhorias em seu processo produtivo. A metodologia de pesquisa adotada é de natureza aplicada, com abordagem quantitativa, utilizando-se *Design Science Research*, uma vez que trata-se de um método rigoroso para o projeto de Artefatos que resolvem problemas, possibilitando a avaliação do que foi projetado, bem como comunicando os resultados obtidos, levando-se em conta o atual ambiente interno e externo da fábrica estudada. O método desenvolvido foi aplicado em uma família de produtos da empresa Bruning Tecnometal, uma organização pertencente à cadeia de suprimentos da indústria automotiva brasileira. O método proposto mostrou que os benefícios partem da redução do tempo de atravessamento, redução dos estoques ao aumento de produção, além da viabilidade de novos modelos de negócios. O valor financeiro das tecnologias que caracterizam a Indústria 4.0, estão sendo reduzidos constantemente, isso devido ao avanço da tecnologia, propiciando às organizações maior competitividade. A aplicação dos princípios da manufatura enxuta por parte de um número de empresas em todo o mundo, faz com que todas alcancem determinado nível de competitividade. Portanto, não traz mais vantagem competitiva entre as que a adotam. Aperfeiçoar esse modelo foi uma alternativa, investindo esforços no desenvolvimento do Próprio Sistema de Produção, chamado de XPS. A importância do tema em consonância com os avanços industriais, por meio da quarta revolução industrial e também pelas oportunidades de ganhos desse novo sistema de produção, reforça que *Lean Manufacturing* e Indústria 4.0 ainda são pouco explorados no ambiente das corporações, de modo geral. Foram realizadas pesquisas individuais em tecnologias aliadas a Indústria 4.0, porém a aplicação em conjunto com *Lean Manufacturing* e práticas desenvolvidas pela *Hyundai Motor Company* não foram encontradas no levantamento bibliográfico efetuado.

Palavras-chave: Indústria de Autopeças. Sistema de Produção X. Sistemas de Produção Toyota. Sistemas de Produção Hyundai. Indústria 4.0. Simulação de Eventos Discretos.

ABSTRACT

The constant requirement for productivity has been one of the ways used by the auto parts industry to face the competition and the dynamics imposed on the needs of automotive customers. Lean Manufacturing and more recently practices developed by Hyundai Motor Company are some of the methodologies and guidelines adhered to by organizations to thrive in the current market characterized by a highly competitive environment. In line with this need for continuous improvement, the fourth industrial revolution, called Industry 4.0, seeks to build a smarter factory by leveraging advanced information, communication, and forward-looking technologies. In this context, the purpose of this thesis is to propose a method for implementing a production system for the Auto Parts Industry with elements of Industry 4.0 to help companies to move towards Industry 4.0 to obtain improvements in their production process. The research methodology adopted is of an applied nature, with a quantitative approach, using Design Science Research, since it is a sensible method for the design of artifacts that solve problems, allowing the evaluation of what was designed, as well as communicating the results obtained, taking into account the current internal and external environment of the factory studied. The developed method was applied in a family of products of the company Bruning Tecnometal, an organization belonging to the disruption chain of the Brazilian automotive industry. The proposed method showed that benefits depend on the reduction of the time of crossing, reduction of inventories to increase of production, besides the viability of new business models. The financial value of technologies that characterize Industry 4.0 is being reduced continuously, due to the advancement of technology, giving organizations greater competitiveness. The application of lean manufacturing principles by several companies around the world makes them all reach a certain level of competitiveness. Therefore, it does not bring more competitive advantage among those who adopt it. Improving this model was an alternative, investing efforts in the development of the Production System itself, called the XPS. The importance of the system in line with modern industrial advances, through the fourth industrial revolution and the opportunities for gains of this new production system, reinforces that Lean Manufacturing and Industry 4.0 are still little explored in the corporate environment, as a whole. Individual surveys were carried out on technologies allied to Industry 4.0, but the joint application with Lean Manufacturing and practices developed by Hyundai Motor Company were not found in the bibliographic survey carried out.

Keywords: Auto Parts Industry. X Production System. Toyota Production System. Hyundai Production System. Industry 4.0. Discrete Event Simulation.

LISTA DE FIGURAS

Figura 1:	Evolução da Produtividade do Trabalho em Países Selecionados	19
Figura 2:	Estrutura dos Sistemas de Produção	36
Figura 3:	Simbologia do Mecanismo da Função Produção	37
Figura 4:	Modelo Conceitual do Sistema de Produção Toyota	45
Figura 5:	Modelo Conceitual do Sistema de Produção Volvo	48
Figura 6:	Modelo Conceitual do Sistema de Produção Hyundai	53
Figura 7:	<i>Ranking</i> do Progresso na Implementação da Indústria 4.0	59
Figura 8:	<i>Framework</i> Categórico para a Indústria 4.0	61
Figura 9:	Análise Crítica dos Sistemas	63
Figura 10:	Componentes da Indústria 4.0	68
Figura 11:	Ciclo PDCA e a Indústria 4.0	69
Figura 12:	Saídas da <i>Design Cycle</i>	76
Figura 13:	Etapas de Condução da Simulação	80
Figura 14:	<i>Laser Scanner</i> Portátil Modelo Utilizado	83
Figura 15:	Posicionamento do <i>Laser Scanner</i> para Varreduras	83
Figura 16:	Mapa Conceitual dos Sistemas	90
Figura 17:	Modelo Conceitual do Sistema de Produção Proposto XPS	91
Figura 18:	Perspectiva Financeira	96
Figura 19:	Artefato: Método Proposto para Implementação do Sistema de Produção para Indústria de Autopeças (XPS)	100
Figura 20:	Pilares do <i>Assessment</i>	106
Figura 21:	As Etapas da Simulação	113
Figura 22:	Análise de Investimento - ROI	118
Figura 23:	Aplicação dos Tanques de Combustível	121
Figura 24:	Produção Anual dos Tanques de Combustível	122
Figura 25:	<i>Layout Job Shop</i>	123
Figura 26:	<i>Layout</i> Células Interligadas	124
Figura 27:	<i>Layout Flow Shop</i>	124
Figura 28:	Diferentes Transportadores	125
Figura 29:	(a) Trem Sem Condutor, (b) Transportador de <i>Pallets</i> , (c) Transportador de Carga Unitária	126
Figura 30:	Estação de Soldagem Robotizada	127
Figura 31:	Troca de Tanques com Rolete	128
Figura 32:	a) Etiqueta de RFID Fixadas no Metal, b) Outro Modelo de Etiqueta de RFID Fixadas no Metal e c) <i>QR code</i> Marcado no Metal	129
Figura 33:	<i>TaggenBeacon</i>	129
Figura 34:	Exemplo de Realidade Aumentada	131
Figura 35:	Robôs Colaborativos e Suas Aplicações	133
Figura 36:	Estruturação da Equipe do Projeto	135
Figura 37:	QAP na Linha 47	139
Figura 38:	Diagrama Espaguete do Processo da Guilhotina e Puncionadeira	141
Figura 39:	Primeira Aplicação do <i>Assessment</i> na Linha 47	142

Figura 40:	Sequência de Fabricação do Tanque de Combustível	144
Figura 41:	<i>Layout</i> Atual da Linha 47	145
Figura 42:	Fluxograma de Produção do Tanque de Combustível	146
Figura 43:	Nuvem de Pontos da Linha 47	148
Figura 44:	Separação dos Equipamentos da Linha 47	149
Figura 45:	Tempos de Ciclo dos Modelos de Tanques (em segundos) - Parte 1/2 . . .	152
Figura 46:	Tempos de Ciclo dos Modelos de Tanques (em segundos) - Parte 2/2 . . .	153
Figura 47:	Simulação de Primeira Camada	154
Figura 48:	Simulação de Segunda Camada	155
Figura 49:	Simulação de Terceira Camada	155
Figura 50:	<i>Layout</i> do Estado Atual da Linha de Produção dos Tanques de Combustível	156
Figura 51:	Cenário 13 - Melhor Desempenho TOPSIS	166
Figura 52:	Análise de Investimento do Cenário 13	168
Figura 53:	Menção Honrosa pelo Compromisso com a Inovação e Competitividade .	206

LISTA DE TABELAS

Tabela 1:	Faturamento da Indústria de Autopeças no Brasil. (1993 - 2016)	16
Tabela 2:	Pesquisas Identificadas Relacionadas ao Desenvolvimento de XPS e Afins	25
Tabela 3:	Pesquisas Identificadas Relacionadas ao Desenvolvimento de Sistema de Produção e Indústria 4.0	28
Tabela 4:	Exemplo de Uso Combinado Entre Indústria 4.0 e <i>Lean</i>	67
Tabela 5:	Método de Trabalho	84
Tabela 6:	Saídas Práticas dos Treinamentos	105
Tabela 7:	Classificação e Saídas do <i>Assessment</i>	112
Tabela 8:	Requisitos e Restrições para os Recursos Tecnológicos	117
Tabela 9:	Transformação dos Indicadores de Desempenho em Dinheiro	119
Tabela 10:	Portfólio dos Treinamentos Escolhidos	136
Tabela 11:	Demanda Diária de Tanques	137
Tabela 12:	Indicadores e Metas do Projeto	138
Tabela 13:	Operações e Descrição dos Processos da Linha 47	147
Tabela 14:	Dados Coletados na Linha 47	150
Tabela 15:	Resultados do Modelo Computacional Estado Atual	156
Tabela 16:	Comparação Entre o Sistema Real e o Sistema Virtual	157
Tabela 17:	Indicadores para Desempenho do Modelo Computacional	160
Tabela 18:	Desempenho dos Cenários por Indicador	163
Tabela 19:	Ranking de Desempenho dos Cenários Simulados (TOPSIS)	165
Tabela 20:	Resultados do Projeto Linha 47	169

LISTA DE SIGLAS

ANFAVEA	Associação Nacional de Veículos Automotores
EO	Eficiência Operacional
EF	Estado Futuro
PWT	<i>Penn World Table</i>
PIB	Produto Interno Bruto
TPS	<i>Toyota Production System</i>
VPS	<i>Volvo Production System</i>
HPS	<i>Hyundai Production System</i>
XPS	<i>X Production System</i>
DSR	<i>Design Science Research</i>
PPGEPS	Programa de Pós Graduação Engenharia de Produção e Sistemas
IBGE	Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística
ISO	<i>International Organization for Standardization</i>
IATF	<i>International Automotive Task Force</i>
OHSAS	<i>Occupational Health and Safety Assessment Services</i>
OEE	<i>Overall Equipment Effectiveness</i>
CAD	<i>Computer Aided Design</i>
JIS	<i>Just in Sequence</i>
HMC	<i>Hyundai Motor Company</i>
SQDCEP	<i>Security, Quality, Delivery, Cost, Environment, People</i>
BIQ	<i>Built-in-Quality</i>
JIT	<i>Just-in-Time</i>
LM	<i>Lean Manufacturing</i>
STS	Sistema Técnico-Social
MRP	<i>Materials Requirement Planning</i>
CNI	Confederação Nacional da Indústria
MES	<i>Manufacturing Execution Systems</i>
CIM	<i>Computer Integrated Manufacturing</i>
SCADA	<i>Supervisory Control and Data Acquisition</i>

AIST	<i>National Institute of Advanced Industrial Science and Technology</i>
AMRI	<i>Advanced Manufacturing Research Institute</i>
KAMS	<i>Korea Advanced Manufacturing System</i>
M2M	Máquina a Máquina
MDIC	Ministério do Desenvolvimento, Indústria e Comércio Exterior
MCTI	Ministério da Ciência, Tecnologia e Inovação
CAPES	Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior
RFID	<i>Radio Frequency Identification</i>
TI	Tecnologia da Informação
IoT	<i>Internet of Things</i>
CPS	<i>Cyber-Physical System</i>
USA	<i>United States of America</i>
MFV	Mapeamento do Fluxo de Valor
VSM	<i>Value Stream Mapping</i>
SMED	<i>Single Minute Exchange of Die</i>
QAP	Quadro de Análise da Produção
GD	Gerenciamento Diário
TOPSIS	<i>Technique for Order of Preference by Similarity to Ideal Solution</i>
4M	Material, Método, Mão de Obra e Matéria Prima
5S	Utilização, Organização, Limpeza, Padronização e Disciplina
PDCA	<i>Plan, Do, Check, Action</i>
FIFO	<i>First In and First Out</i>
ROI	<i>Return On Investment</i>
AGVs	Veículos Auto-Guiados
CLP	Controlador Lógico Programável
RFID	<i>Radio-Frequency IDentification</i>
QR Code	<i>Quick Response Code</i>
COERGO	Comitê de Ergonomia
TIG	<i>Tungsten Inert Gas</i>
SPB	Sistema de Produção Bruning
TOC	Teoria das Restrições

SUMÁRIO

1 INTRODUÇÃO	14
1.1 Problema de Pesquisa	17
1.2 Objetivos	23
1.2.1 Objetivo Geral	23
1.2.2 Objetivos Específicos	23
1.3 Justificativa e Relevância	23
1.4 Delimitações do Trabalho	29
1.5 Estrutura do Trabalho	31
2 REFERENCIAL TEÓRICO	32
2.1 Estratégia de Produção	32
2.2 Sistemas de Produção	35
2.2.1 Sistema de Produção Fordista	39
2.2.2 Sistema de Produção Toyota e Afins	41
2.2.3 Sistema de Produção Volvo	48
2.2.4 Sistema de Produção Hyundai	51
2.3 Elementos que Caracterizam a Indústria 4.0	54
2.4 Análise Crítica dos Sistemas	62
2.5 Sistema de Produção e Indústria 4.0	65
3 PROCEDIMENTOS METODOLÓGICOS	72
3.1 Classificação da Pesquisa	72
3.2 <i>Design Science Research</i>	74
3.2.1 Modelagem e Simulação	78
3.3 Materiais e Métodos	82
3.3.1 Equipamentos e <i>Softwares</i>	82
3.3.2 Método de Trabalho	84
4 APRESENTAÇÃO E DISCUSSÃO DOS RESULTADOS	88
4.1 Modelo Conceitual do Sistema de Produção para Indústria de Autopeças	88
4.1.1 Estabilidade	93
4.1.2 Processo	94
4.1.3 Engenharia	94
4.1.4 Velocidade	95
4.1.5 Resultado Operacional	95
4.1.6 Melhoria Contínua	96
4.2 Artefato: Método Proposto para Implementação do Sistema de Produção para Indústria de Autopeças	98
4.2.1 Fase 1: Planejar	99
4.2.2 Fase 2: Estabilizar	102
4.2.3 Fase 3: Simular	112
4.2.4 Fase 4: Melhorar	117

4.3 Avaliação do Artefato em uma Fábrica de Autopeças	120
4.3.1 Apresentação da Fábrica de Autopeças	120
4.3.2 Aplicação da Fase 1: Planejar	122
4.3.3 Aplicação da Fase 2: Estabilizar	135
4.3.4 Aplicação da Fase 3: Simular	143
4.3.5 Aplicação da Fase 4: Melhorar	167
4.3.6 Avaliação dos Resultados da Aplicação do Artefato	169
5 CONSIDERAÇÕES FINAIS	173
5.1 Conclusões	173
5.2 Limitações do Trabalho	174
5.3 Recomendações para Futuras Pesquisas	175
REFERÊNCIAS	177
APÊNDICE A CICLO DAS FASES DO ARTEFATO	191
APÊNDICE B TIME DO PROJETO NA APRESENTAÇÃO DO A3	192
APÊNDICE C CADEIA DE AJUDA	193
APÊNDICE D QUADRO DE ANÁLISE DA PRODUÇÃO (QAP)	194
APÊNDICE E DIAGRAMAS ESPAGUETE DOS PROCESSOS INICIAIS DA LINHA 47 (CONTINUAÇÃO)	195
APÊNDICE F SEGUNDA APLICAÇÃO DO ASSESSMENT NA LINHA 47	197
APÊNDICE G CENÁRIOS SIMULADOS	198
APÊNDICE H ANÁLISE DE INVESTIMENTO DO CENÁRIO 7	205
ANEXO A 8º CONGRESSO BRASILEIRO DE INOVAÇÃO NA INDÚSTRIA	206

1 INTRODUÇÃO

Ao longo dos últimos anos observa-se o interesse em compreender como a inovação pode estimular a economia e a competitividade dentro dos sistemas produtivos (NAGANO; STEFANOVITZ; VICK, 2014). O conceito de inovação não é recente e está atrelado em cinco tipos básicos: inovação em produtos, processos, materiais e mercado. Schumpeter (1976), conceitua a inovação como “destruição criativa” na qual a capacidade de competir de uma empresa é permanentemente criada e destruída, ou seja, constantemente recriada. Essa necessidade de recriar produtos, processos, materiais, mercados ou métodos de gestão, ganham mais importância frente a forte concorrência nos diversos setores da economia, forçando as empresas a buscarem aumento contínuo de sua produtividade e avaliarem os processos produtivos constantemente, para identificar melhorias relacionadas a diminuição de custos. Para as empresas automotivas a necessidade de reinvenção é mais do que necessidade, é questão de sobrevivência, devido a concorrência acirrada nacional e internacional entre às montadoras (CERRA; MAIA; ALVES, 2007), (VESELOVSKÁ; KOŽAROVA; ZAVADSKY, 2018).

Embora exista muitos componentes em um automóvel, apenas alguns são realmente fabricados pelas montadoras. A maioria como motores, suspensões, câmbios e componentes em geral, por exemplo, são fornecidos por fabricantes especializados, que são conhecidos por Indústria de Autopeças. Juntas, montadoras e Autopeças, formam uma cadeia de abastecimento, que trabalhadas em mútua parceria, podem criar diferenciação competitiva para o negócio (DYER; SINGH, 1998), (GARO JR; GUIMARÃES, 2018). O mercado automotivo, considerado uma mola propulsora para a economia mundial, é composto não apenas pelas montadoras e Indústria de Autopeças, mas também por (CARDOSO, 2012):

- i. indústria de insumos básicos: responsáveis por extrair as matérias-primas utilizadas na produção das peças – aço, alumínio, borracha, vidro, produtos químicos;
- ii. fornecedores de suprimentos: luvas, capacetes, graxa, etc; e
- iii. empresas responsáveis pelas vendas e distribuição dos veículos.

A concorrência acirrada entre montadoras, força a competitividade em toda a cadeia de abastecimento, gerando uma pressão por redução dos custos, diminuição do tempo de desenvolvimento dos produtos e a buscar desenvolver produtos com estilo e conteúdo mais inovadores (HOWELL; HSU, 2002), (RODRIGUES; AGOSTINHO, 2018). Como consequência, a Indústria de Autopeças passam por constantes alterações, focadas no atendimento às novas necessidades, que além de custo baixo e alta qualidade, precisam acompanhar a tendência de

aumento na variedade de produtos oferecidos no mercado (GOTTFREDSON; ASPINALL, 2005).

A ampliação da diversificação e tecnologia de produtos junto com a entrada de novos competidores no mercado nacional acabam por gerar forte impacto em toda a cadeia de suprimentos. Em 2008 existiam 27 montadoras de veículos automotores. Atualmente, conforme a Associação Nacional de Veículos Automotores (ANFAVEA) existem 31 fábricas de veículos no Brasil, as quais reúnem 67 unidades industriais de veículos, máquinas agrícolas e rodoviárias, motores e componentes em diferentes regiões – Rio Grande do Sul, Santa Catarina, Paraná, São Paulo, Rio de Janeiro, Minas Gerais, Goiás, Bahia, Ceará, Pernambuco e Amazonas (ANFAVEA, 2019).

Associada a essa onda de novos competidores, ocorre a entrada de novas empresas de autopeças, seja por meio da instalação de plantas novas, para atender à demanda a produção de novos modelos de veículos, seja por meio de associações ou aquisições de empresas de capital nacional. Ao longo desse processo, estabelece-se uma nova divisão do trabalho de projeto e produção de peças e de veículos, ensejando uma forte hierarquização da cadeia produtiva que alteram as formas de relacionamento entre montadoras e seus parceiros, provocando uma significativa redução no número de fornecedores que suprem diretamente as montadoras, fornecendo subconjuntos em módulos ou sistemas. Essas estratégias, em geral, implicam em delegação de responsabilidades aos fornecedores, que assumem funções de projeto e de manufatura, o que, por vez, aumenta seu poder dentro da cadeia de suprimentos (VANALLE; SALLES, 2011). Este aumento de poder também contribuiu para aceleração do faturamento da Indústria de Autopeças, como mostra a Tabela 1.

A a Tabela 1 pode ser dividida em três fases, sendo a primeira, a fase da estabilidade do faturamento das Indústrias de Autopeças, mantendo uma faixa de 13 milhões dólares entre 1993 a 2003. A segunda fase, de crescimento acentuado e acelerado, aumentando de 18 a 54 milhões dólares no período de 2004 a 2011. Em parte, esse desempenho se explica pelas variações cambiais e entrada de novas montadoras. Por outro lado, associa-se aos volumes, variedade de itens produzidos e ao aumento de valor agregado ao produto (ANTUNES et al., 2008). A terceira fase é constituída pelo decréscimo e instabilidade, diminuindo o faturamento nos anos de 2012 a 2017, devido a crise econômica que afetou o Brasil, apresentando uma redução nos valores de faturamento das autopeças (SIANI, 2016).

Simultaneamente ao aumento na variedade de produtos e entrada de novos competidores no mercado, existe uma tendência de redução da duração do ciclo de vida dos produtos, ocasionado pela obsolescência mercadológica e/ou tecnológica (ALIZON; SHOOTER; SIMPSON, 2007; PASHAEI; OLHAGER, 2015). Com o avanço da tecnologia os produtos adquirem no-

Tabela 1: Faturamento da Indústria de Autopeças no Brasil. (1993 - 2016)

Ano	Faturamento (US\$ milhões)
1993	13.222
1994	14.376
1995	16.584
1996	16.122
1997	17.413
1998	14.853
1999	11.182
2000	13.300
2001	11.910
2002	11.323
2003	13.335
2004	18.517
2005	25.294
2006	28.496
2007	35.017
2008	40.854
2009	33.959
2010	49.084
2011	54.649
2012	41.691
2013	40.560
2014	34.104
2015	21.361
2016	20.057
2017*	27.132

* Preliminar

Fonte: ANFAVEA (2019)

vas funções, integrando os componentes mecânicos, eletrônicos e de *software*. Alguns exemplos dessa tendência no setor automotivo são os sistemas de freios *Antilock Braking System* (ABS) (sistema de travagem antibloqueio, é um sistema de frenagem que evita que a roda bloqueie quando o pedal de freio é pisado fortemente), suspensão ativa, telas sensíveis ao toque, para-brisas com sensores de chuva, limpadores automáticos e etc. Em muitos produtos, o *software* substitui componentes de *hardware* ou permite que um único dispositivo físico atue em vários níveis (ISERMANN, 2008; PORTER; HEPPELMANN, 2014). Estas tendências de mercado e de produto têm implicações nos processos de negócio das empresas, com o aumento da sofisticação dos produtos, diversas disciplinas (mecânica, eletrônica, *software*, entre outras especialidades), precisam trabalhar juntas e de maneira efetiva (ISERMANN, 2008).

Ohno (1997) defende que, a não ser que as ações da engenharia de produção resultem em aumento de ganhos ou reduções de custos, elas tendem a não fazer o menor sentido. A isso, o autor chamou de “Engenharia de Produção Lucrativa”, implicando sistematicamente na não adoção de soluções prontas visto que não existem métodos e técnicas que resolvem todos os problemas para todas as empresas, em qualquer momento do tempo. Porém, a adaptação e adoção de algumas dessas técnicas ajudam a organização a criar suas próprias práticas.

O mesmo pode ser dito sobre os sistemas de produção. Antunes et al. (2008) afirmam que os sistemas de produção respondem pela adição concreta de valor ao produto, na medida em que são responsáveis pela transformação do objeto de trabalho, de uma condição inicial de matéria-prima, ou de componente intermediário, em uma condição final de produto acabado ou componente final. Shingo (1996a) entende da importância dos diferentes sistemas de produção desenvolvidos, os quais podem ser guias importantes para determinar qual direção seguir na concepção ou reestruturação dos sistemas de produção, pois suas inovações na produção servem como base para os atuais sistemas e por isso não podem ser ignoradas. Clarke (2005) corrobora que não há um sistema de produção ideal. Cada empresa tem suas peculiaridades, sejam elas derivadas de seu setor na economia, de seu posicionamento estratégico ou ainda de sua história organizacional e tecnológica, entre outras características que a fazem peculiar e única. Com isso, cada empresa demanda uma arquitetura específica de técnicas, tecnologias, metodologias, melhores práticas, e, muitas vezes, com diferenciações para cada uma de suas diferentes e diferenciadas unidades de negócio (PELLEGRIN; ANTUNES, 2016). Os mesmos autores acreditam que a ideia consiste em tratar as diferentes situações e contextos econômicos de forma dinâmica e específica, tendo como pontos centrais: i. uma compreensão ampla da microeconomia da fábrica e seus desdobramentos em termos dos custos dos fatores de produção envolvidos (capital, trabalho, energia, matérias-primas e materiais); e ii. possuir um *framework* de referência, e que deve ser dinamicamente adaptado e melhorado levando em conta o contexto microeconômico e a estratégia de negócios e produção de cada empresa em particular.

1.1 Problema de Pesquisa

A definição das prioridades competitivas é uma das atividades principais do processo de formulação da estratégia de produção (ROH; HONG; MIN, 2014). As decisões sobre a produção devem estar integradas às decisões estratégicas da organização, especialmente em um contexto em que a pressão por competitividade é crescente (AHLSTRAND, 2015). Essa competitividade entre montadoras demanda uma maior necessidade de Eficiência Operacional (EO).

A EO exige a adoção das melhores práticas em toda a cadeia de valor, incluindo tecnologias atualizadas de produto, equipamentos de produção de última geração e as abordagens mais modernas de vendas, soluções de tecnologia da informação e gestão da cadeia de suprimento (PORTER; HEPPELMANN, 2014). A EO é o requisito mínimo para a competição. Se uma empresa não for operacionalmente eficiente e não abraçar continuamente as novas e melhores práticas, ela será superada por seus rivais em custo, velocidade e qualidade. Apesar disso, a EO raramente é uma fonte de vantagem sustentável, já que os concorrentes adotarão as mesmas práticas e eliminarão essa diferença (PORTER; HEPPELMANN, 2014).

No Brasil a EO é mais relevante, quando comparado aos níveis de produtividade dos trabalhadores Brasileiros com os trabalhadores Americanos, tendo como referência o banco de dados do *Groningen Growth and Development Center*, que dispõe de valores adicionados brutos e número de trabalhadores. Em dados depurados por Timmer e Vries (2009) identifica-se uma diferença: enquanto a produtividade média do trabalhador no Brasil, para o período 1950-2005 do setor da industrial foi de 22 mil dólares, do setor de serviços foi de 17 mil dólares e do setor agropecuário 3,3 mil dólares, a produtividade do trabalhador nos Estados Unidos, para o mesmo período, no setor industrial foi duas vezes e meia superior (55 mil dólares), no setor de serviços foi quatro vezes superior (68 mil dólares) e no setor agropecuário foi nove vezes superior (29,7 mil dólares).

O estudo de Mation (2014), utiliza como base o banco de dados *Penn World Table* (PWT), que é constituído por dados internacionais do Produto Interno Bruto (PIB), estoques de capital e de trabalho, todos medidos a preços constantes e corrigidos por taxas de câmbio. Os valores monetários são corrigidos por taxas de câmbio para a Paridade do Poder de Compra (PPC). Os indicadores de PPC são concebidos para ajustar as taxas de câmbio em função dos preços relativos dos bens e serviços não comercializáveis, de forma a refletir uma medida internacionalmente comparável (MATION, 2014). A Figura 1 ilustra a evolução da produtividade do trabalho em seis países selecionados.

No longo prazo, a tecnologia talvez seja o fator mais relevante para os ganhos de produtividade. Verifica-se esta afirmação tanto nas tecnologias de processo, que possibilitam uma maior produção física a partir de uma mesma utilização de fatores, quanto na inovação de produtos, que possibilita preços maiores por uma mesma quantidade física de produtos (NEGRI; CAVALCANTE, 2014). Frente a este cenário, a concorrência internacional com a ajuda das taxas de câmbio, também tem se tornado um forte concorrente para as indústrias brasileiras, devido à possibilidade de importação, visto que a produtividade e o custo produção nos países em desenvolvimento são mais atrativos do que no Brasil. A competição por custos afeta a produção de bens manufaturados no país principalmente por parte de empresas ins-

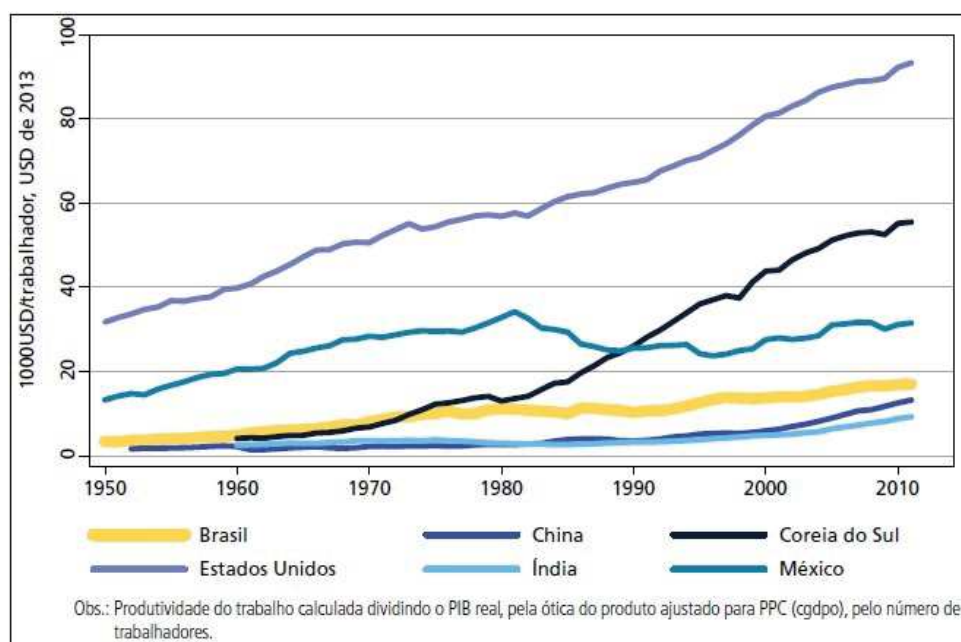


Figura 1: Evolução da Produtividade do Trabalho em Países Selecionados

Fonte: Mation (2014)

taladas na Ásia. Os impactos não são restritos à manufatura, uma vez que uma alta escala de produção é geralmente necessária para justificar o investimento em desenvolvimento de produtos. Outros fatores que têm impacto na capacidade de desenvolvimento de produtos estão relacionados à existência de um ambiente favorável para a inovação tecnológica (ARBIX; SALERNO; DE NEGRI, 2005). Se a produtividade é o determinante mais importante para o crescimento de longo prazo e padrões de vida crescentes; sua ausência, se mantida, significa menos crescimento (SCHWAB, 2017).

Além das concorrências internacionais, da baixa produtividade brasileira e da constante exigência de competitividade das montadoras, a Indústria de Autopeças convive com restrições, as quais necessitam ser minimizadas por meio de estratégias de produção diferenciadas, para não fragilizar o sistema produtivo e comprometer sua competitividade. Entre as restrições destacam-se:

- Não dominância do projeto do produto: parte das indústrias de autopeças não possuem controle sobre o valor do produto (projeto), cenário que compromete a não obter maior lucratividade;
- Falta de profissionais qualificados: problema abrangente a nível nacional, porém neste as indústrias de autopeças competem com outras indústrias (alimentícia, comércio, varejo, construção civil e etc). Sendo necessário desenvolver seus próprios profissionais

para atenderem as exigências do setor, além de retê-los devido a constantes reduções de custos;

- Máquinas inflexíveis e de alto valor agregado: tempos atrás o desenvolvimento de um carro não era rápido, atualmente a gama de veículos são renovadas com maior rapidez. Consequência disso são máquinas de alto valor, limitadas em flexibilidade e manuseio;
- Substituição rápida dos produtos: em continuidade a restrição anterior, com a renovação mais rápida da frota o tempo de vida útil dos produtos também diminuiu, forçando as empresas a manter um corpo técnico altamente capacitado no desenvolvimento constante de novos produtos;
- Reduções de preço por produtividade: estabelecido quando fechado o negócio, as montadoras exigem descontos anuais, chamados de desconto por produtividade, originados teoricamente por meio do ganho em processo. Processo este que força as indústrias de autopeças a serem mais produtivas para não perderem rentabilidade;
- Dificuldade na adaptação das máquinas aos produtos desenvolvidos: como as organizações já possuem seus ativos comprados, produtos novos necessitam se adaptar as condições existentes, evitando assim novos investimentos, o que nem sempre é possível;
- Cotações e negócios com as matrizes na Europa e América do Norte: além da competitividade nacional, existe a competitividade internacional, aquecida com a desvalorização da moeda brasileira, reforçando a importância no desenvolvimento de um sistema de produção alinhado com estratégias rentáveis;
- Dominância dos clientes nos preços dos produtos: em todo novo produto são definidos *target* nos preços. Essa situação limita o lucro das autopeças, reforçando a não dominância sobre o valor do produto;
- Avaliação do cliente voltada para o preço: estão avançados os fornecedores que já trabalham com sistema de produção híbrido, pois qualidade e relacionamento são considerados *commodities*;
- Fornecedores locais: a maior parte das indústrias de autopeças estão instaladas próximas das montadoras, diminuindo os custos com transporte, facilitando a comunicação e melhorando a tratativa pós-vendas. Quando não estiverem próximas entende-se como um potencial fator de perda de competitividade.

Para completar este cenário existem também as montadoras de máquinas agrícolas (tratores, colheitadeiras e equipamentos), rodoviário (transporte de passageiros e cargas) e construção (caracterizada por empresas que realizam obras de infra-estrutura, obras de terraplanagem, pavimentações, aeroportuárias e ferroviárias), todas com características distintas das montadoras de automóveis. Estas empresas caracterizam-se por adotar volumes de produção baixos, maiores rentabilidades, média exigência de qualidade, produtos com maior tempo de permanência no mercado e baixa tecnologia requerida. Assim como estes segmentos se completam em alguns aspectos também são concorrentes em outros, como por exemplo em máquinas, mão de obra, investimentos, infraestrutura e nas diretrizes estratégicas para a produção. O fornecimento para todos esses mercados requer uma administração das variáveis presentes, afim de manter-se competitivo e com alta lucratividade. Por outro lado, alguns aspectos são comuns a todos estes mercados, como a melhora na velocidade e flexibilidade, que são requeridas em toda a cadeia de abastecimento (BRUNING, 2018).

Neste cenário, a necessidade de experimentar novas práticas de gestão e buscar por melhorias é uma necessidade para manter um fornecimento de produtos de alta qualidade a preços e tempos acessíveis. Acrescente a isso a quarta revolução industrial (Indústria 4.0 ou manufatura avançada), que está mudando a indústria mais rápido do que nunca, acirrando a competitividade entre as organizações (LASI et al., 2014), e disponibilizando um leque de tecnologias com melhor interfaces de comunicação (PRINZ et al., 2016). A marca desta nova revolução é a fusão de tecnologias que começa a ultrapassar as fronteiras entre o físico, o biológico e o digital, trazendo desafios para todos os negócios e abrindo oportunidades inéditas para a inovação (SCHWAB, 2017). É por meio dela que todas as empresas utilizarão sistemas inteligentes, onde será possível desenhar uma série de novos modelos de negócios, lançar produtos e criar serviços mais personalizados e capazes de encantar clientes. Esses sistemas permitirão que as empresas recriem seus processos, aumentando a produtividade (BELLIZIA, 2016).

A transformação digital é a chave para um novo salto de eficiência e produtividade das empresas e abre infinitas novas oportunidades para que novos negócios sejam inventados. Cada um de nós será definitivamente impactado por esses acontecimentos (BELLIZIA, 2016). Esta visão do futuro da produção contém sistemas de produção modulares e eficientes, com cenários nos quais os produtos controlam seus próprios processos de produção. Isso é suportado para realizar a fabricação de produtos unitários, porém mantendo as mesmas condições econômicas de produção em massa (LASI et al., 2014). Para conseguir atender a essa nova exigência, será necessário desenvolver um sistema de produção flexível e inteligente, utilizando inteligência artificial, ciclos de inovação mais curtos, produtos mais complexos e de maior valor agregado, melhor administração do volume de dados gerado, aumentando o nível

de automação e tendo flexibilidade para atender uma demanda mais personalizada na mesma linha de produção (LASI et al., 2014; FALLER; FELDMÜLLER, 2015). A manufatura flexível e a entrega rápida são novas técnicas de projeto que surgem visando atender esses desafios e oferecer maior variedade de produtos aos clientes (PORTER; HEPPELMANN, 2015). Singh e Mahmood (2014) mencionam que um processo de manufatura de alto desempenho pode ser conseguido principalmente por meio da fabricação de produtos de alta qualidade, velocidade de processamento, custo competitivo, flexibilidade e confiabilidade, de modo que possibilite a empresa melhorar seu desempenho nos negócios, aumentar sua participação de mercado e crescimento de vendas.

Pode haver uma tendência geral em direção à adoção da produção enxuta na indústria automobilística, mas a variação real na adoção e difusão é determinada por como processos competitivos globais interagem e se alinham com as estratégias escolhidas pelas empresas, governos e representantes trabalhistas envolvidos (LANSBURY; SUH; KWON, 2016). O *Toyota Production System* (TPS) evoluiu como uma alternativa ao sistema de produção em massa existente devido à necessidade de superar os três desafios assustadores enfrentados pela Toyota após a segunda guerra mundial: i. atender às necessidades de um mercado doméstico que não só era pequeno, mas exigia alta variedade de produtos; ii. incapacidade da empresa privada de capital para fazer enormes investimentos em tecnologias ocidentais; iii. competir com marcas estrangeiras bem estabelecidas, como a General Motors e Ford (OHNO, 1997). O processo de transição para a produção enxuta por muitas vezes é incremental ou gradual.

Historicamente, surgiram modelos distintos de produção: o modelo do sistema de produção em massa, baseado no Taylorismo e Fordismo, o modelo de produção enxuta baseado no Toyotismo, o modelo reflexivo centrado no homem, baseado no Volvismo (CLARKE, 2005). Recentemente outro modelo ganhou relevância, o modelo de produção modularizado e automatizado baseado no Hyundaiismo (NUNES; VACCARO; ANTUNES, 2017).

Os avanços tecnológicos e suas implicações nos processos de negócios, dado que ações de engenharia podem ser responsáveis pelo aumento de ganhos ou reduções de custos e que os sistemas de produção respondem pela adição concreta de valor ao produto e, considerando ainda que devido a suas particularidades, cada empresa deve possuir seu modelo de referência, que considere o seu contexto microeconômico e a estratégia de negócios e produção, vê-se a necessidade de experimentar novos modelos de gestão. Considerando ainda que a quarta revolução industrial pode ser considerada um motor primário para a inovação de processos, emerge a seguinte questão de pesquisa: **Quais etapas devem ser adotadas pelas empresas que desejam evoluir na direção da Indústria 4.0 a fim de obter melhorias em seu processo produtivo?**

1.2 Objetivos

Esta seção apresenta os objetivos geral e específicos da pesquisa.

1.2.1 Objetivo Geral

Propor um método para implementação de um Sistema de Produção para Indústria de Autopeças com elementos da Indústria 4.0.

1.2.2 Objetivos Específicos

Para atender ao objetivo geral, os seguintes objetivos específicos foram perseguidos:

1. Identificar e caracterizar, a partir da literatura, os principais sistemas de produção;
2. Identificar as melhores práticas de sistemas de produção que permitem desenhar a Indústria 4.0;
3. Identificar os principais elementos que caracterizam a Indústria 4.0;
4. Associar os elementos que caracterizam a Indústria 4.0 com as melhores práticas dos sistemas de produção; e
5. Propor um modelo conceitual de sistema de produção para Indústria de Autopeças considerando as práticas de sistemas anteriores e sistemas que permitem desenhar a Indústria 4.0.

A justificativa e relevância, descritas na próxima seção, apresentam os argumentos que fundamentam a necessidade desta pesquisa. Além disso, contextualiza as bases que suportam a originalidade da mesma.

1.3 Justificativa e Relevância

Diante da complexidade na qual a Indústria de Autopeças está inserida e das incertezas que o mercado apresenta, é cada vez mais necessário a busca por formas de melhorar os processos produtivos. São muitos os programas que contribuem para alcançar os objetivos de aumento da produtividade e redução dos custos. Porém, destacam-se os programas baseados nos princípios da manufatura enxuta, oriundo do modelo desenvolvido pela Toyota, que vem

largamente sendo estudado e tendo suas ferramentas implantadas em organizações de todo o mundo Alves (2015); contribuindo também para desenvolvimento de novos sistemas de produção (NUNES; VACCARO; ANTUNES, 2017).

A aplicação dos princípios da manufatura enxuta por parte de um número de empresas em todo o mundo, faz com que todas alcancem determinado nível de competitividade, portanto, não traz mais vantagem competitiva robusta entre as que a adotam (SKINNER, 1996). Segundo o autor, a aplicação desse conceito de ferramentas não elimina a dificuldade de competir em mercados globais, já que estão disponíveis para todos os competidores, enfatizando ainda que os padrões de competitividade se elevaram e todos podem aplicar técnicas como essas, portanto, tornando-se estes elementos o mínimo exigido nas organizações. Aperfeiçoar esse modelo pode ser uma alternativa para que as empresas obtenham vantagens competitivas frente a seus concorrentes, o que faz as empresas investirem esforços no desenvolvimento de seus Próprios Sistemas de Produção, chamados de sistemas (XPS) (NETLAND, 2013; LEE; JO, 2007).

Um XPS é um programa de melhoria de produção adaptado a uma empresa específica, com base na sua própria estratégia de produção. O “X” representa o nome da empresa, e “PS” é uma abreviatura de *Production System* - “Sistema de Produção” ou algo semelhante (por exemplo: Sistema de Negócios, Sistema de Operações...). Exemplos típicos incluem o *Sistema de Produção Audi*, *Sistema de Produção Boeing*, *Sistema de Produção Caterpillar*, *Sistema de Produção Electrolux*, *Elkem Sistema Empresarial*, *Sistema de Produção de Alumínio Metal da Hydro*, *Sistema Operacional Jotun*, *Nissan Production Way*, *Sistema de Produção Rolls Royce* e *Sistema de Produção Scania* (NETLAND, 2013).

Ter um XPS é apenas o começo para as empresas melhorarem suas operações. Além de ser um processo longo, precisa ser customizado e por vezes é de difícil compreensão. Essa dificuldade se dá devido a complexidade inserida na implementação e sustentabilidade, que é diferente em cada organização em função da cultura e estratégias diferentes que por vezes são impostas pelo setor, mercado e/ou clientes (NETLAND; SANCHEZ, 2014). As iniciativas de sustentabilidade, que recomendam o equilíbrio entre o resultado operacional, o respeito às pessoas e a preservação do meio ambiente, também são itens importantes e valorizados pelos clientes e que, portanto, devem ser considerados pelas empresas em seu XPS (MILNE; GRAY, 2013). Pesquisas realizadas nos últimos anos valorizam os aspectos destacados até aqui. As principais estão na Tabela 2.

Tabela 2: Pesquisas Identificadas Relacionadas ao Desenvolvimento de XPS e Afins

Autores	Objeto do estudo
Ellegard (1995)	Criação de um novo sistema de produção (Volvo)
Shingo (1996b)	O sistema Toyota de produção
Wallace (2004)	Avaliação de um novo paradigma de sistema de produção (Volvo)
Anand e Kodali (2009a)	Desenvolvimento de um <i>framework</i> para implementação de sistemas de manufatura enxuta
Anand e Kodali (2009b)	Modelo de simulação para projetar sistema de produção enxuta
Jo (2010)	A evolução do modelo de produção Hyundai
Vanalle e Salles (2011)	Relação entre montadoras e fornecedores: modelos teóricos
Netland e Aspelund (2013)	Sistemas de produção específicos da empresa (XPS) e sua vantagem competitiva
Mostafa, Dumrak e Soltan (2013)	Um <i>framework</i> para implementação de manufatura enxuta
Netland (2013)	Explorando o fenômeno de sistemas de produção específicos da empresa (XPS)
Kurdve et al. (2014)	Modelos de sistemas de produção: integração enxuta e verde
Negahban e Smith (2014)	Simulação para projeto e operação de sistemas de manufatura
Netland e Sanchez (2014)	Efeitos de um programa de melhoria da produção no desempenho global da empresa
Nunes (2015)	Proposição do modelo de sistema de produção Hyundai
Chiarini e Vagnoni (2015)	Fabricação de classe mundial, sistema de produção Fiat
Alves (2015)	Modelo de gestão da produção integrando os princípios da manufatura e da sustentabilidade
Cunha (2015)	Modelo de gestão da produção integrando os sistemas de qualidade e de manufatura enxuta
Stålberg e Fundin (2016)	Explorando uma perspectiva holística na melhoria do sistema de produção
Medeiros, Santos e Gohr (2016)	Implementação e adaptação de práticas enxutas em um sistema específico de gestão da produção (XPS)
Veza, Mladineo e Gjeldum (2016)	Desenvolvimento do modelo croata de empresa inteligente inovadora
Nunes, Vaccaro e Antunes (2017)	O desenvolvimento do sistema de produção da Hyundai
Bielec (2017)	Sistema de produção específico da empresa (XPS) em uma empresa de múltiplas fábricas
Stålberg e Fundin (2018)	Integração de produção enxuta adaptável a condições dinâmicas (XPS)

Fonte: Elaborado pelo autor

A formação de *insights* para novas pesquisas são oportunas, a exemplo de Esmailian, Behdad e Wang (2016), que apresentam os novos paradigmas de produção, mostrando que na medida que estão se tornando realidade, os sistemas de produção devem ser estudados cuidadosamente para explorar como as novas tecnologias influenciam a infraestrutura atual. A flexibilidade da produção resulta no conceito de virtualização da capacidade de produção, conectando vários recursos e proporcionando compartilhamento destes de forma virtual (ESMAEILIAN; BEHDAD; WANG, 2016). Embora as novas tecnologias tenham recebido muita atenção, a manufatura avançada é mais que uma compilação de tecnologias de alto desempenho. O verdadeiro sucesso da manufatura avançada depende de novos modelos de negócios que extraem o valor real que as novas tecnologias podem oferecer (ESMAEILIAN; BEHDAD; WANG, 2016).

Um exemplo de novo modelo de negócio é o desenvolvimento de um sistema integrado inteligente que vende produtos de serviços ao invés de produtos. O sucesso desses modelos de negócios depende de muitos fatores que variam de flexibilidade da manufatura, processos, eficiência da cadeia de suprimentos e qualidade da infra-estrutura para estratégias de projeto de produto (ESMAEILIAN; BEHDAD; WANG, 2016).

Netland e Aspelund (2013), realizaram um estudo na empresa Volvo, onde o objetivo foi explorar como o desenvolvimento de sistemas de produção próprios podem contribuir para o desenvolvimento sustentável da vantagem competitiva da organização, deixando de fora o já conhecido sistema de produção da Toyota. Os autores consideraram que este modelo foi adequado para discutir a contribuição dos Sistemas Próprios de Produção (XPS) para obter vantagem competitiva sobre seus concorrentes, porém algumas ressalvas foram realizadas, como: o modelo não considera fatores de processos dependentes do tempo, a implementação do sistema de produção próprio é baseada na melhoria contínua e, portanto, o valor da saída é dependente do momento em que tenha sido implantado, além da velocidade e dedicação na qual é aplicada na organização, também o seu valor é dependente do ajuste estratégico com a estratégia de negócios da empresa. Os autores concluíram que a implementação de sistemas de produção próprios, podem fornecer vantagem competitiva temporária ou sustentável, se a organização obter “velocidade superior” e/ou “ajuste superior” em relação aos seus concorrentes, também é considerado um tipo de recurso que aumenta em valor ao longo do tempo, como já percebido pelo TPS.

Negahban e Smith (2014) fornecem uma revisão abrangente de 290 artigos publicados de 2002 a meados de 2013 sobre a aplicação de simulações de eventos discretos com foco na manufatura, mostrando um crescimento significativo na pesquisa publicada anualmente sobre simulação para operações do sistema de produção. O estudo também identificou novas áreas

de aplicação da simulação, no controle em tempo real do processo produtivo, no uso para nivelamento da produção e agendamentos das manutenções.

A simulação de eventos discretos fornece modelos computacionais com diferentes cenários nos quais é possível verificar os recursos de desperdício e capacidade restrita para gerar resultados comparativos. No estudo de Oliveira Gomes et al. (2012), examina como uma ferramenta de avaliação do ciclo de vida do produto pode complementar na realização de análises de sistemas de produção, levando em consideração os impactos ambientais, como o consumo de energia e a emissão de gases de efeito estufa, tendo como resultados o reforço da importância de projetos globais com soluções locais, inclusive para o planejamento de *layout*.

Kolberg e Zühlke (2015) fornecem uma visão geral das possibilidades e exemplos da combinação de tecnologias e sistema de produção. Além disso, também mostram vantagens da aplicação de conceitos da Indústria 4.0, como automação, virtualização e simulação em um sistema de produção enxuto. Em resumo eles concluem que conceitos de Indústria 4.0 e produção *Lean* não se eliminam e juntos podem acrescentar valor ao negócio.

Sanders, Elangeswaran e Wulfsberg (2016), propõem a integração de *Lean Manufacturing* e Indústria 4.0, destacando que além de ser um importante campo de pesquisa a ser amplamente explorado apontam que pesquisas sobre Indústria 4.0 são teóricas, não sendo facilmente adaptável a uma aplicação aos critérios de implementação de manufatura enxuta. Contribuem que futuras pesquisas poderiam criar um modelo conceitual aplicado em um ambiente de produção totalmente funcional integrando conceitos de *Lean* com tecnologias da Indústria 4.0.

Rüttimann e Stöckli (2016), também mostram que a Indústria 4.0 não tornará o *Lean* obsoleto, mas que ambos os sistemas gerarão uma mútua dependência, com domínios específicos de aplicação em relação à variabilidade do produto e volume de produção. Complementam que mais estudos precisam analisar as variáveis que contribuem para melhora do desempenho produtivo, com a necessidade de investimento para implementar uma Indústria 4.0 no chão de fábrica.

Diante do exposto, esta pesquisa justifica-se pela importância do tema em consonância com os avanços industriais, por meio da quarta revolução industrial – que será chamada neste trabalho de Indústria 4.0 – e também pelas oportunidades de ganhos em velocidade, inserido dentro desse novo sistema de produção. Esta oportunidade de pesquisa é reforçada pelos autores destacados na Tabela 3.

Tabela 3: Pesquisas Identificadas Relacionadas ao Desenvolvimento de Sistema de Produção e Indústria 4.0

Autores	Objeto do estudo
Kolberg e Zühlke (2015)	Automação <i>Lean</i> habilitada pelas tecnologias da Indústria 4.0
Rüttimann e Stöckli (2016)	<i>Lean</i> e Industria 4.0: Um esclarecimento sobre o suposto choque de dois sistemas de produção
Sanders, Elangeswaran e Wulfsberg (2016)	Atividades de pesquisa na Indústria 4.0 funcionam como facilitadores para sistemas de produção
Sibatrova e Vishnevskiy (2016)	Presente e o futuro da produção
Esmailian, Behdad e Wang (2016)	A evolução e o futuro da manufatura
Leyh, Martin e Schäffer (2017)	Indústria 4.0 e <i>Lean</i> : Uma análise de modelos selecionados da Indústria 4.0
Sanders et al. (2017)	Indústria 4.0 e Gestão <i>Lean</i> - Sinergia ou Contradição?
Jaskulski (2018)	Método de diagnóstico e implantação processual dos elementos da Indústria 4.0 no setor metalmeccânico brasileiro
Lugert, Batz e Winkler (2018)	Avaliação empírica da adequação 4,0 do mapeamento do fluxo de valor nas indústrias de manufatura
Sony (2018)	Indústria 4.0 e gestão <i>Lean</i> : Um modelo de integração proposto e proposições de pesquisa
Buer, Strandhagen e Chan (2018)	A ligação entre a Indústria 4.0 e a Manufatura Enxuta: mapeando a pesquisa atual e estabelecendo proposições de pesquisas
Tortorella e Fettermann (2018)	Implantação da Indústria 4.0 e Produção Enxuta em empresas brasileiras de manufatura
Habekost (2019)	Diretrizes para introdução dos conceitos da Indústria 4.0 no segmento de manufatura

Fonte: Elaborado pelo autor

Buer, Strandhagen e Chan (2018), reforça que *Lean Manufacturing* e os habilitadores da Industria 4.0 ainda são pouco explorados e essa é a razão pela qual nenhum modelo de implementação para integração foi publicado ainda. Também sugere a necessidade de futuras pesquisa para entender como esses dois mundos podem interagir. No estudo de Tortorella e Fettermann (2018), analisou-se a relação entre as práticas *Lean* e a implementação da Indústria 4.0 em empresas industriais brasileiras. Por meio de uma pesquisa realizada com 110 empresas de diferentes tamanhos e setores, em diferentes estágios de implementação *Lean*.

As descobertas indicam que as práticas *Lean* estão positivamente associadas às tecnologias da Indústria 4.0 e sua implementação simultânea leva a melhorias de desempenho maiores.

Sanders, Elangeswaran e Wulfsberg (2016), destacam que pesquisas individuais foram feitas sobre várias tecnologias da Indústria 4.0 mas relacionados a execução do *Lean Manufacturing* ainda não foram explorados. A lacuna por estudos sobre sistemas de produção associados à Indústria 4.0 foi parcialmente abordada em estudos como os de Kolberg e Zühlke (2015); Rüttimann e Stöckli (2016). Entretanto, os próprios autores apontam a necessidade por mais pesquisas neste campo, incluindo inclusive outros sistemas de produção associado com a implementação de conceitos da Indústria 4.0. Mesmo na revisão de literatura realizada (com método descrito no Capítulo 3), não foram encontrados estudos com esta abordagem.

Em uma perspectiva profissional, estudar o setor automotivo tem importância, devido a sua participação relevante na produção econômica mundial (CASOTTI; GOLDENSTEIN, 2008; VESELOVSKÁ; KOŽAROVA; ZAVADSKY, 2018). A relevância se dá a medida que a riqueza por ela gerada, (por meio do PIB industrial, mão de obra e desenvolvimento de novas tecnologias) é significativa e seus impactos econômicos são relevantes para estados que abrigam os investimentos. Além de ser pioneira das principais mudanças ocorridas no processo produtivo de toda a cadeia industrial, fundando o que, foi chamado de indústria moderna (CASOTTI; GOLDENSTEIN, 2008; VESELOVSKÁ; KOŽAROVA; ZAVADSKY, 2018).

1.4 Delimitações do Trabalho

A pesquisa estrutura-se com enfoque aos sistemas de produção e elementos da Indústria 4.0 citados durante o trabalho. As delimitações desdobram-se em:

- Não será objeto deste trabalho propor uma abordagem histórica dos sistemas de produção e avanços até a Indústria 4.0. Os sistemas de produção (chamados de principais) caracterizados neste trabalho foram escolhidos pelo autor;
- Também não será objetivo deste trabalho conceituar historicamente a melhoria contínua;
- Quanto a abrangência da aplicação, embora passível de ser estendido a todas as áreas da empresa, compreendeu uma área específica - fabricação de tanque de combustível, sendo explicado no capítulo de resultados o porque da escolha;
- Não será escopo da pesquisa a extensão para fornecedores e clientes;
- Os valores financeiros foram estimados para elucidar o Artefato proposto, não sendo necessariamente valores reais disponíveis no mercado;

- Serão utilizados e detalhados somente os aspectos pertinentes a essa pesquisa relacionados a Indústria 4.0, a qual é ampla e possui vários vieses, desde o futuro da educação à problemas relacionados a legislação brasileira;
- Não será objetivo da pesquisa questionar as tecnologias da Indústria 4.0, nem mesmo propor alterações e sim contribuir para inserção destas na melhoria contínua em um ambiente de manufatura;
- No que tange as restrições da Indústria de Autopeças, como apresentado anteriormente, o foco não será medir e nem eliminá-las, porém aquelas que estiverem alinhadas com o sistema de produção proposto, serão conseqüentemente minimizadas, podendo esta ser uma oportunidade futura de pesquisa;
- Não será abordado sobre a transformação cultural da organização que bem implementado incorpora novos hábitos, valores, comportamentos e mudança de mentalidade dos funcionários;
- A simulação é usada na análise do ambiente produtivo para identificar oportunidades, estimar desempenhos, visualizar por meio de animações e proporcionar estados futuros de operação. Sendo construída como uma etapa do Artefato proposto;
- O indicador de Horas Homem / Tanque Produzido não é encontrado nas referências clássicas de sistema de produção, sendo esse um indicador desenvolvido pelo autor para melhor mostrar os ganhos relacionadas a (resultado / esforço), que será chamado de produtividade;
- Foi optado pela utilização da ferramentas de análise de investimento ROI - *Return on Investment* (Retorno do Investimento), para fazer as análises do Artefato, a qual não será justificada porque foi escolhida;
- Não é objeto deste estudo a implementação prática das melhorias sugeridas.

Ao procurar aplica-ló a outras empresas ou segmentos industriais, deve ser levado em consideração o foco deste trabalho, mesmo que vários conceitos aqui discutidos sejam replicáveis. O conteúdo precisará ser adaptado no caso da aplicação além das delimitações definidas. A seguir será detalhado a estrutura deste trabalho.

1.5 Estrutura do Trabalho

No capítulo 1, a introdução, é apresentado o contexto, o problema de pesquisa, as justificativas e relevâncias do trabalho, além do objetivo geral e específicos. O contexto compreende a discussão do mercado automotivo e do posicionamento das indústrias de autopeças no mercado competitivo. Afim de preencher essas lacunas, são detalhadas as perguntas norteadoras e a questão de pesquisa, também são definidos os objetivos e relatadas às delimitações da pesquisa. A síntese da bibliografia fundamental está organizada no capítulo 2, apresentando brevemente sobre estratégias de produção e sistemas de produção. Na sequência é abordado sobre Indústria 4.0, destacando sobre os avanços da quarta revolução industrial. Também no capítulo 2 é dado destaque para a integração de sistemas de produção e Indústria 4.0.

No capítulo 3 são apresentados os procedimentos metodológicos, destacando inicialmente para a classificação da pesquisa e, posteriormente, detalhando sobre os métodos da pesquisa. Na sequência é detalhado as etapas da pesquisa, de acordo com o *Design Science Research*.

O capítulo 4 apresenta o modelo conceitual proposto (4.1) do sistema de produção. A seção 4.2 apresenta o Artefato desenvolvido, denominado método para implementação do sistema de produção para Indústria de Autopeças. Na seção 4.3, a empresa onde o método foi testado é apresentada seguido da descrição da implementação do modelo conceitual por meio do Artefato proposto.

A tese é finalizada com o Capítulo 5, onde são apresentadas as principais conclusões, limitações e recomendações para trabalhos futuros na área da pesquisa.

2 REFERENCIAL TEÓRICO

Neste referencial teórico, os principais elementos teóricos desta tese serão definidos: Estratégia de Produção, Sistema de Produção, Estrutura dos Sistemas de Produção, Sistema de Produção Ford, Toyota e Afins, Volvo e Hyundai. Além dos Elementos que Caracterizam a Indústria 4.0. A partir destas definições, são apresentadas as relações entre estes elementos teóricos e as proposições desta tese. O referencial é finalizado com uma síntese sobre análise dos sistemas de produção e pesquisas recentes sobre sistema de produção e Indústria 4.0. A seguir, serão abordadas as principais definições relativas à Estratégia de Produção.

2.1 Estratégia de Produção

O principal objetivo da estratégia é desenvolver e sustentar uma vantagem competitiva duradoura, onde uma operação produtiva eficaz não é necessariamente uma que prometa eficiência máxima ou perfeição de engenharia, mas sim uma que se ajuste às necessidades da empresa (WHEEL WRIGHT, 1984). É comum em qualquer empresa a busca pela melhoria nos processos produtivos, o que contribui diretamente para aumento no lucro operacional do negócio como um todo, uma vez que a globalização aproximou os mercados, derrubou barreiras comerciais e acirrou a disputa pelos consumidores, estar um passo à frente da concorrência pode significar a sobrevivência da empresa (ALVES, 2015). O termo estratégia pode ser definido como as escolhas e decisões que uma determinada empresa faz para alcançar os seus objetivos e o grau de consistência entre essas decisões, tanto no curto como no longo prazo, ou seja, estratégia implica em definir uma alternativa a ser seguida pela empresa dentre as muitas possíveis (TEIXEIRA et al., 2014). Para a maioria das empresas do setor industrial, a operação de manufatura é o componente empresarial de maior amplitude e complexidade, e o mais difícil de ser administrado, em função disso, as empresas precisam de estratégias de manufatura mais abrangentes e completas (FINE; HAX, 1985).

As estratégias de produção são visualizadas como parte de um processo de planejamento que coordena os objetivos/metas operacionais com os objetivos mais amplos das organizações. Dado que os objetivos das organizações mudam com o tempo, a estratégia da produção precisa ser modelada para antecipar as necessidades futuras (JACOBS; CHASE; AQUILANO, 2004). Quando as empresas deixam de reconhecer a relação entre as decisões relativas à manufatura e a estratégia corporativa, é possível que elas venham a se afogar em meio a sistemas de produção sem praticamente nenhuma competitividade, cuja transformação seria cara e demorada (TEIXEIRA et al., 2014). As estratégias de produção são desenvolvidas levando em consi-

deração os chamados critérios competitivos que possibilitam uma melhor análise acerca do posicionamento dos produtos e bens frente às exigências do mercado e dos clientes. Usualmente são utilizados quatro critérios competitivos: custos, qualidade, entrega e flexibilidade. Fine e Hax (1985), definem essas quatro medidas de aferição de desempenho para abordar os objetivos da estratégia de manufatura:

- i. custo: custo unitário, custo total, custo do ciclo de vida;
- ii. entrega: percentual de remessas dentro do prazo, previsibilidade das datas de entrega, tempo de resposta para as alterações nas demandas;
- iii. qualidade: taxa de devolução, confiabilidade do produto, custo e percentual de reparos na área, custo da qualidade e;
- iv. flexibilidade: possibilidade de substituição de produtos, opções ou variantes do produto, resposta às alterações no produto ou no volume de produto.

No estudo de Paiva, Carvalho Jr e Fensterseifer (2009), foram identificados cinco critérios competitivos na área da produção que se relacionam com a estratégia de negócios da organização, sendo os mesmos quatro apresentados anteriormente com acréscimo de:

- i. inovatividade: é tradicionalmente definido como a habilidade da empresa em lançar novos produtos e/ou serviços em curto espaço de tempo.

O critério flexibilidade tem se mostrado importante conforme a evolução e dinamicidade dos mercados, forçando as organizações a buscarem se adaptar com rapidez às mudanças. Para ajustar o funcionamento do sistema de produção às mudanças externas, são necessárias modificações no *mix* de produção, nos produtos, nos volumes de produção, nos roteiros de produção e etc. Empresas capazes de responder a isso de forma flexível estão potencialmente mais habilitadas para manter e conquistar participação de mercado (ANTUNES et al., 2008). Toda a empresa necessita se reorganizar internamente para se movimentar com flexibilidade e agilidade no mercado, utilizando as tecnologias necessárias para as demandas do momento (BAYLISS; CLARK, 1997). Slack (1992); Paiva, Carvalho Jr e Fensterseifer (2009) apresentam quatro tipos distintos de flexibilidade:

- i. flexibilidade de novos produtos: representada pela capacidade de introduzir novos produtos ou modificar produtos já existentes;
- ii. flexibilidade de *mix* de produtos: capacidade de mudar a variedade (tipos e modelos) de produtos que estão sendo produzidos em uma empresa em um determinado período de tempo;

- iii. flexibilidade de volume: capacidade de alterar o volume total de produção; e
- iv. flexibilidade de entrega: capacidade da empresa de mudar as datas de entrega planejadas ou assumidas previamente.

Uma empresa que concorra na base da flexibilidade do produto enfatiza sua capacidade de lidar com pedidos difíceis e fora do padrão, além de liderar no lançamento de novos produtos, geralmente são empresas menores que adotam isto como prioridade competitiva (WHEEL WRIGHT, 1984). Os mesmos autores acreditam que empresas nas quais a concorrência se dá pela flexibilidade do volume de produção, enfatizam que sua capacidade de aceleração ou desaceleração se dá de forma mais rápida. Para a Indústria de Autopeças a flexibilidade no aspecto volume de produção poderá ser um diferencial competitivo visto a exposição destas a um mercado cíclico, nas quais são reféns das montadoras, que por sua vez sofrem com a sazonalidade da economia mundial. Fine e Hax (1985) destacam ainda que para o sucesso na operação da estratégia é necessário gestão e coordenação de uma série de processos envolvidos:

- Processos e tecnologias: por meio da construções de fábricas dotadas de um alto grau de automação, pode vir a ser cara, em muitos casos podendo afetar a estrutura dos custos e falta de mão de obra qualificada, porém empresas decidem investir nessas novas tecnologias porque acreditam que sua sobrevivência depende disso;
- Escopo da produção e dos novos produtos: as empresas que introduzem novos produtos no mercado com rapidez e frequência, ou que dispõem de amplas linhas de produtos, precisam criar organizações de manufatura flexível, com boa capacidade de resposta e eficientes;
- Recursos humanos: é necessário criar políticas que motivem os empregados a trabalhar em equipe, com o propósito de alcançar os objetivos da empresa;
- Gestão da qualidade: programas de melhoria da qualidade precisam ser permanentes e contínuos, aplicados em toda a organização, tendo por objetivo principal a incessante busca pelo aperfeiçoamento;
- Infraestrutura de manufatura: sistemas de planejamento e controle para dar suporte à tomada de decisão e à implementação das decisões tomadas;
- Relação com os fornecedores: há duas perspectivas, porém opostas, sobre a estratégia de aquisições e de relação com os fornecedores externos, abordagem competitiva onde

é recomendado a formação de múltiplas fontes para insumo de materiais e abordagem cooperativa (ou japonesa) recomenda o desenvolvimento de relações de longo prazo com base na dependência e na confiança mútua.

Percebe-se que, a área de produção que obter uma estratégia robusta pode se tornar uma efetiva e sustentável ferramenta para suportar e fornecer diferenciais para a competitividade da organização no mercado. Mais especificamente, a organização poderá utilizar a produção como fonte de vantagem competitiva (TEIXEIRA et al., 2014). Hayes e Pisano (2005) complementam que mesmo para empresas nas quais diversos negócios empregam estratégias semelhantes, normalmente estes negócios apresentam diferenças suficientes, de modo que podem necessitar de estratégias de produção diferentes. Isso ainda reforça a conclusão de Skinner (1996) de que ainda há espaço para esses conceitos no ambiente acadêmico e, principalmente, no ambiente empresarial.

2.2 Sistemas de Produção

O sistema de produção das empresas pode ser entendido como uma “arma competitiva” e que é por meio de suas operações produtivas que as empresas podem atingir seus objetivos diante da concorrência (SKINNER, 1974). Também como um grupo de componentes inter-relacionados que trabalham juntos em prol da obtenção de uma meta comum. Recebendo as entradas do sistema (insumos) e transforma-as, por meio de processos organizados, em resultados (saídas do sistema) (ANTUNES et al., 2008). O mesmo autor reforça que os sistemas de produção respondem pela adição concreta de valor ao produto, na medida em que são responsáveis pela transformação do objeto de trabalho, de uma condição inicial de matéria-prima, ou de componente intermediário, em uma condição final de produto acabado ou componente final. Shingo (1996a), entende da importância dos diferentes sistemas de produção desenvolvidos, os quais podem ser guias importantes para determinar qual direção seguir na concepção ou reestruturação dos sistemas de produção, pois suas inovações na produção servem como base para os atuais sistemas e por isso não podem ser ignoradas.

Bösenberg e Metzen (2005), sistema de produção é usado nas empresas para criar bens e serviços por meio de vários recursos, os quais obedecem as estratégias corporativas definidas, fornecendo um arcabouço estrutural para procedimentos e padrões relativos aos processos organizacionais e sociais. Mais figurativamente, os sistemas de produção são como um guarda-roupa com cabides vazio, em que camisas, calças e outras roupas podem ser agrupados, pendurados e dobrados. Assim, os sistemas de produção fornecem a estrutura e o esboço estrutural em que as regras organizacionais são definidas (BÖSENBERG; METZEN, 2005).

Qualquer sistema produtivo pode ser compreendido como uma rede funcional de processos e operações (SHINGO, 1996a). Uma síntese didática da abordagem da estrutura de produção, visualizada como uma rede entre os processos e operações, é apresentada na Figura 2.

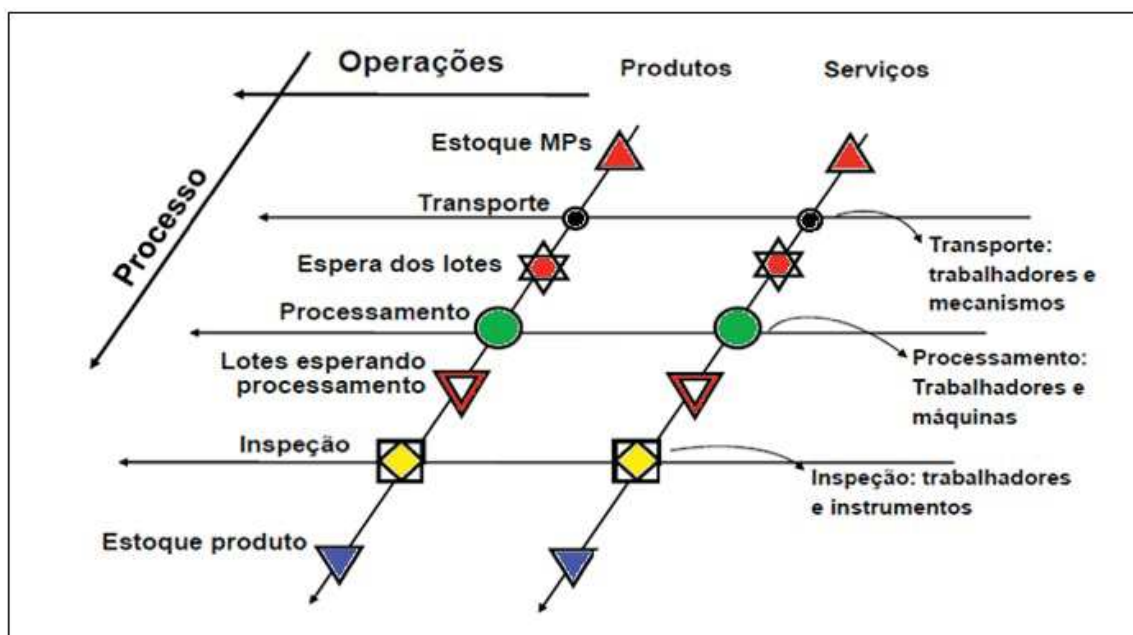


Figura 2: Estrutura dos Sistemas de Produção
Fonte: Shingo (1996a)

Segundo Shingo (1996a), é possível identificar melhorias, em processos produtivos, por meio do mapeamento das atividades, descrevendo todas as rotinas e, para cada parte do processo, destinar um símbolo. Com o auxílio dos símbolos, facilita a compreensão das atividades, independente da forma ou da quantidade de execuções, indicando, assim, qual atividade está sendo realizada e se está ou não agregando valor. A Figura 3, apresenta a simbologia do mecanismo da função produção.

Abordagem proposta por *Shingeo Shingo* em 1945, consiste em visualizar os sistemas produtivos a partir da noção de uma rede que envolve no eixo X os processos e no eixo Y as operações, ou seja os sistemas produtivos são visualizados a partir de uma combinação do acompanhamento do fluxo de materiais, no tempo e no espaço, e do acompanhamento do fluxo de pessoas e equipamentos, dispositivos no tempo e no espaço (ANTUNES et al., 2008).

A Função Processo é um fluxo integrado de materiais do início ao fim (material, serviços ou mesmo ideias) no tempo e no espaço. Os elementos que constituem a Função Processo são, apresentados a seguir:



Figura 3: Simbologia do Mecanismo da Função Produção
Fonte: Adaptado de Shingo (1996a)

- **Processamento:** transformação dos materiais (Ex.: usinagem, pintura, fusão), caracterizado por mudanças na qualidade do objeto de trabalho;
- **Inspeção:** significa a comparação do objeto de trabalho contra um determinado padrão pré-estabelecido;
- **Transporte:** implica na modificação da posição ou de localização do objeto de trabalho;
- **Estocagem ou Espera:** períodos de tempo onde não está ocorrendo qualquer tipo de processamento, transporte ou inspeção sobre o objeto de trabalho (ANTUNES et al., 2008).

O estudo das esperas é fundamental, porque as esperas acarretam em consequências problemáticas na Fábrica como: longos tempos de atravessamento e o aumento do nível de defeitos e retrabalhos (ANTUNES et al., 2008).

A Função Operação é o acompanhamento das pessoas e equipamentos no tempo e no espaço (ANTUNES et al., 2008). *Shingo* adotou as proposições de *Taylor* que atacavam de forma geral esta problemática. As operações podem ser divididas:

- Preparação, operação de ajustes depois da operação (operações ligadas ao tempo de preparação: *setup*;
- Operação principal: São as funções essenciais diretamente ligadas às operações de processamento em si, inspeção transporte e espera. A operação pode ser dividida em duas subcategorias: operações essenciais e operações auxiliares.
- Folgas não ligadas ao pessoal: São folgas, ou seja, tempos onde os operadores não estão realizando as atividades fim. As causas destas folgas encontram-se em operações irregulares (não previstas) que ocorrem de forma inesperada na produção; e
- Folgas ligadas ao pessoal: As folgas ligadas ao pessoal caracterizam-se por trabalhos irregulares ligados diretamente às pessoas e não conectadas com as máquinas e operações.

Para mensurar as melhorias nos sistemas produtivos é necessário tratar do temas econômico-financeiros e de mensuração nos sistemas econômicos. Isto implica em perceber os aspectos mais amplos associados a economia da empresa. Diferentes variáveis relacionadas à configuração e ao funcionamento de uma empresa industrial influenciam as necessidades de capital. Destaca-se: (ANTUNES et al., 2008).

- Estoques globais da empresa: matéria-prima, estoque em processo (*Work In Process (WIP)*), produtos acabados, materiais de consumo;
- Ativos fixos: máquinas, ferramentas, dispositivos e etc;
- Tempo de atravessamento (*Lead Time*): tempo transcorrido entre a entrada de um material na fábrica e entrega do produto ao cliente.

As relações dos estoques e dos ativos fixos com as necessidades de capital da empresa são evidentes. Quanto mais equipamentos/máquinas forem adquiridos para a configuração do sistema de manufatura, e quanto maior for o volume imobilizado em estoques, maior será a necessidade de capital da empresa. Para o tempo de atravessamento, deve-se considerar que, quanto maior este for, mais longo será o ciclo de caixa da empresa (ANTUNES et al., 2008). A seguir serão apresentados o sistema de produção Fordista e o sistema de produção enxuta. Posteriormente o sistema de produção Volvo e sistema de produção Hyundai. Também será mostrado uma comparação entre estes sistemas de produção antes de iniciar sobre sistemas a serem construídos partindo da Indústria 4.0.

2.2.1 Sistema de Produção Fordista

A evolução dos sistemas de produção, começa inicialmente com a produção artesanal e posteriormente avança para a produção em massa. Na produção artesanal os trabalhadores são altamente qualificados, com habilidade e com uso de ferramentas simples. Neste sistema os produtos são encomendados pelos clientes, sob medida e são produzidos um por vez, portanto, o volume de produção é bem reduzido e mesmo entre estas poucas unidades não há dois produtos idênticos, pois as técnicas artesanais produzem variações por sua própria natureza, em geral, o custo é alto, porém a qualidade é excelente. Esse alto custo faz com que somente uma minoria tenha acesso aos bens produzidos (WOMACK; JONES, 2004). Já na produção em massa, profissionais especializados projetam produtos que são fabricados por trabalhadores não qualificados ou semi qualificados operando equipamentos caros e de finalidades específicas, produzindo produtos padronizados em grandes quantidades. Na produção em massa, o tempo ocioso precisa ser evitado, pois o maquinário tem um elevado custo. A gerência, então, acrescenta uma reserva na forma de estoque extra e de trabalhadores para garantir a disponibilidade de insumos ou para que o fluxo de produção não seja desacelerado. Devido ao alto custo do investimento em máquinas, a adaptação para a fabricação de novos produtos fica impedida e o consumidor é que se beneficia com os preços baixos em prejuízo da variedade (WOMACK; JONES, 2004).

Este sistema começou a ser fortemente questionado devido: i. ao processo de mecanização crescente; ii. ao surgimento de novas e revolucionárias aplicações da tecnologia existente na época; iii. ao surgimento de uma economia de mercado; iv. as novas expectativas e desejos do consumidor, em uma sociedade em mudanças e com valores consumistas. Com os estudos de tempos e métodos de *Frederick Taylor*, que lança os fundamentos para a gestão dos processos produtivos, em que sugere a busca de métodos científicos, para a melhora dos resultados, por meio da padronização e redução do tempo, de novas ações dos operadores e do aproveitamento dos equipamentos (RODRIGUES, 2015). Foi exatamente a falta de padronização dos sistemas produtivos (seja com relação às peças, às ações operacionais, seja com relação aos equipamentos utilizados) que levou *Henry Ford*, a partir de 1903, fazer vários questionamentos quanto à possibilidade de ter uma linha de montagem de automóveis com peças e ações que possibilitassem uma produção padronizada. Isso permitiria uma intercambiabilidade em todo o processo produtivo, o que reduziria o tempo e simplificaria as ações de preparo, de montagem e de ajustes, e essa foi a base para um novo sistema de produção que ficou conhecido como “Sistema de Produção em Massa” (RODRIGUES, 2015).

Em 1908, com o lançamento do modelo Ford T, a Ford passaria a ser responsável pela

fabricação da metade dos automóveis em circulação no mundo. A linha clássica de produção trazia diversas vantagens, como a produção em massa e consequente baixa de preços (SEELY, 1999). Na tentativa de fazer com que mais pessoas tivessem acesso aos bens produzidos, Ford idealizou e implantou na sua fábrica de carros as ideias da padronização e da produção em massa em linhas de montagem exclusivas para o produto. *Alfred Sloan* da concorrente General Motors, aperfeiçoou o sistema implantando um modelo gerencial que permitiu a administração descentralizada das operações de diversas fábricas do grupo por meio de relatórios e números que auxiliavam na gestão de todo o sistema, a partir de uma pequena sede da corporação (MAXIMIANO, 2011; ALVES, 2015).

O primeiro princípio do sistema de produção em massa é a divisão do trabalho, onde o processo de fabricar um produto é dividido em partes. Cada pessoa e grupo de pessoas neste sistema têm uma tarefa fixa a desempenhar, que consiste em fabricar ou montar uma das partes. A divisão do trabalho tem como resultado a especialização do trabalhador: ele sabe realizar apenas a tarefa fixa que lhe foi designada (MAXIMIANO, 2011). O segundo princípio é a fabricação de peças e componentes padronizados e intercambiáveis, onde cada peça ou componente pode ser montado em qualquer sistema ou produto final. Nenhum produto peça ou componente é fabricado para um produto final específico. O produto se movimenta ao longo de um processo que é feito de uma sequência de tarefas, realizadas pelos trabalhadores em posições fixas. Conforme o produto avança de uma posição para a outra, este vai sendo progressivamente construído (MAXIMIANO, 2011).

O avanço essencial proposto por Ford para a produção em massa não foi a implantação das linhas de montagem em si, mas os avanços em termos de padronização de projeto do automóvel e do processo produtivo. Neste sentido, foi adotado o conceito de intercambiabilidade de peças, a iniciativa de baixo custo da linha de montagem permitiu não somente o aumento drástico da produção, mas também proporcionou a redução dos investimentos em estoques parados de peças para a montagem (WOMACK; JONES; ROOS, 1990). O custo do automóvel foi reduzido em dois terços, percebendo-se que quanto mais se produzia, mais o custo por veículo caía, o que motivou ainda mais a produção e montagem de grandes lotes, em massa. Com a redução dos custos de produção e os ganhos em termos de facilidade de manutenção, Ford criou um produto viável de ser adquirido por grande parte da população americana, estimulando dessa forma o consumo em massa. Dessa forma Ford assumiu a liderança mundial da indústria automobilística, praticamente eliminando as empresas de produção artesanal, incapazes de concorrer com as vantagens advindas da produção em massa (WOMACK; JONES; ROOS, 1990).

Em resumo, o modelo de linha de montagem idealizado por Ford, foi responsável por

ganhos significativos em produtividade e redução de custos no início do século XX, via seu declínio cinquenta anos depois. Em virtude das mudanças sociais, econômicas e consequente transformação do pensamento do trabalhador com relação à forma de encarar o trabalho e a vida, o que tornou inviável a manutenção dos ganhos obtidos. Em contrapartida caíram os índices de produtividade e qualidade, aumentando os custos produtivos. Como consequência aumentou a insatisfação dos clientes e perdeu-se mercado frente aos concorrentes, principalmente para as empresas orientais. Estas se destacavam por desenvolver uma concepção de sistema produtivo superior à produção em massa, utilizando a capacidade intelectual dos colaboradores da empresa, e ganhando em qualidade, custo e redução dos ciclos de comercialização (MARTIN; MITCHELL; SWAMINATHAN, 1994).

Segundo Graça (2002), o sistema de produção em massa declinou de acordo com os seguintes fatores: i. era poupado em pessoas na fase de montagem, precisando contratar mais pessoas para as funções de controle e regulação; ii. com excesso de estoque, havia desperdícios no deslocamento de materiais; iii. mesmo que estudo de tempos e movimentos garantisse o equilíbrio da linha de montagem, porém não era possível controlar absenteísmo, rotatividade das pessoas, acidentes, variações de desempenho individual, insuficiência de estoques e etc; iv. gestão rígida com as pessoas e sistema de controle hierárquico; v. falta de flexibilidade, ou se reduzia o ciclo de vida de cada novo modelo ou se aumentava o número de variações do produto. O modelo de negócio implantado por *Henry Ford*, por meio dos conceitos da administração científica, ainda é resposta para os problemas de muitas organizações, mas em ambiente estável, produtos com poucas mudanças ao longo do tempo e previsibilidade dos recursos humanos (WOOD JR, 1992).

2.2.2 Sistema de Produção Toyota e Afins

O Sistema de Produção Toyota teve em sua criação a contribuição de grandes gurus, entre eles: *Taiichi Ohno*, *Shigeo Shingo* e *Eiji Toyoda*, com o objetivo de propiciar ganhos de produtividade por meio do combate à produção em excesso e consequentemente o desperdício gerado no ambiente produtivo, produzindo apenas os componentes certos, no lugar certo e na hora certa, levando à redução dos estoques, dos custos e melhora na qualidade dos produtos (OHNO, 1997). Após *Eiji Toyoda*, engenheiro da Toyota visitar e estudar, o mais eficiente complexo fabril de produção em massa do mundo, percebeu ser possível melhorar o sistema de produção existente na Toyota, mas que seria difícil apenas copiar e aperfeiçoar o modelo americano, devido à situação em que o Japão se encontrava após o término da segunda guerra mundial, concluindo que a produção em massa não funcionaria no Japão, sendo eles “obriga-

dos” a criarem um novo sistema de produção, que é hoje conhecido por Produção Enxuta ou *Lean Manufacturing* (WOMACK; JONES, 2004).

Os objetivos *Lean* de eliminação de desperdícios e zero defeitos pode ser alcançado por meio de um pensamento enxuto, identificando e mitigando as barreiras do *Lean Manufacturing*, mudando a cultura da organização, mudando o papel dos líderes da equipe, formando equipes multifuncionais, aumentando o nível de funcionários comprometidos, criando sistemas de recompensa, integrando toda a cadeia de suprimentos do fornecedor ao cliente, envolvendo a necessidade de inovação e adaptação na organização, e usando um conjunto de princípios *Lean*, juntamente com sistemas de informação verticais na organização (BHAMU; SINGH SANGWAN, 2014). Esse sistema de produção, conforme Ohno (1997) e Womack e Jones (2004), apresenta algumas vantagens aos demais sistema relacionada à aderência de três principais pontos: i. melhorar o fluxo de material e informações no ambiente de negócios; ii. dar ênfase na produção puxada pelo cliente, ao invés da produção empurrada pela organização; e iii. comprometimento com a melhoria contínua por meio do desenvolvimento das pessoas. Para que uma empresa atinja o estado enxuto, possibilitado pela eliminação de desperdícios nas operações, Womack e Jones (2004), enumeram cinco princípios básicos da manufatura, que têm como objetivo tornar a organização mais flexível e capaz de responder efetivamente às necessidades dos clientes:

- Valor: valor na visão do cliente;
- Fluxo de valor: são todas as atividades, pelo qual o produto passa, que criam valor ou não, mas são necessárias para transformar insumos em produtos;
- Fluxo contínuo: reduzir o tempo entre uma solicitação e sua entrega por meio da contínua eliminação dos desperdícios;
- Produção puxada: fazer somente o necessário, na quantidade necessária e quando solicitado pelo cliente, e;
- Perfeição: melhoria contínua.

Aceita-se que o *Lean* traz diferencial competitivo ao negócio no que tange a melhorias no processo produtivo, então precisamos entender o que pesquisadores de todos o mundo têm estudado e comentado sobre sua definição. Em um estudo realizado por Bhamu e Singh Sangwan (2014) foram compilados definições acadêmicas de *Lean* que mostram os princípios, objetivos e escopo no período de (1988 a 2012), vale destacar alguns:

- Em comparação com a produção em massa, a produção enxuta utiliza menos esforço humano na fábrica, metade do espaço de fabricação, metade do investimento em ferramentas, metade do tempo de engenharia para desenvolver um novo produto. Também possibilita manter menos inventário necessário, resultando em menor número de defeitos e maior variedade de produtos (KRAFCEK, 1988);
- *Lean* é um processo dinâmico de mudança impulsionado por um conjunto sistemático de princípios e melhores práticas que visam a melhoria contínua. *Lean Manufacturing* combina as melhores características de ambos sistemas de produção em massa e artesanal (WOMACK; JONES; ROOS, 1990);
- É chamado *Lean*, uma vez que utiliza menos, ou o mínimo, de tudo que é necessário para produzir um produto ou realizar um serviço (HAYES; PISANO, 1994);
- O termo *Lean*, denota um sistema que utiliza menos, em termos de todas as entradas, para criar as mesmas saídas, como as criadas por um sistema de produção em massa tradicional, contribuindo simultaneamente para um aumento de variedades para o cliente final (WOMACK; JONES, 1996);
- A produção *Lean* utiliza de forma ótima as competências do trabalho, dando aos trabalhadores mais de uma tarefa, integração o trabalho direto e indireto e incentivando atividades de melhoria contínua. Como resultado, a produção enxuta é capaz de fabricar uma maior variedade de produtos, a custos baixos e qualidade elevada, com menor recurso em comparação com produção em massa (DANKBAAR, 1997);
- *Lean* significa desenvolver um fluxo de valor para eliminar desperdícios e garantir melhores níveis de entrega (NAYLOR; NAIM; BERRY, 1999);
- *Lean* é uma filosofia que visa reduzir significativamente o custo e o tempo de ciclo ao longo de toda a cadeia (COMM; MATHAISEL, 2000);
- *Lean* é uma filosofia de fabricação que encurta o *Lead Time* entre a encomenda de um cliente e a expedição dos produtos e eliminação de desperdícios, reduzindo custos, tempos de ciclo desnecessários, atividades que não agregam valor (ALUKAL, 2003);
- A produção enxuta pode ser definida como um modelo de produção integrada alternativa, pois combina ferramentas distintas, métodos e estratégias no desenvolvimento de produtos, gestão de suprimentos e gestão de operações (WOMACK; JONES, 2004);

- Pode ser definida como um conjunto inter-relacionado de políticas tecnológicas, organizacionais e de recursos humanos que, quando implementadas em conjunto, compõem um novo sistema de trabalho (WOMACK; JONES, 2004).
- *Lean* é uma prática com o objetivo de gerar um sistema que seja eficiente, bem organizado, dedicado a melhoria contínua e eliminação de todas as formas de desperdícios (SIMPSON; POWER, 2005);
- *Lean Manufacturing* é um programa destinado principalmente a aumentar a eficiência das operações (HALLGREN; OLHAGER, 2009);
- A produção *Lean* é evidenciada como um modelo onde as pessoas assumem um papel de pensadores e seu envolvimento promove a melhoria contínua e dá para a empresa a agilidade necessária para enfrentar as mudanças do mercado (PUTNIK et al., 2012).

Segundo Ohno (1997), para se alcançar a eliminação total dos desperdícios por meio da produção enxuta, é preciso uma boa implantação de dois pilares de sustentação, a saber:

- *Jidoka*: também conhecido como autonomação, a qual significa em sua essência não permitir a propagação de erros e defeitos. Princípio pelo qual uma máquina automática é capaz de interromper seu processo sempre que ocorrer qualquer anomalia e;
- *Just-In-Time* (JIT): meio através do qual as partes necessárias só chegam a seu ponto de uso apenas na quantidade necessária e no tempo necessário, possibilitando trabalhar com um inventário bem próximo de zero.

Esses dois pilares de sustentação da produção enxuta são compostos por diversas técnicas e ferramentas de apoio, como a 5S, *poka yoke*, células de manufatura, *heijunka*, *kanban*, trabalho padronizado, *value stream mapping*, troca rápida de ferramentas, gestão à vista e *kaizen*. TPS é um sistema baseado em uma estrutura e não somente em um conjunto de técnicas. Sendo assim, Liker (2010), representou essa estrutura na forma de uma casa, conforme Figura 4.

Segundo Liker (2010), existem diferentes versões dessa representação, porém todas tratam dos mesmos princípios. Começando pelo telhado, tem-se as metas de melhor qualidade, menor custo e menor *Lead Time* (tempo de atravessamento, é o período entre o início e o fim de uma atividade). As colunas externas são: *Just-In-Time* e *Jidoka*. No centro do sistema tem-se as pessoas, responsáveis pela melhoria contínua do sistema e redução dos desperdícios. Na base, funcionando como alicerce tem-se vários processos, entre eles o nivelamento da produção tanto em volume quanto em variedade, a qual é importante tanto para manter a estabilidade do



Figura 4: Modelo Conceitual do Sistema de Produção Toyota
 Fonte: Liker (2010)

sistema quanto para manter o mínimo de estoque, grandes picos de produção de um produto podem gerar a escassez de outros, também conhecido como *heijunka*. Ainda na base, tem-se a estabilidade por meio de operações padronizadas e a gestão visual, uma poderosa ferramenta de gestão e comunicação organizacional (LIKER, 2010).

Em estudos mais recentes, a tentativa de integração do TPS com outros conceitos de gestão tem sido aprofundado. Por exemplo Cherrafi et al. (2016), propôs uma revisão e uma análise da literatura sobre um possível modelo de integração de três sistemas de gestão: *Lean Manufacturing*, *Six Sigma* e Sustentabilidade, onde foram identificados 118 artigos publicados entre 1990 e Junho de 2015, permitindo identificar as lacunas que existem visando a construção de um modelo integrado e orientações para futuras pesquisa. As lacunas identificadas foram: necessidade de desenvolver indicadores para medição de desempenho *Lean Manufacturing*, *Six Sigma* e Sustentabilidade e necessidade de um *framework* integrado aplicável a indústria.

Chiarini (2014), acredita que a manufatura enxuta compõe-se de um conjunto de ferramentas que auxiliam na eliminação de operações que não agregam valor aos produtos, serviços e processos, aumentando o valor de cada atividade realizada e removendo o que não é

necessário. Entretanto toda melhora e redução de desperdício no processo sempre leva em consideração o respeito ao trabalhador, intensificando discussão nas aplicações práticas destas ferramentas e como elas podem ser sustentáveis (SCHMIDT et al., 2018). Marodin e Saurin (2015), complementam que a produção *Lean* tem sido cada vez mais adotada por empresas de diversos setores, países e propõem classificar os riscos que afetam a implementação da produção enxuta. A pesquisa foi realizada com 57 participantes de 39 empresas do Sul do Brasil, classificados em três grupos, sendo: gestão do processo de implementação da produção enxuta, apoio da alta e média administração e envolvimento no chão de fábrica. Os autores oportunizaram com novas frentes para pesquisas, tais como: desenvolver métodos de treinamento para todos os níveis hierárquicos, enfatizando o desenvolvimento de habilidades; desenvolver um *framework* de gestão de riscos, que esteja integrado com o negócio a uma mais extensa revisão da literatura sobre os novos riscos que afetam a implementação da produção enxuta combinada com novas tecnologias.

Samuel, Found e Williams (2015), fazem uma abordagem crítica sobre o crescimento e a disseminação de *Lean*, por meio acadêmico e empresarial ao longo de 25 anos, desde o lançamento do livro *A Máquina que Mudou o Mundo*. A partir de uma revisão sistemática da literatura em mais de 4130 publicações sobre *Lean Manufacturing* no período de 1988 - 2013. As publicações de *Lean Manufacturing* no período de 1987 a 1995 foram dominadas pela cadeia de suprimentos automotiva, a partir de 1995, as publicações emergiram sobre as indústrias eletrônicas, seguidas de varejo, construção, serviços financeiros e saúde. Desde 2000, o corpo de literatura em todos os setores aumentou substancialmente e se espalhou para outras organizações do setor público e em publicações mais recentes em inovação e novos produtos/serviços.

Também foram identificados por Samuel, Found e Williams (2015), quatro temas principais: *Lean* como uma representação TPS que destacou suas origens e antecedentes; *Lean* como uma metodologia de melhoria contínua que destacou a necessidade de comparar com outras metodologias de melhoria de processos; *Lean* como um movimento que destacou a características de evolução enxuta ao longo do tempo; *Lean* como órgão acadêmico da literatura que destacou a diversidade de perspectiva e de opinião que o *Lean Manufacturing* tem inspirado. Estes temas se relacionam com regularidades observadas, o que contribuiu para o surgimento e estabelecimento de um paradigma de melhoria da gestão que difundiu a partir da fabricação de automóveis a todas as indústrias em todos os setores ao redor do mundo. *Lean Manufacturing* continua a evoluir em nossa gestão estratégica e operacional. Futuras pesquisas tem dois papéis a desempenhar. continuar a avaliar e relatar a evolução do *Lean*; proporcionar um melhor entendimento dos ganhos melhorando e adaptando diversas metodologias de melhoria,

tais como o *Lean Manufacturing*, *Six Sigma* e etc.

Por outro lado, também existem as críticas quanto a produção enxuta, a qual enfatiza a utilização eficaz dos recursos humanos para evitar o excesso de trabalho, o que pode levar a um número maior de trabalhadores realizando uma variedade mais ampla de tarefas. Esse aspecto foi criticado como "enxuto e cruel", pois sujeita a força de trabalho a um nível excessivo de pressão e tensão (LANSBURY; SUH; KWON, 2016). Também existe uma ideia de que a produção enxuta é simplesmente um sistema de produção acelerado, representado como nova ideia para controlar os trabalhadores de forma mais sutil, fortalecer o papel da gerência e enfraquecer os sindicatos (BABSON, 1993). Durante os últimos anos, a aplicação de *Lean Manufacturing* em diferentes tipos de indústrias está crescendo rapidamente. Algumas das organizações têm relatado enormes benefícios, enquanto muitas indústrias não obtiveram os resultados desejados (BHAMU; SINGH SANGWAN, 2014). Uma das razões para isso é a compreensão inadequada de *Lean Manufacturing* tanto pela administração quanto pela operação (ANAND; KODALI, 2009a). Nenhum dos modelos de *Lean Manufacturing* fornecem um guia passo a passo ou um processo para implementação. Embora existam sequências em que os princípios *Lean* são implementados (WOMACK; JONES, 2004) e (ANAND; KODALI, 2009a).

Dabhilkar e Åhlström (2013), destacam a importância da criação de um modelo híbrido de produção, considerando verdades do *Lean Manufacturing* (LM) e do *Sistema Técnico-Social* (STS). Os autores em sua pesquisa destacam alguns efeitos negativos do *Lean*, como: não há evidência de que a produção capacita os trabalhadores; a produção enxuta cria um ritmo de trabalho e aumento da demanda, enquanto aumentos na autoridade de decisão e níveis de habilidade não acompanham este aumento; argumentam, também, que a produção enxuta não é inerentemente estressante e os níveis de estresse são significativamente relacionadas com as decisões de gestão na concepção e produção; com base na teoria de STS, críticos argumentaram que era possível desenvolver formas alternativas de organização do trabalho que combinavam eficiência e bem-estar dos trabalhadores.

A criação de um sistema global superior requer mais do que a simples introdução de elementos de um sistema para o outro. Existem estudos de caso que apontam no sentido de uma convergência entre STS e LM, por exemplo, estudos de caso Ellegard (1995); Engström, Blomquist e Holmström (2004); Jonsson, Medbo e Engström (2004); Oudhuis (2004) mostram como a Volvo adotou LM, sem abandonar os princípios de concepção sociotécnica, em automóveis e caminhões. Dabhilkar e Åhlström (2013), também comentam sobre estudos que apoiam, a convergência entre STS e LM. Assim, embora haja evidências a favor de uma convergência entre STS e LM, esta evidência ainda é bastante inicial e a literatura é escassa de

modelos empiricamente testados que explicam como e porque STS e LM convergem.

2.2.3 Sistema de Produção Volvo

Afim de produzir os melhores produtos do mercado, a Volvo busca constantemente redução dos custos, melhoria da qualidade e redução dos prazos de entrega. Também a impulsionar a melhoria contínua por meio do *Volvo Production System* (VPS), que é usado em todos os processos da organização, incluindo produção, desenvolvimento de produtos e administrativo. VPS usa métodos que simplificam as operações e minimizam as perdas de produtividade (VOLVO, 2016).

O modelo VPS, lançado oficialmente em 2007 e constantemente melhorado é mostrado na Figura 5. VPS fornece princípios, ferramentas e diretrizes para como toda a rede global de produção da Volvo, que deve trabalhar visando a busca pela excelência operacional. O objetivo geral da implementação e sustentação do VPS é alcançar desempenho em seis prioridades competitivas definidas mundialmente, (abreviado para SQDCEP, sendo: S: *security* (segurança); Q: *quality* (qualidade); D: *delivery* (entrega); C: *cost* (custo); E: *environment* (meio ambiente); P: *people* (pessoas), (NETLAND; ASPELUND, 2013).

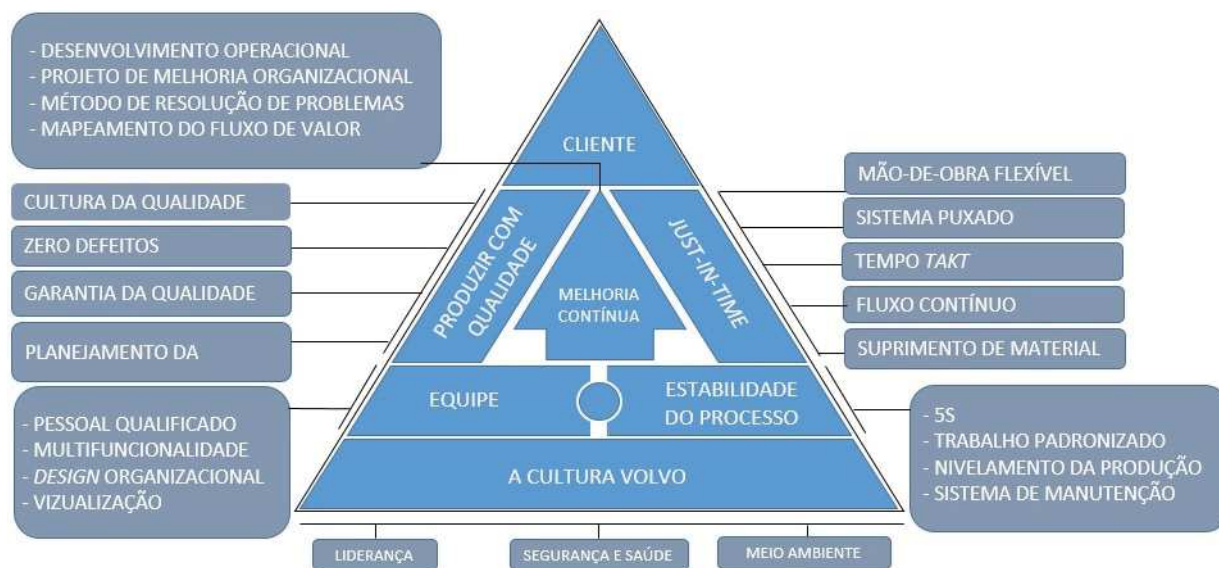


Figura 5: Modelo Conceitual do Sistema de Produção Volvo

Fonte: Adaptado de VOLVO (2016)

VPS consiste em cinco princípios principais: i. trabalho em equipe; ii. estabilidade do processo; iii. qualidade interna - *Built-in-Quality* (BIQ); iv. melhoria contínua, e; v. *Just-in-Time*. Na base estão os valores corporativos, e a orientação inerente ao cliente é representada

no topo do pirâmide. No total, o VPS compreende 24 módulos, que incluem uma variedade de ferramentas e técnicas (NETLAND; SANCHEZ, 2014). É um esforço sem fim para melhoria contínua que constantemente se reinventa, em 2016 um novo VPS, foi implementado para compreender ainda mais os potenciais de melhorias. Esse novo sistema é uma evolução dos anteriores, foi projetado para ser ainda mais flexível permitindo uma melhor adaptação a qualquer tipo de ambiente de trabalho, como: vendas, desenvolvimento de produtos e demais áreas administrativas. Um bom exemplo de resultado foi melhoria na pontualidade da linha de montagem da Fábrica em *Bourg-en-Bresse*, na França, onde as razões para a diferença entre a produção e processo de entrega foram identificados e melhorados por meio de um plano de ação. A planta melhorou seu desempenho de pontualidade de 80% para 95% (VOLVO, 2016).

Porém essa história iniciou muito antes de 2007, com o Volvismo (como também era conhecido), que trata de uma concepção de montagem de automóveis iniciada pela Volvo na década de 1970, com base em uma linha sócio-técnica a qual leva em consideração fatores humanos na produção, havendo uma preocupação deliberada com a satisfação dos trabalhadores. A implantação do modelo socio-técnico ou técnico-socio da Volvo, surge devido a problemas do modelo taylorista (GRAÇA, 2002). As relações de trabalho foram sempre marcadas por conflitos, os sindicatos só conseguiram atuar nas fábricas de automóveis com o *New Deal*, de *Roosevelt*, em 1930. Na Ford, apenas em 1941. No período pós Segunda Guerra Mundial, a taxa de incidência de micro traumatismos aumenta e há pressões por parte dos sindicatos e da opinião pública para que a indústria automobilística elimine o trabalho repetitivo e monótono ou, pelo menos, humanize a condição dos operadores de linha de montagem (GRAÇA, 2002).

Também é conhecido como Sistema de Produção Reflexivo. Iniciado na planta da Volvo *Uddevalla*, a qual representa um conceito de produção que, em vez de focar sobre tecnologia e produção, diz respeito principalmente ao ser humano dentro da produção (GRAÇA, 2002). *Uddevalla* foi ampliada e melhorado os conceitos de produção, onde a organização do trabalho baseava-se em grupos auto dirigidos, sem hierarquias profissionais ou organizacionais, não existindo as tradicionais chefias diretas e com os próprios membros do grupo fazendo a gestão da qualidade, dos custos, da manutenção e etc. Havia rodízio de tarefas todos os meses, com objetivo de fazer com que, ao final de dezesseis meses, o operário soubesse montar um carro completo. Os grupos participavam nas tarefas de recrutamento, seleção e formação de pessoal. O líder de cada grupo era eleito pelos seus pares, ou seja, não era nomeado pela direção da fábrica (GRAÇA, 2002).

No projeto da fábrica de *Uddevalla*, a Volvo combinou aspectos de produção manual com alto grau de automação, o que permitiu imensa flexibilidade tanto de produto como de processo, além de possibilitar uma redução da intensidade de capital. Também foi concebida e

construída considerando as pessoas: ruído baixo, ergonomia presente nas operações e ar respirável. A organização do trabalho em grupos e operários transformados de montadores de partes em construtores de veículos. Assim, cada grupo conseguia montar um carro completo num ciclo de duas horas (GRAÇA, 2002).

O sistema de produção Volvo também é caracterizado em uma organização do tipo cérebro, que possui consciência ou capacidade crítica-analítica bastante desenvolvida em relação a sua existência e aos fatores relacionados, o homem possui poder de voto, é sujeito ativo no processo de produção a partir do momento que tem voz sobre as decisões de seu grupo e é polivalente em várias funções, o homem reflexivo é informado, possui bom nível de educação e tem alto poder de aprendizado, resultando em crescimento individual. O objetivo é dar à organização o máximo de flexibilidade e capacidade de inovação, dando possibilidade de sustentabilidade da sonhada e não impossível organização (WOOD JR, 1992).

Wallace (2004), em um estudo realizado na fábrica da Volvo do Brasil analisa a utilização de técnicas de produção enxuta situadas no contexto do desenvolvimento de uma estratégia de produção global dentro da *Volvo Truck Company*. Procurando compreender a natureza da relação entre as formas de trabalho em equipe e a produção enxuta que reconhece a crescente importância das organizações ligadas à inovação - no sentido de um sistema híbrido por meio da aprendizagem a partir das melhores práticas de outras organizações, avaliando até que ponto pode-se reivindicar a presença de um novo paradigma de produção. Mostraram que em termos de hibridização e inovação, existem uma série de melhores práticas de resposta ao processo de integração global. Nos principais fabricantes de veículos comerciais, como Mercedes, Scania, Volkswagen, Paccar e Iveco, uma série diversificada de respostas para a crescente globalização de suas redes de produção e distribuição. Com uma gama tão diversificada de *inputs* contingentes como a modularização (Volkswagen e Hyundai); montagem modular (Scania); trabalho baseado em células (Volvo); alocação de famílias de produtos para plantas específicas (Iveco); no desenvolvimento de sistemas de produção, é difícil falar sobre um novo paradigma de produção. O que pode ser dito é um processo de que os seus concorrentes introduzem elementos aprendidos de cada um dos outros produtores com o apoio de fornecedores, institutos de pesquisa e universidades. Assim sendo argumenta-se que é mais exato falar sobre o desenvolvimento de séries de melhores práticas que possam convergir para um único modelo. A hibridação, neste caso, está intrinsecamente ligada ao processo de inovação e aprendizado. A evidência da Volvo fornece uma base para mais trabalhos testarem se a estratégia de produção que estão sendo desenvolvidas contribuem para um novo sistema produção (WALLACE, 2004).

2.2.4 Sistema de Produção Hyundai

Devido a constantes greves e reivindicações dos funcionários e sindicatos, a Hyundai se viu obrigada a buscar novas estratégias competitivas. Desenvolveu uma abordagem tecnológica, com foco em minimizar a dependência dos trabalhadores no processo produtivo (CHUNG, 2002). Também, após uma tentativa de implementação do TPS, a Hyundai percebeu que era necessário reinterpretar e modificar o TPS de acordo com as suas próprias características de processo, o que o caracterizou como uma adoção seletiva e graduada associada a expansão da capacidade de produção e inovações orientadas pela tecnologia (LEE; JO, 2007). Nesta nova estratégia, os trabalhadores operam as linhas de produção sem envolvimento e comprometimento com o processo de melhoria, sendo vistos como custos necessários para ativar a produção e não como um ativo de conhecimento, como no TPS. As decisões sobre os processos e a produção passaram a ser tomadas de forma centralizada pelos gestores da fábrica, em conjunto com os engenheiros responsáveis (LEE; JO, 2007). O mesmo ocorre no que tange à concepção de novos produtos, técnicas de produção e melhorias contínuas. Estratégia muito mais parecida com fordista do que com TPS (CHUNG, 2002).

HPS tem despertado interesse de empresas e acadêmicos devido aos resultados obtidos (LEE; JO, 2007). Em 1993, a HMC foi classificada como a 20^a no mercado global de fabricantes (NUNES; VACCARO; ANTUNES, 2017). Em 1998, a HMC obteve a 15^a posição, com 899.000 veículos vendidos. Em 2010, a Hyundai subiu para a 4^a posição entre as maiores empresas de automóveis do mundo, que foi sustentado até 2013. O rápido crescimento alcançado pelo Hyundai levantou questões sobre como seu sistema de produção foi estabelecido para apoiar a estratégia de mercado da empresa, especialmente considerando que a HPS não é uma abordagem igual ao TPS e pouco tem sido publicado no meio acadêmico (CHUNG, 2002; NUNES; VACCARO; ANTUNES, 2017).

Conforme, Chung (2002), os princípios do Sistema de Produção Hyundai são: i. tecnologia e engenharia orientadas para a automação dos processos e ii. modularização. A abordagem orientada pela tecnologia e engenharia para a automação dos processos, com um direcionamento para à minimização da participação dos trabalhadores. Fruto dessas abordagens, o sistema de gestão da Hyundai fez maciços investimentos em automação nas décadas de 1990 e 2000 (LEE; JO, 2007). O HPS deu aos engenheiros autonomia para desenvolver novas ideias, promovendo aumento da flexibilidade nas linhas de produção, introduzindo robôs, máquinas, dispositivos e ferramentas automatizadas nas linhas de produção (CHUNG, 2002). Para Jo (2010), a orientação pela engenharia proporcionou à Hyundai um modelo inovador, a partir de uma ótica da dimensão flexibilidade, baseado nas instalações e equipamentos e não mais

atrelado à funcionalidade dos trabalhadores, como no TPS.

Outro diferencial adotado pelo HPS foi implementar o desenvolvimento de produto adotando como estratégia central a modularização no projeto do produto. Ao mesmo tempo estabeleceu uma estratégia para desenvolver procedimentos padronizados para melhorar o nível de qualidade e produzir seu próprio sistema de produção (JO, 2010). Kang (2001), postula que a modularização é a junção de diversos módulos em um processo de montagem de automóveis, através da integração de múltiplas partes ou componentes e a montagem desses componentes em um único módulo. Jo (2010), postula que a modularização é um método de produção em que peças são montadas em subconjuntos intercambiáveis a serem fornecidos para a linha de montagem final. Para Chung (2002), as vantagens da modularização incluem aliviar a linha de montagem de operações complexas e repassar o custo da operação do trabalho para o fornecedor dos módulos, tornando, assim, a montadora mais rentável. Cabe destacar que a maioria dos fornecedores coreanos se caracterizam por serem de pequeno e médio porte sendo que, de forma geral, tem baixa capacidade de P&D (Pesquisa e Desenvolvimento). Sendo assim, naquele contexto, a modularização tendia a contribuir para equacionar o tema da baixa capacidade de engenharia dos fornecedores (CHUNG, 2002).

A estratégia modular é mais do que a modularidade, tem-se também a tercerização. Esse é um dos principais motivos de mudanças na cadeia de abastecimento. Por exemplo, o papel ativo dos fornecedores de módulos, a importância da logística e da criação de novos arranjos produtivos (GRAZIADIO; ZILBOVICIUS, 2003). A estratégia, quando implementada pelas montadoras, reorganiza a produção de veículos a partir da redistribuição de valor na cadeia de abastecimento. Especificamente, trata-se da divisão do veículo em módulos, no intuito de reduzir os custos de produção (para a montadora); transfere a responsabilidade de parte do projeto e, principalmente, do processo para alguns fornecedores; e estabelece um novo arranjo industrial (GRAZIADIO; ZILBOVICIUS, 2003). Com a inserção da modularização no desenvolvimento de produtos, foi possível implantar a produção modular, abrangendo também a cadeia de suprimentos (JO, 2010). A modularização estimulou o método sincronizado *Just In Sequence* (JIS) de entrega. Ao invés do *kanban* (JIT), o JIS opera a partir do *Material Requirement Planning* (MRP) em uma tradução livre (Planejamento das Necessidades de Materiais), onde é gerada na Hyundai uma necessidade para o atendimento da demanda semanal de trabalho, distribuída em sequenciamentos diários e esta demanda é enviada aos fornecedores por meio de uma rede de comunicação (CHUNG, 2002; NUNES; MENEZES, 2015).

O processo JIS faz com que os fornecedores entregam as peças ou módulos na sequência exata de montagem antes da utilização destes na montagem do veículo a partir de um sincronização estabelecida pelo MRP com os fornecedores, garantindo para a Hyundai níveis de

estoques reduzidos (MACDUFFIE, 2013; NUNES; MENEZES, 2015). Por meio do estudo de Nunes (2015), foi possível identificar a estrutura do Sistema de Produção Hyundai, na forma de uma casa, Figura 6.

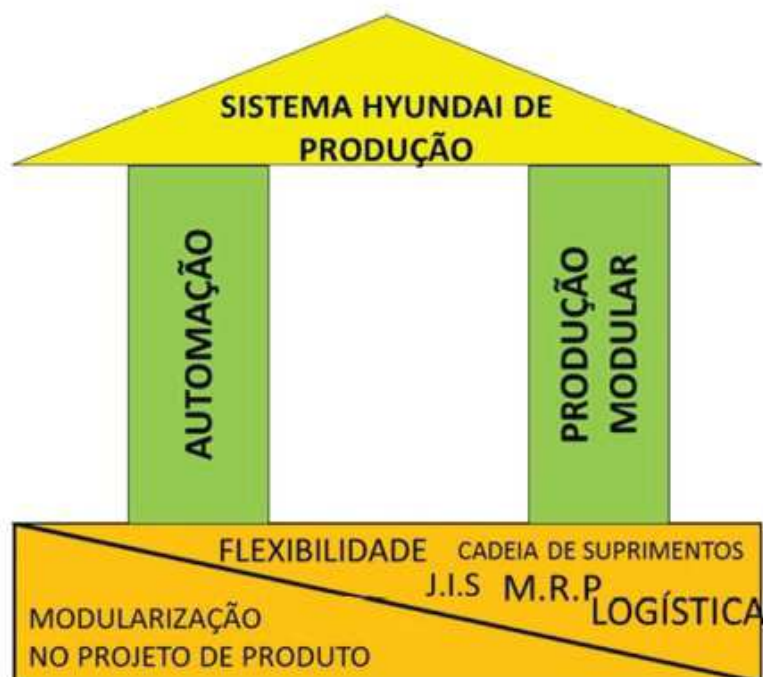


Figura 6: Modelo Conceitual do Sistema de Produção Hyundai
Fonte: Nunes (2015)

Após apresentação do modelo conceitual do sistema de produção Hyundai, observa-se a seguir o detalhamento dos principais elementos:

- Modularização no projeto do produto: fez com que a empresa realizasse a decomposição de seus componentes e produtos em módulos, para que estes pudessem ser desenvolvidos de forma independente, inclusive em conjunto com seus fornecedores (desenvolvimento integrado), com o intuito de gerar maior flexibilidade tanto no produto, como no abastecimento destes nas linhas de montagem da empresa, bem como melhorar a utilização da automação implantada nestas linhas;
- MRP: a instalação desse sistema visou a planejar a necessidade de materiais a serem abastecidos pelos fornecedores na linha de montagem. O MRP também foi um dos marcos na Hyundai em relação à volta da adoção da “produção empurrada”;
- JIS: fez com que esses materiais planejados de forma antecipada pela empresa fossem abastecidos pelos seus fornecedores nas linhas de montagem, para atenderem à demanda

variável do mercado, fazendo com que a empresa reduzisse seus estoques e pudesse se adaptar à flexibilidade de volume, mercado e produto impostos pelos clientes;

- Logística: para garantir o abastecimento dos módulos e componentes junto à sua produção, a Hyundai necessitou desenvolver sua operação logística. Essa operação, a partir da utilização de *i. milk-run*: originado na indústria de laticínios, descreve uma situação em que um veículo distribui ou recolhe mercadorias de um número de fornecedores ou clientes, realizando sua movimentação em direção a esses de acordo com uma rota pré-definida e *ii. cross-docking*: realização da transferência das cargas recebidas diretamente para a produção, sem a necessidade de mantê-las em estoque. Ambas mostraram-se fundamentais para garantia do abastecimento;
- Gestão da cadeia de suprimentos: integrar todos os processos e informações ligadas ao abastecimento das linhas de montagem, fez-se necessário que a Hyundai realizasse a gestão de seus fornecedores em relação aos materiais, às sequências necessárias para o atendimento da demanda e também à maneira como esses materiais iriam se movimentar desde os fornecedores até a sua operação fabril, mantendo fornecedor com proximidade geográfica da HMC. Considerado também como um diferencial de negócio, a Hyundai prioriza o desenvolvimento de fornecedores para o atendimento a uma produção modular.

Os dois pilares de sustentação da produção Hyundai são compostos por Automação e Produção Modular. Automação, inicialmente focado em eliminar os possíveis erros e falhas humanas nas operações fabris, ganhou proporções significativas após a implantação da modularização de projeto de produto e da produção modular. A Automação foi utilizado para diminuir a dependência da força de trabalho em seu sistema produtivo (NUNES, 2015). Produção Modular, embasado principalmente pela gestão da cadeia de suprimentos da empresa e pela modularização no projeto de produtos, fez com que a Hyundai utilizasse seus fornecedores não somente para o abastecimento das linhas, mas também como parceiros no desenvolvimento de produtos e projetos (NUNES, 2015).

2.3 Elementos que Caracterizam a Indústria 4.0

A primeira revolução industrial, iniciada na Inglaterra que ocorreu aproximadamente entre 1760 e 1840, provocada pela construção das ferrovias e com a chegada das máquinas a vapor, dando início à produção mecânica. Passando pela segunda revolução, iniciada no final do século XIX, entrando no século XX, introduziu a eletricidade, siderurgia, petroquímica,

novos processos nas linhas de produção (exemplo: fordismo na indústria automobilística), os conceitos de empresa internacional e de produção em massa. Já a terceira revolução, começou na década de 1960, chamada de revolução digital, pois foi impulsionada pelo desenvolvimento dos semicondutores e da internet, ganhando destaque pelo uso da eletrônica, robótica, telecomunicações, além da globalização e expansão do capitalismo financeiro, tornaram os processos de fabricação complexos, automáticos e sustentáveis, o que significa que as pessoas podem operar máquinas de forma simples e com mais eficiência (WAHLSTER, 2012; QIN; LIU; GROSVENOR, 2016; COAN, 2016; SCHWAB, 2017).

Nesse momento a indústria atingiu o pico da produção em série seriada e padronizada, com o crescimento da internet, mídias sociais, e facilidades de interação, surgiu uma busca por produtos de valores agregados, customizados e baseados na experiência de uso, trazendo consumidores que desejam mais do que algo além do padrão, e buscam por facilidades no atendimento, no recebimento e na manutenção. Aliado à explosão dos custos de produção e de logística, a indústria buscou por novos processos, que viessem de encontro e trouxessem simplificação, e a capacitação de atender demanda customizada e baseada na experiência do usuário (WAHLSTER, 2012; COAN, 2016). As tecnologias digitais, fundamentadas no computador, *software* e redes, não são novas, mas estão causando ruptura à terceira revolução industrial; estão se tornando mais sofisticadas e integradas e, conseqüentemente, transformando a sociedade e a economia global (SCHWAB, 2017). Caracterizadas pelo fato de que o custo dos novos recursos envolvidos decresceu de maneira brutal ao longo do tempo, possibilitando sobretudo sua ampla aplicação na economia. Como exemplo concreto da diminuição do custo tecnológico digital, pode-se citar que na década de 80 o custo do *gigabyte* era de US\$ 100.000,00, ao passo que hoje custa menos de US\$ 0,10. Isto abriu uma porta de novas possibilidades no campo da competitividade das empresas a partir do desenvolvimento de novos recursos tecnológicos (JASKULSKI, 2018).

Um novo conceito, chamado de Indústria 4.0, foi introduzido pela Alemanha durante a feira de *Hannover* evento ocorrido em 2011, que simbolizou e formalizou o início da 4ª Revolução Industrial (LEE, 2013; KAGERMANN et al., 2013; XU; XU; LI, 2018). A Indústria 4.0 representa o próximo passo na produção industrial, com o objetivo de atender às necessidades dos clientes, por isso, afeta todas as áreas das organizações, gestão, P&D, manufatura, compras, entregas até a utilização e reciclagem dos bens produzidos. O fundamento para novas oportunidades é a disponibilidade de informações relevantes em tempo real, para possibilitar isso, todos os recursos envolvidos, sendo pessoas, objetos e sistemas devem ser integrados dinamicamente, organizados em tempo real e otimizados de forma autônoma, adicionando valor ao sistema. O termo Indústria 4.0 foi criado para enfatizar as enormes oportunidades de

virtualização e integração de sistemas (NEUGEBAUER et al., 2016).

Os sistemas de produção foram desenvolvidos primeiro a partir da produção industrial clássica no início do século XX, depois disso, para a produção enxuta em meados do século XX e, em seguida, para a produção adaptável (RAUCH, 2013). E atualmente, a produção digital tem participado ativamente nos sistemas de produção (WESTKÄMPER et al., 2013; LONG; ZEILER; BERTSCHE, 2016). Uma tendência muito recente e importante para combinar e ligar sistemas de produção com virtualização, afim de alcançar uma produção mais eficiente (KAGERMANN et al., 2013; LONG; ZEILER; BERTSCHE, 2016). Por esta razão, os sistemas de produção na Indústria 4.0 têm características especiais, que trazem novos desafios e exigências para modelagem e análises. Para obter resultados reais, a modelagem deve ser capaz de considerar as características especiais dos sistemas de produção na Indústria 4.0 (KAGERMANN et al., 2013; WESTKÄMPER et al., 2013; LONG; ZEILER; BERTSCHE, 2016).

Desde a primeira publicação sobre Indústria 4.0, muitas organizações europeias, universidades e empresas de manufatura trabalham nesse tema, o qual enfatiza que a fabricação consistirá em troca de informações, máquinas controladas e unidades de produção atuando de forma autônoma e inteligente em interoperabilidade (QIN; LIU; GROSVENOR, 2016). No mesmo estudo os autores destacaram quatro aspectos, considerando o futuro da manufatura:

- **Fábrica:** a fábrica do futuro vai envolver uma nova integração, onde não só os recursos de fabricação (sensores, atuadores, máquinas, robôs, transportadores, etc) estarão conectados e trocarão informações automaticamente, mas também a fábrica tornar-se-á consciente e inteligente o suficiente para prever e manter as máquinas em funcionamento para controlar a produção processar e gerenciar o sistema de fabricação. Além do que, muitos processos de fabricação, tais como projeto do produto, planejamento de produção, engenharia de produção e produção, serão simulados em módulos e, em seguida, conectados de ponta a ponta;
- **Negócios:** implica uma comunicação completa em rede entre várias empresas, fábricas, fornecedores, logística, recursos, clientes, etc. Cada seção otimiza a sua configuração em tempo real, dependendo da demanda e status das seções associadas na rede. Além disso, os custos e poluição, matérias-primas, emissões de CO₂, serão reduzidos;
- **Produtos:** serão incorporados com sensores, componentes identificáveis e processadores que trabalham a informação para transmitir conhecimento para os clientes e *feedback* do uso para o próprio sistema de manufatura;

- Clientes: uma flexibilidade maior será fornecida aos clientes, os quais poderão comprar seus produtos de forma mais rápida e alterar a configuração dos mesmos antes de recebê-los, sem custo adicional.

Gilchrist (2016), contribuem que a Indústria 4.0 possui nove tendências tecnológicas identificadas que dizem ser prioridade na formação da produção industrial, sendo:

1. *Big data analytics*: análise de dados que ajudam a otimizar a produção, reduzir o consumo de energia e melhorar a eficiência no processo;
2. Simulação: engenheiros de processo testam e otimizam os processo, diminuindo os custos e tempos de produção, sem afetar os processos físicos antes da condição ideal;
3. Robôs autônomos: o uso de robôs no processo de fabricação não é novo, contudo eles também estão sujeitos a melhorias e evolução, podendo ser mais flexíveis e colaborativos;
4. Realidade aumentada: proporciona a exibição de imagens virtuais no ambiente real, reduzindo simultaneamente os custos e melhorando a informação;
5. Manufatura aditiva: produção de peças por meio de impressoras 3D, sendo possível fabricar rapidamente protótipos com geometrias complexas;
6. Internet das coisas: é possível conectar máquinas por sensores e dispositivos a uma rede de computadores, agindo de modo inteligente e sensorial;
7. *Cybersegurança*: segurança da informação, sendo cada vez mais confiável;
8. Computação nas nuvens: banco de dados criado, capaz de ser acessado de qualquer lugar por meio de dispositivos conectados à internet;
9. Sistemas integrados: ter sistemas totalmente integrados tem o objetivo de criar um cenário onde diversas áreas estão conectadas por meio da virtualização dos dados.

A Confederação Nacional da Indústria (CNI), concluiu a primeira pesquisa sobre a Indústria 4.0 no Brasil, o estudo foi realizado com 2225 empresas, sendo 910 pequenas, 815 médias e 500 grandes (destas 29 do setores da indústria de transformação e extrativa, no período de janeiro de 2016). Foi possível revelar que o conhecimento da indústria brasileira sobre tecnologias digitais e a sua incorporação à produção, pré-condições para o avanço da Indústria 4.0,

ainda é pouco difundido: 42% das empresas desconhecem a importância das tecnologias digitais para a competitividade da indústria e mais da metade delas (52%) não utilizam nenhuma tecnologia digital de uma lista com dez tipos. O desconhecimento é significativamente maior entre as pequenas empresas (57%). Entre as grandes empresas, o percentual que não identificou alguma das 10 tecnologias digitais apresentadas como importante para a competitividade cai para 32% (CNI, 2016). Pode-se destacar que as dez tecnologias digitais apontadas pela CNI (2016), também vão de encontro com as apresentadas por Gilchrist (2016), sendo:

- i. automação digital sem sensores;
- ii. automação digital com sensores para controle de processo;
- iii. monitoramento e controle remoto da produção com sistemas do tipo *Manufacturing Execution Systems* (MES) e *Supervisory Control and Data Acquisition* (SCADA);
- iv. automação digital com sensores com identificação de produtos e condições operacionais - linhas flexíveis;
- v. sistemas integrados de engenharia para desenvolvimento de produtos e manufatura;
- vi. manufatura aditiva, prototipagem rápida ou impressora 3D (conseguem imprimir qualquer tipo de objeto utilizando a tecnologia de impressão tridimensional);
- vii. simulações/análise de modelos virtuais - virtualização;
- viii. coleta, processamento e análise de grandes quantidades de dados (*big data*);
- ix. utilização de serviços em nuvem associados ao produto (*cloud*);
- x. Incorporação de serviços digitais (*internet das coisas ou product service systems*).

A maior parte dos esforços feitos pela indústria de máquinas e equipamentos no Brasil está na fase dos processos industriais. De acordo com a pesquisa CNI (2016), 73% das empresas disseram usar, ao menos, uma tecnologia digital nesses processos, 47% afirmaram que utilizam no estágio de desenvolvimento da cadeia produtiva e somente 33% das entrevistadas adotam em novos produtos ou negócios (CNI, 2016). A pesquisa mostra o desafio que está colocado para o Brasil, visto que é preciso aproximar especialistas e indústria para aumentar o uso destas tecnologias, contribuindo para o aumento da produtividade nacional. No médio e longo prazo, a incorporação das novas tecnologias em uma estratégia para o desenvolvimento da indústria brasileira será essencial para a competitividade do Brasil e para melhorar a sua participação nas cadeias globais de valor (CNI, 2016).

Como descrito anteriormente, em alguns países (em destaque: Alemanha, Estados Unidos, China, Japão e Coreia do Sul) a Indústria 4.0 já começa a se tornar realidade, inclusive com o apoio dos governos das principais potências econômicas, que a têm colocado no centro de suas estratégias de política industrial. Para o Brasil este desafio é ainda maior, além de buscar a incorporação e o desenvolvimento dessas tecnológicas, também necessita fazê-lo com relativa

agilidade para evitar que o *gap* de produtividade entre o Brasil e alguns de seus principais competidores aumente. Diferentemente dos outros países no Brasil a difusão das tecnologias digitais não atingirá todos os setores da mesma forma e ao mesmo tempo, ganhará destaque quem iniciar antes esta longa jornada (CNI, 2016).

Romberg (2015) realizou um estudo transnacional em 329 empresas industriais da Alemanha, Suíça e China para avaliar qual país obteve o maior progresso na implementação de Indústria 4.0. O resultado da pesquisa apontou que a Alemanha é a nação líder mundial no desenvolvimento de uma indústria digitalizada e em rede, seguida pelos Estados Unidos da América (EUA) e Japão. A China ocupa a sexta posição na "comparação da indústria internacional 4.0", à frente da Rússia e do Brasil (destacado em laranja) e atrás da França, conforme mostrado na Figura 7.



Figura 7: *Ranking* do Progresso na Implementação da Indústria 4.0
Fonte: Adaptado de Romberg (2015)

Romberg (2015) reforçam que a China lançou um programa chamado "*Made in China 2025*", similar a Indústria 4.0 na Alemanha e Manufatura Avançada nos EUA e que no longo prazo tem como objetivo avançar mundialmente no que tange a tecnologias digitais. Isto é atestado não apenas pelo plano de 10 anos "*Made in China 2025*", mas também pelo fato de estar a frente dos EUA e da Alemanha, no que diz respeito às tecnologias de habilitação da Indústria 4.0, com mais de 2500 registros de patentes arquivados em comparação com 1065 dos EUA e 441 da Alemanha (FISCHER, 2015).

Na Alemanha (lançado em 2013 - “*Recommendations for implementing the strategic initiative Industrie 4.0*”), o desenvolvimento da Indústria 4.0 é tratado como prioritário para o país ampliar sua competitividade e se tornar o principal fornecedor de tecnologias de produção inteligentes, com o objetivo de acompanhar tecnologias e gerar padrões mundiais. Nos EUA (lançado em 2012 - “*Report to the President. Accelerating U.S. Advanced Manufacturing*”) está aliada às medidas de reindustrialização desenvolvidas na última década, com um plano com série de medidas para o desenvolvimento das tecnologias associadas a esse modo de produção. Na China, o 12º *Plano Quinquenal - "Made in China 2025"* apresenta a Indústria 4.0 como um dos sete temas emergentes apoiados pelo governo, estabelecendo cinco setores como prioritários: equipamentos modernos, automotivo, siderúrgico, petroquímico e construção naval (CNI, 2016).

No Japão, o *National Institute of Advanced Industrial Science and Technology (AIST)* criou em 2008, o *Advanced Manufacturing Research Institute (AMRI)*, que têm como objetivo a troca de conhecimento e desenvolvimento de projetos conjuntos. Na Coreia do Sul, foi criado o *Korea Advanced Manufacturing System (KAMS)*, projeto que tem como objetivo desenvolver novos processos e tecnologias para gerenciamento e integração de sistemas de manufatura. Já no Brasil, a fase é inicial, o ministério das comunicações criou no final de 2014 - a Câmara Máquina a Máquina (M2M) e Internet das Coisas, com objetivo de desenvolver o “Plano Nacional de Comunicação e Internet das Coisas”. A câmara é composta por uma gama de associações e Ministérios, dividida em diversos subgrupos, sendo um deles o de Produtividade Industrial e Indústria 4.0. Recentemente, o Ministério do Desenvolvimento, Indústria e Comércio Exterior (MDIC) e o Ministério da Ciência, Tecnologia e Inovação (MCTI) criaram o grupo de trabalho de Indústria 4.0, com a participação de diversas instituições, entre elas a CNI, com objetivo de elaborar o plano de ação para Indústria 4.0 no Brasil (CNI, 2016).

No que tange ao avanço de um sistema de produção para 4.0, o estudo de Qin, Liu e Grosvenor (2016), apresenta um *framework* categórico, que combina níveis de tecnologia com nível de engenharia, gerando uma estrutura hierárquica, com nove aplicações possíveis para Indústria 4.0. Essas nove aplicações vão de baixa inteligência e simples automação a alta inteligência e automação complexa. Os autores dividem engenharia em três níveis, que são: máquina, processo e fábrica. Os níveis de tecnologia também são divididos em três, conforme abaixo (QIN; LIU; GROSVENOR, 2016):

- Nível de controle: as tecnologias, como controle numérico computacional, controle de lógica programável, análise de probabilidade, são usadas para substituir a força de trabalho e otimizar a eficiência da produção;

- **Nível de integração:** a tecnologia *Internet of Things* (IoT) e *Cyber-Physical System* (CPS), serão aplicadas na fabricação com base nas tecnologias de nível de controle, gerando o ambiente de produção digital e em redes. Ele não apenas conecta o *hardware*, mas também constrói a comunicação entre os sistemas de controle. Os dados são coletados de sensores, máquinas e gerenciamento da manufatura. Também podem ser recebidos de fora da fábrica, como *feedback* do cliente e cadeia de suprimentos;
- **Nível de inteligência:** a manufatura usa dados ou informações obtidas a partir do nível de integração para criar o plano e tomar decisões por tecnologias inteligentes, como mineração avançada de dados e análise de volume de dados.

Combinando o nível de tecnologia com o nível de engenharia, um quadro hierárquico apresentado na Figura 8 é gerado pelos autores Qin, Liu e Grosvenor (2016), com um total de 9 aplicações de complexidade e inteligência. Das aplicações 1 a 9, o sistema de manufatura torna-se cada vez mais automatizado, flexível e inteligente.

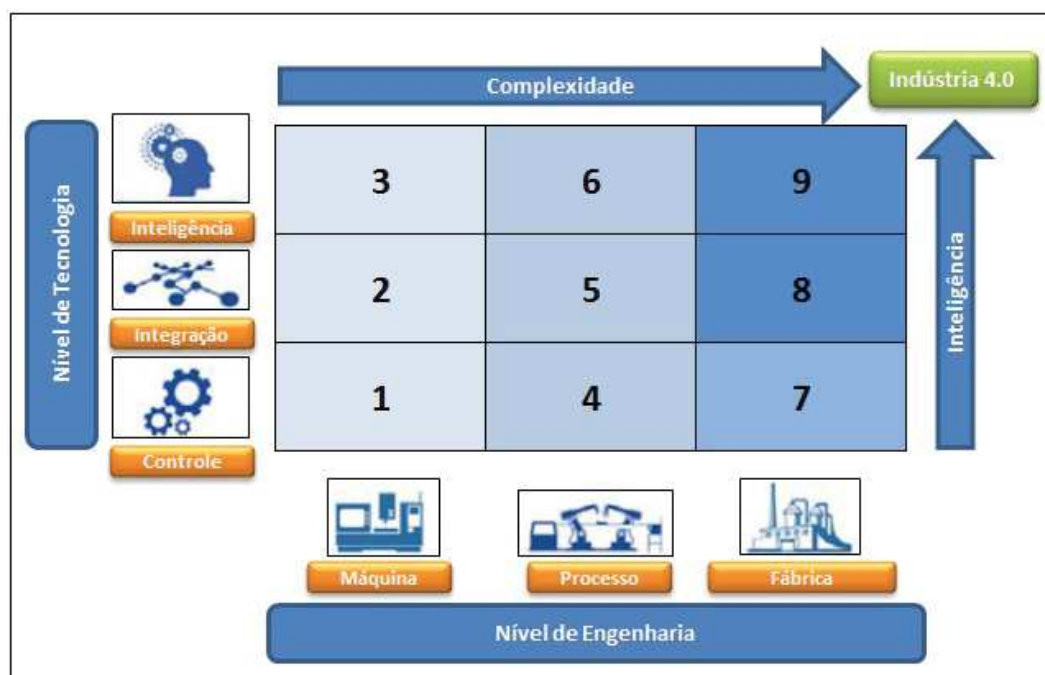


Figura 8: Framework Categórico para a Indústria 4.0
Fonte: Adaptado de Qin, Liu e Grosvenor (2016)

O *framework* é interpretado da seguinte maneira:

- nível de controle sempre será predecessora do nível de integração, para isso as aplicações 1, 4 e 7 são inferiores frente aos níveis de engenharia individualizados;

- ii. da mesma forma o nível de integração sempre será predecessora do nível de inteligência, para isso as aplicações 2, 5 e 8 são inferiores frente aos níveis de engenharia individualizados, porém superiores quando comparados com o nível de tecnologia de controle;
- iii. por fim o nível de inteligência é superior em todos os aspectos (comparado com demais níveis de tecnologia), porém quando esta inteligência é levada de máquina - processo - fábrica a complexidade aumenta, sendo a aplicação 9 considerada uma fábrica inteligente.

Além disso, as aplicações 7 e 8 também podem representar exemplos da Indústria 4.0, que são as aplicações de níveis de controle e integração em ambiente de fábrica.

Tonelli et al. (2016) destaca a importância da Indústria 4.0 que aborda as mudanças evolucionárias que vão pela fusão de informações modernas e tecnologias de *softwares* com processos industriais clássicos a impactos revolucionários que essa transformação causará nas indústrias. No entanto, é razoável suspeitar que a inserção na indústria com estas tecnologias e com seus efeitos revolucionários, levam ainda uma quantidade de tempo. Este aspecto deve ser sempre levado em consideração ao planejar os investimentos correspondentes para que a organização avance em direção a essa revolução.

2.4 Análise Crítica dos Sistemas

Dada atenção especial aos sistemas Ford, Volvo, Toyota, Hyundai e Indústria 4.0, foi possível identificar as diferenças de cada um, apresentando na Figura 9 uma análise crítica destes Sistemas.

O Fordismo ou produção em massa como também é conhecido é orientado para produtos com alta escala de produção, devido a padronização e intercambialidade dos componentes dos automóveis, porém uma das suas limitações é a falta de flexibilidade e atendimento a lotes de produção pequenos. Os veículos são montados em esteiras rolantes que se movimentavam, os operadores realizavam atividade específicas o que não requer qualificação generalista, apenas na atividade que realiza, limitando-se a tarefas rotineiras e especializadas sem envolvimento para melhoria do processo, tendo como orientação *Top-Down* - (de cima para baixo), sendo formada uma visão geral do sistema organizacional, onde cada nível é detalhado do mais alto ao mais baixo para chegar nos níveis mais básicos do elemento abordado.

Constantemente os sistemas de produção estão sendo recriados, desde a produção artesanal, passando pela produção industrial clássica no início do século XX, depois pela produção enxuta (*Lean Manufacturing*) e a produção adaptável, crescente nos últimos dez anos

Princípios	Ford	Volvo	Toyota	Hyundai	Indústria 4.0
Também é chamado	Fordismo / Massa	Volvismo / Reflexivo / Sócio-Técnico	Toyotismo / Enxuto / <i>Lean</i>	Hyundaiismo / Modularizado	Manufatura Avançada
Mecanização	Alta	Média	Média	Alta	Alta
Engenharia	Importante	Importante	Importante	Prioritária	Prioritária
Mão de obra	Especialistas	Especialistas e Generalistas	Especialistas e Generalistas	Especialistas	Especialistas
Padronização	Alta	Média	Média	Alta	Alta
Sistema de gestão	Empurrado	Puxado	Puxado	Empurrado	-
Flexibilidade	Baixa	Alta	Alta	Alta	Alta
Padrões ergonômicos	Não	Sim	Sim	Não	Sim
<i>Kaizen</i> / Melhoria	Líderes	Todos envolvidos	Todos envolvidos	Engenheiros	Especialistas
Autonomia do operador	Baixa	Alta	Média	Baixa	Baixa
Modularização do produto	Não	Não	Não	Sim	Sim
Valorização dos colaboradores	Baixa	Alta	Alta	Baixa	Média
Relação com fornecedores	Vários Fornecedores e Escolha por Custo	Longo Prazo e Sinérgico	Longo Prazo e Sinérgico	Curto Prazo e Foco na Redução de Custo	Curto Prazo e Foco na Redução de Custo
Princípios do sistema	Custo Baixo e Produção Alta	Reflexivo e Sócio-Técnico	JIT e Automação	Modularização e Engenharia Orientadas para a Automação	Fábricas e Produtos Inteligentes

Figura 9: Análise Crítica dos Sistemas

Fonte: Elaborado pelo autor

(RAUCH, 2013). Bem conhecido, TPS, proposto por Womack, Jones e Roos (1990), foi sistematicamente adotado em todo o mundo, com suas ferramentas e técnicas para apoiar na melhoria operacional. Sua difusão pode ser atribuída a seu foco na redução de desperdício, produzindo somente se houver demanda evitando estoques, utilizando *Just-In-Time* que é caracterizado por produção conforme demanda, aumentando a velocidade de entrega, reduzindo custos e melhorando a qualidade de produtos e serviços, fazendo do *Lean* uma referência em gestão de operações (SAMUEL; FOUND; WILLIAMS, 2015). A produção enxuta, como também é conhecido, favorece fortemente a melhoria contínua, pois atrela a responsabilidade

de todos os funcionários envolvidos no processo. É um sistema criticado pela exigência forte ao ritmo de trabalho imposto ao operadores, além de limitar a autonomia dos operadores frente a investimentos altos. Pode ser caracterizado também como um sistema flexível, ágil e inovador, frente ao seu dinamismo e foco na melhoria contínua. A automação e tecnologia dos processos são auxiliares, uma dinâmica oposta à rígida automação fordista decorrente da inexistência de escalas que viabilizassem a rigidez.

No entanto, nem todas as empresas fabricantes de automóveis tomaram o mesmo caminho para desenvolver seus sistemas de produção, por exemplo, a Volvo e a Hyundai (NETLAND; ASPELUND, 2013). O Volvismo ou reflexivo como também é conhecido, reforça a importância do aspecto humano do trabalho, desenvolvendo fábricas com processos ergonomicamente corretos, para favorecer o bem estar das pessoas, promover especialização de funções ao mesmo tempo em que se dissemina o conhecimento. Dos sistemas apresentados é o que mais possibilita o envolvimento dos funcionários na produção de bens manufaturados e que mais exige capacitação técnica dos operários, ao contrário do fordismo em que os produtos se movimentavam, no Volvismo o produto fica estático e os operários que se movem.

O Sistema Hyundai despertou o interesse de outras empresas e do meio acadêmico devido aos resultados significativos que foram alcançados (LEE; JO, 2007). A Hyundai se diferencia pelas características de modularização, automação, *Just in Sequence* (JIS), *Supply Chain Management* e sistemas flexíveis de manufatura (LEE; JO, 2007). Devido a razões socioeconômicas relacionadas com um contexto específico de relações laborais precárias, rígida legislação trabalhista, e acesso à tecnologia estrangeira, parecia mais provável para a *Hyundai Motor Company* (HMC) investir em máquinas, automação e soluções de engenharia flexíveis em vez de usar máquinas simples e empoderando empregados do chão de fábrica. Planejamento centralizado e as decisões de produção, assim como o JIS, parecem ter partido dessa escolha anterior como forma de gerenciar informações complexas sobre as operações da empresa (NUNES; VACCARO; ANTUNES, 2017). O Hyundaiismo, tem maior flexibilidade possibilitando a produção de alta variedade de produtos respondendo mais rapidamente às mudanças na demanda de mercado. Utiliza o MRP, para planejar todos os recursos da manufatura, como disponibilidade de matéria prima e as etapas dos processos produtivos. Diferente da Toyota que procura ao máximo manter o seu quadro de funcionários, visto que a perda dos mesmos é caracterizada como perda de experiência e conhecimento, para a Hyundai os trabalhadores possuem outro papel, justificada pela crise trabalhista dos anos 80, forçando-a buscar outras maneiras de ser produtiva e mais competitiva, eliminando funcionários por meio da automação dos processos produtivos e da modularização dos produtos.

Uma tendência muito recente e importante é combinar e conectar sistemas de produção

com tecnologias para tornar a produção altamente flexível e eficiente (KAGERMANN et al., 2013; PORTER; HEPPELMANN, 2015). A Indústria 4.0, um projeto futuro na estratégia de alta tecnologia do governo federal alemão, é uma possível abordagem para atingir esses objetivos. Esta tendência também pode ser observada em outros países e em todo o mundo (LONG; ZEILER; BERTSCHE, 2016). As abordagens mais tradicionais focam no fluxo do produto e em como os elementos de produção são organizados. As abordagens mais modernas valorizam a importância da flexibilidade na organização dos processos, beneficiando-se dos avanços das novas tecnologias para atender demandas cada vez mais individualizadas (NOF, 2013). Indústria 4.0 ou manufatura avançada, como também é conhecida destaca-se como um sistema inteligente de manufatura permitindo a automação das operações e até mesmo inclusão destas nos produtos, favorecendo a uma operação autônoma e com pouca influência humana, na análise crítica realizada esse sistema se aproxima com muita semelhança co sistema de produção Hyundai. Na próxima seção será caracterizado a Indústria 4.0, dando ênfase aos elementos que impulsionam este sistema.

2.5 Sistema de Produção e Indústria 4.0

Lean Manufacturing, que tem sido a estratégia de melhoria de processos mais popular, visa a eliminação dos desperdícios, dos gargalos de produção e produzir de forma suave e consistente. A manufatura inteligente é uma iniciativa de melhoria de processo. Entretanto, seu objetivo é virtualizar por meio da construção de conectividade para fornecer um processo melhor que também forneça bens de forma suave e consistente. Portanto, *Lean* e Indústria 4.0 são estratégias complementares de melhoria de processos que tendem a tornar possível trabalhar lado a lado nas fábricas no futuro (GILCHRIST, 2016; SONY, 2018). A definição "Indústria 4.0" pode ser um pouco confusa, alguns vão afirmam que ela veio para "tornar a indústria totalmente informatizada", outros podem dizer que é uma maneira de "fazer a produção industrial virtualizada".

No entanto, o consenso parece ser "que integra tecnologias", de qualquer maneira, é um enorme incentivo para as empresas manterem-se com o rápido ritmo das mudanças impulsionadas pela evolução de muitas tecnologias existentes. Indústria 4.0, como tantas novas tecnologias no século XXI, não é um novo conceito é mais um renascimento de conceitos que fazem uso das mais recentes invenções tecnológicas e inovações, particularmente em fusão operacional e informações e comunicação-tecnologia, para aumentar os níveis de automação e virtualização da produção, na fabricação e em processos industriais estando cada vez mais acessíveis para as empresas (GILCHRIST, 2016; LEYH; MARTIN; SCHÄFFER, 2017).

Os mesmos autores acreditam que um dos equívocos comuns sobre a Indústria 4.0 é que ela vai beneficiar apenas as indústrias. Isso não é rigorosamente verdade, sendo a fabricação o foco, mas o impacto é mais abrangente afetando não apenas os sistemas *cyber-físicos* locais e industriais, mas toda a cadeia de valor, incluindo os fornecedores, clientes e trabalhadores. Os autores ainda contribuem com três tópicos importantes para a construção de um *framework* para a indústria 4.0, Gilchrist (2016):

- i. a virtualização e integração da manufatura;
- ii. a virtualização de produtos e serviços;
- iii. introdução de modelos de negócios inovadores.

Também estimando sete benefícios de sua adaptação, Gilchrist (2016):

- i. aumento da competitividade das empresas;
- ii. aumento da produtividade;
- iii. aumento das receitas;
- iv. oportunidades de emprego diferentes;
- v. melhoria dos processos de fabricação;
- vi. desenvolvimento de tecnologias exponenciais;
- vii. entrega de melhor serviço ao cliente.

A gestão *Lean* como um tópico de aprendizagem dominou claramente o cenário nas últimas décadas. No entanto, para futuros cenários de produção no sentido de Indústria 4.0 outras competências precisam ser abordadas que permitem futuros gerentes e trabalhadores de uma fábrica para lidar com os desafios de um sistema de produção cada vez mais virtualizado (MAGUIRE, 2016). Kolberg e Zühlke (2015), fornecem exemplos de possíveis combinações de sistema de produção enxuta com Indústria 4.0, bem como apresentam um *framework* para Indústria 4.0 como suplemento à *Lean Manufacturing*, contendo recomendações de que soluções da Indústria 4.0 podem apoiar práticas do sistema de produção enxuta. Ambos, favorecem estruturas descentralizadas em máquinas grandes e complexas, e visam pequenos módulos com baixo nível de complexidade.

A integração destas soluções são consideradas exequíveis pelos autores, por meio do aumento da integração da informação, comunicação e tecnologia. Esse benefício acelera a mudança da Indústria 4.0 da ciência para a realidade, na prática, as novas soluções devem agregar mais valor aos clientes. A integração das soluções Indústria 4.0, que são em geral relacionadas com altos investimentos, é especialmente lucrativa em áreas onde os métodos simples de *Lean* estejam em constante evolução. Além disso, os processos de produção *Lean* são comparados

a outros tipos de organização mais padronizados, mais transparentes e reduzidos a trabalho essencial, como resultado, são menos complexos e oferecem suporte à instalação de soluções da Indústria 4.0. Exemplos de possíveis uso combinando a Indústria 4.0 e *Lean* é apresentado na Tabela 4 (KOLBERG; ZÜHLKE, 2015).

Tabela 4: Exemplo de Uso Combinado Entre Indústria 4.0 e *Lean*

Indústria 4.0	<i>Lean Manufacturing</i>	
	<i>Just-in-Time</i>	<i>Jidoka</i>
	<i>Kanban</i>	<i>Andon</i>
Operador Inteligente*	Empregado obtém informações sobre o tempo de ciclo restante via realidade aumentada	Sistemas de computação portáteis recebem falhas e exibem em tempo real para o funcionário
Produto Inteligente*	Produto inteligente contem a informação de <i>kanban</i> para realizar a produção	-
Máquina Inteligente*	As máquinas oferecem uma interface padronizada para receber e enviar <i>kanban</i>	As máquinas enviam falhas diretamente para operadores e chamam outro sistema para ações de reparo
Planejador Inteligente*	Sistemas de TI reconfiguram as linhas de produção e atualizar o <i>kanban</i> de acordo com a nova configuração	-

* Inteligente significa estar conectado.

Fonte: Elaborado pelo autor

Sanders, Elangeswaran e Wulfsberg (2016), propõem em seu estudo a integração de *Lean Manufacturing* e Indústria 4.0, reforçando que a integração de ambas as esferas é um importante campo de pesquisa a ser amplamente explorado. Com o advento da fabricação integrada de computadores, houve uma especulação de que as fábricas do futuro operariam autonomamente sem a necessidade de humanos. O TPS baseia-se em dois pilares: *Just in Time* e *Autonomação*. Autonomação refere-se à automatização dos processos manuais para incluir a inspeção; ou seja, quando ocorrer um problema, o equipamento deve parar automaticamente e não permitir que os defeitos passem a frente. Somente quando um defeito é detectado seria necessária uma intervenção humana. Conseqüentemente, automação na produção tem desempenhado um papel importante desde o início da produção enxuta, e a Indústria 4.0 pode ser

considerado como um avanço neste campo.

Na medida em que no futuro próximo vamos nos encontrar com a Indústria 4.0, é preciso ter um horizonte de planejamento visando as mudanças graduais. Para superar os novos desafios na empresa, Sibatrova e Vishnevskiy (2016), descrevem uma abordagem combinada nas perspectivas futuras e no gerenciamento *Lean Manufacturing*. Os autores também abrem novas questões de pesquisa futuras relacionado na combinação de Indústria 4.0 e *Lean Manufacturing*, por exemplo:

1. Quais são as limitações da abordagem combinada?
2. Que competências podem ser necessárias para a implementação bem sucedida da abordagem combinada?
3. Quais barreiras podem aparecer quando se utiliza a abordagem combinada?
4. Quais são os resultados desta combinação em termos práticos?

A quarta revolução industrial vai afetar toda a gestão *Lean*, suas tendências correspondentes têm um impacto positivo, porém longe de terminar com o movimento *Lean*. Presume-se que o efeito de uma nova revolução industrial no desenvolvimento da economia seria enorme, já que a Indústria 4.0 contribuirá com um aumento significativo na eficiência operacional, bem como o surgimento ou renascimento de tecnologias, modelos de negócios, produtos e serviços, conforme mostrado na Figura 10.



Figura 10: Componentes da Indústria 4.0
Fonte: Adaptado de Sibatrova e Vishnevskiy (2016)

A quarta revolução industrial terá uma importância significativa na implementação de práticas de produção enxuta, suas técnicas e ferramentas são capazes de superar as barreiras atualmente existentes. No entanto, alguns pesquisadores argumentam que o estilo de gestão pode depender da complexidade específica de um produto, portanto, novos desafios aparecerão na implementação de *Lean Manufacturing* (SIBATROVA; VISHNEVSKIY, 2016). Além disso, quando é possível combinar gestão *Lean* com outras técnicas, barreiras diferentes podem dificultar essa integração, por exemplo, as variáveis tecnológicas (CHIARINI, 2014). Sibatrova e Vishnevskiy (2016) também apresentam a possibilidade de aplicar a quarta revolução industrial no sistema de produção. Por meio do ciclo PDCA de *Deming*, é possível observar as seguintes modificações, ganhando destaque a utilização de sensores para geração de dados e *feedback* em tempo real, conforme Figura 11.

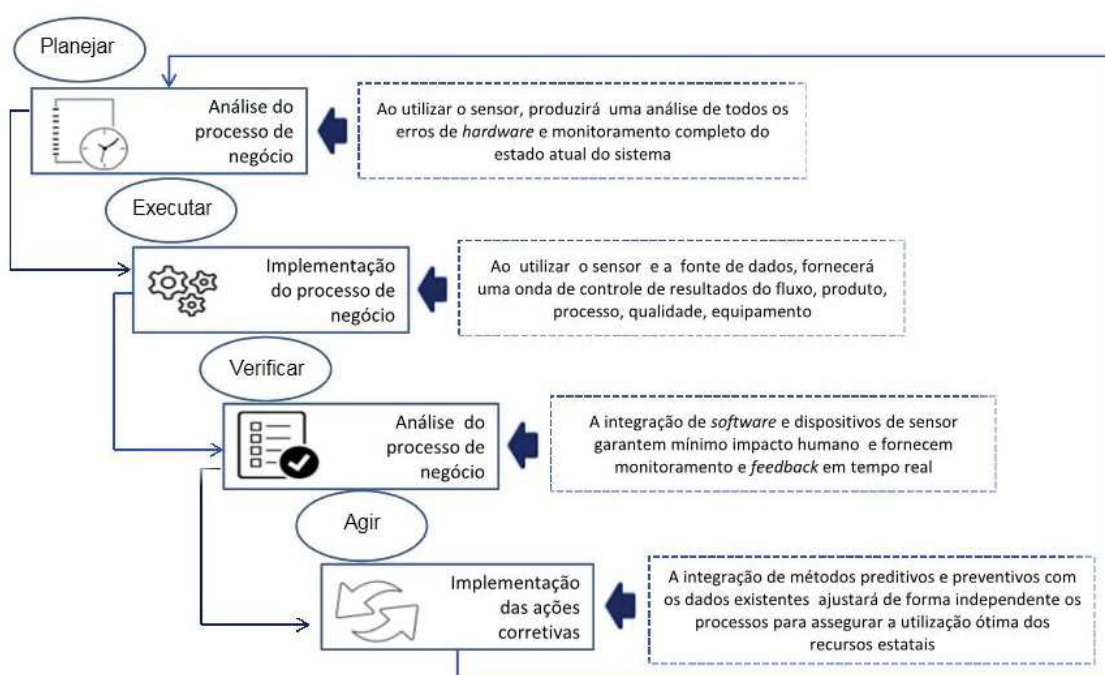


Figura 11: Ciclo PDCA e a Indústria 4.0
Fonte: Adaptado de Sibatrova e Vishnevskiy (2016)

Lean Manufacturing pode atuar como um elo entre o estado atual da empresa e estado futuro (em direção a quarta revolução industrial). O primeiro passo é descrever as características gerais das mudanças iminentes em relação à produção que inclui uma revisão dos aspectos atuais e das modificações da cadeia produtiva. Além disso, preparar-se para uma mudança da cultura corporativa da transição para a robótica e com o advento de novas tecnologias para aumento da produtividade. A introdução de sistemas de produção enxuto ajudará a facilitar a

transição para novas condições e a se adaptarem melhor às mudanças. Em uma visão prospectiva para o setor industrial, é possível enxergar maneiras de otimizar os recursos da empresa e poder reduzir significativamente os custos, o que está diretamente alinhado com os objetivos das ferramentas da fabricação enxuta (SIBATROVA; VISHNEVSKIY, 2016).

Romberg (2015), realizou um estudo transnacional em 329 empresas industriais da Alemanha, Suíça e China no assunto "Indústria 4.0". Cem empresas participantes foram da China, das quais 40% estavam ativas no setor de máquinas e indústria automotiva. As pesquisas foram realizadas entre o final de abril e meados de julho de 2015. Os resultados da China mostram que 58% das empresas chinesas já estão trabalhando para tornar as fábricas inteligentes e uma em cada dez empresas já está operando de forma inteligente. As empresas chinesas hoje, estão na mesma posição que as empresas Alemãs estavam em torno de um ano atrás. A fábrica inteligente e o tão esperado sucesso econômico baseiam-se em processos eficientes de produção, por esta razão, o estudo perguntou em qual estágio as empresas chinesas estão com a implementação *Lean Manufacturing*, considerando que *Lean* é a base para uma fábrica inteligente:

- Estágio 1 - Processo de melhoria contínua estabelecido: 37%
- Estágio 2 - Criação de valor é orientada de acordo aos principais princípios enxutos: 14%;
- Estágio 3 - Áreas indiretas já seguem princípios enxutos: 14%;
- Estágio 4 - Estratégia e organização a filosofia enxuta abrangente: 19%;
- Estágio 5 - Nenhuma gestão enxuta estabelecida ou sem resposta: 16%.

No mesmo estudo foi perguntado como o uso do *Lean Manufacturing* será afetado pela Indústria 4.0, sendo as respostas obtidas:

- A gestão *Lean* é fundamental para o estabelecimento do sucesso da Indústria 4.0: Alemanha: 77%; Suíça: 87%; China: 90%;
- Indústria 4.0 dá renascimento a metodologia *Lean* devido a um foco mais forte em processos: Alemanha: 82%; Suíça: 83%; China: 87%;
- Gestão *Lean* - Mapeamento Fluxo de Valor e Indústria 4.0 podem ser complementares: Alemanha: 90%; Suíça: 87%; China: 95%;
- As empresas podem implementar com sucesso Indústria 4.0 sem métodos enxutos: Alemanha: 40%; Suíça: 36%; China: 34%;
- Devido à Indústria 4.0, a gestão *Lean* será praticamente desnecessária: Alemanha: 7%; Suíça: 23%; China: 27%;

Contudo, espera-se que mais empresas adotem os métodos enxutos visto que foram identificadas a ligação entre *Lean* e Indústria 4.0. Quase todas as empresas acreditam que *Lean Manufacturing* e Indústria 4.0 se complementam bem. Nove em cada dez empresas estão convencidas que *Lean Manufacturing* contribui para o sucesso de implementação dos sistemas virtualizados e integrados. E quase todos acreditam que o *Lean Manufacturing* está enfrentando um renascimento como resultado da fábrica inteligente, com uma maior ênfase e novamente com pensamento em processos (ROMBERG, 2015).

O conceito de Indústria 4.0 não é uma revolução técnica ligada a uma grande descoberta científica (como foram as três revoluções anteriores). No entanto, representa uma meta politicamente estabelecida para a indústria, no intuito de criar sistemas cibernéticos onipotentes integrando diferentes tecnologia para permitir uma produção totalmente automatizada e interligada (RÜTTIMANN; STÖCKLI, 2016). Como uma evolução natural do *Computer Integrated Manufacturing* (CIM), tradução (fabricação integrada de computadores) a quarta revolução industrial poderia ser eventualmente classificada como V.3.1, V.3.2, V.3.3 e etc, mostrando a evolução desta revolução por partes. De acordo com a terminologia Suíça "*Indústria 2025*", o que parece mais apropriado para o termo Indústria 4.0 (RÜTTIMANN; STÖCKLI, 2016). Os mesmos autores acreditam que Indústria 4.0 não tornará o *Lean* obsoleto.

O foco em TI pode ser uma das origens que levam à presumida inferioridade de *Lean* em comparação com as iniciativas da Indústria 4.0, em muitas empresas, os cartões *Kanban* foram substituídos por RFID *Radio-Frequency Identification*, tradução (Identificação por radiofrequência), para algumas aplicações nos últimos anos, mas a conceito de *Kanban* permaneceu, porém de forma adaptada (RÜTTIMANN; STÖCKLI, 2016). A Toyota provocou uma revolução industrial, mostrando como fazer uma fábrica eficiente em relação a produtividade e custo. A integração de Indústria 4.0 e *Lean* tornará o *Lean* ainda mais produtivo e flexível (RÜTTIMANN; STÖCKLI, 2016).

Esta relação entre sistemas de produção e Indústria 4.0, é sintetizada na primeira etapa do método de pesquisa apresentado no Capítulo 3, onde a partir da conscientização do problema e revisão da literatura gera um modelo conceitual de sistema de produção para a indústria de autopeças. Este modelo apresenta os principais elementos dos sistemas de produção descritos neste referencial, bem como destaca os habilitadores da Indústria 4.0.

3 PROCEDIMENTOS METODOLÓGICOS

O progresso da ciência e o avanço do conhecimento científico se viabilizam com o uso da pesquisa, seja para comprovar determinadas teorias, seja para propor soluções para eventuais problemas. Nesse sentido, a pesquisa pode ser definida como uma investigação sistemática voltada ao desenvolvimento ou ao refinamento de teorias e à resolução de problemas (DRESCH; LACERDA; ANTUNES, 2015). Este capítulo apresenta o delineamento da pesquisa, abordando os métodos adotados para a condução do trabalho.

3.1 Classificação da Pesquisa

A importância metodológica de um trabalho pode ser justificada pela necessidade de embasamento científico adequado, geralmente caracterizado pela busca da melhor abordagem de pesquisa a ser utilizada para endereçar as questões da pesquisa, bem como seus respectivos métodos e técnicas para planejamento e condução. O resultado é o desenvolvimento de trabalho melhor estruturado que pode ser replicado e aperfeiçoado por outros pesquisadores visando, acima de tudo, a busca do desenvolvimento da teoria, por meio de sua extensão ou refinamento da proposição de novas teorias, contribuindo assim para a geração de conhecimento (MIGUEL et al., 2007).

A pesquisa é um processo formal e sistemático de desenvolvimento do método científico. O objetivo fundamental da pesquisa é descobrir respostas para problemas mediante o emprego de procedimentos científicos (GIL, 2010). O método de pesquisa é um conjunto de procedimentos e técnicas utilizados para coleta e análise dos dados. O método fornece os meios para alcançar o objetivo proposto, ou seja, são as “ferramentas” das quais se faz uso na pesquisa para responder determinadas questões (STRAUSS; CORBIN, 2007). Segundo Roesch (2009) a natureza da pesquisa pode ser dividida em:

- Pesquisa básica: ela é conduzida sem predição de resultado, visa à geração de conhecimentos novos, úteis para o avanço da ciência, sem aplicação prática. Em geral, esse tipo de pesquisa é exploratório e motivado pela curiosidade ou interesse do pesquisador;
- Pesquisa aplicada: envolve verdades e interesses locais, propondo gerar conhecimentos para aplicação prática no intuito de solucionar um problema específico.

No que tange à forma de abordagem do problema, a pesquisa pode ser classificada em quantitativa ou qualitativa (MAYS; POPE, 2016):

- Pesquisa quantitativa: tem o objetivo de traduzir, em números, opiniões e informações para classificá-las e analisá-las. Para isso, em geral, a pesquisa requer o uso de recursos e de técnicas estatísticas;
- Pesquisa qualitativa: considera que há uma relação dinâmica entre o mundo real e o sujeito, isto é, um vínculo indissociável entre o mundo objetivo e a subjetividade do sujeito que não pode ser traduzido em números. A interpretação dos fenômenos e a atribuição de significados são básicas no processo de pesquisa qualitativa. Geralmente, não precede da utilização de métodos e técnicas estatísticas. O ambiente natural é a fonte direta para coleta de dados, e o pesquisador é o instrumento chave. Os pesquisadores tendem a analisar seus dados indutivamente. O processo e seu significado são os focos principais de abordagem;
- Pesquisa quali-quantitativa: pode ser utilizada para explorar melhor as questões pouco estruturadas, os territórios ainda não mapeados, os horizontes inexplorados, problemas que envolvem atores, contextos e processos. A abordagem quali-quantitativa não é oposta ou contraditória em relação à pesquisa quantitativa, ou a pesquisa qualitativa, mas de necessária predominância ao se considerar a relação dinâmica entre o mundo real, os sujeitos e a pesquisa, ainda mais quando se intensificam os consensos nos questionamentos acerca das limitações da pesquisa operacional clássica em incorporar os sujeitos, objetos e ambientes no contexto de construção do conhecimento e consequentemente nas metodologias de pesquisa (ENSSLIN; VIANNA, 2008).

Do ponto de vista do objetivo da pesquisa, Gil (2010) classifica das seguintes maneiras:

- Pesquisa exploratória: visa proporcionar maior familiaridade com o problema com vistas a torná-lo explícito ou a construir hipóteses. Envolve levantamento bibliográfico; entrevistas com pessoas que tiveram experiências práticas com o problema pesquisado; análise de exemplos que estimulem a compreensão. Assume, em geral, as formas de pesquisas bibliográficas e estudos de caso;
- Pesquisa descritiva: visa descrever as características de determinada população ou fenômeno ou o estabelecimento de relações entre variáveis. Envolve o uso de técnicas padronizadas de coleta de dados: questionário e observação sistemática. Assume, em geral, a forma de levantamento;
- Pesquisa explicativa: visa identificar os fatores que determinam ou contribuem para a ocorrência dos fenômenos. Aprofunda o conhecimento da realidade porque explica a

razão, o "porquê" das coisas. Quando realizada nas ciências naturais, requer o uso do método experimental, e nas ciências sociais requer o uso do método observacional;

- Pesquisa prescritiva: tem como objetivo a proposição de soluções, as quais fornecem uma resposta direta ao problema apresentado, ou prescrevem um modelo teórico ideal para delimitar conceitos, que servirão posteriormente de respostas diretas.

De acordo com os autores citados, essa pesquisa classifica-se como de natureza aplicada, já que almeja gerar conhecimento tanto para os atores sociais quanto para comunidade científica ao investigar um caso real e de aprender por meio da aplicação da solução projetada; com abordagem quantitativa, uma vez que a pesquisa foca na modelagem do problema seguido da simulação e análise de cenários; quanto ao objetivo, classifica-se como prescritivo, pois como resultado objetiva-se a proposição de um método para a solução do problema. O método de pesquisa escolhido foi o *Design Science Research* (DSR), uma vez que trata-se de um método rigoroso para o projeto de Artefatos que resolvem problemas, possibilitando a avaliação do que foi projetado, bem como comunicando os resultados obtidos (KUECHLER; VAISHNAVI, 2011).

Na classificação da Associação Brasileira de Engenharia de Produção, ABEPRO (2008), essa tese foi conduzida sob a área de conhecimento engenharia de produção e, segundo o escopo das sub-áreas: engenharia de operações e processos da produção: gestão de sistemas de produção e operações; pesquisa operacional: modelagem e simulação. No âmbito do Programa de Pós Graduação em Engenharia de Produção e Sistemas (PPGEPS) da UNISINOS, esta pesquisa concentra-se na linha de pesquisa de modelagem de sistemas empresariais, abordando soluções avançadas para a modelagem e análise de problemas reais complexos e para o apoio à tomada de decisão em cenários marcados pela interação simultânea de múltiplas variáveis.

3.2 *Design Science Research*

A *Design Science* é a "ciência" que se ocupa do projeto visando recurso para melhoria de sistemas concebidos, solução de problemas ou a criação de novos Artefatos para uma melhor atuação humana. Neste caso, conhecimento deve ser elaborado para ser colocado em ação focado diretamente na solução de problemas. A *Design Science* visa gerar soluções alternativas para o mesmo problema propondo regras tecnológicas fundamentadas e a serem devidamente testadas pelo pesquisador (DRESCH; LACERDA; ANTUNES, 2015).

O DSR permite o desenvolvimento de pesquisas nas mais diversas áreas, inclusive na

engenharia (KUECHLER; VAISHNAVI, 2011). Também tem por objetivo pesquisar, estudar e investigar o artificial, tanto do prisma acadêmico quanto das organizações (BAYAZIT, 2004). A aplicação do DSR nas pesquisas possibilita diminuir as lacunas entre a teoria e a prática Bayazit (2004); Aken (2004), uma vez que trata-se de um método orientado a solução de problemas por meio da construção de conhecimento, e que pode servir para o aprimoramento de teorias (KUECHLER; VAISHNAVI, 2011).

Os Artefatos construídos ou avaliados pela DSR, são classificados em: constructos, modelos, métodos, instanciações March e Smith (1995); Manson (2006) podendo resultar ainda em um aprimoramento de teorias (HEVNER; CHATTERJEE, 2010). Para March e Smith (1995), a DSR possui quatro saídas, são elas:

1. Construtos: são o vocabulário especializado de um problema, eles permitem aos pesquisadores descrever os conceitos em seu campo com precisão. Esses construtos podem ser muito formais ou demasiadamente informais, surgem durante a concepção do problema e são refinados ao longo de toda a pesquisa;
2. Modelos: são um conjunto de declarações que expressam as relações entre os construtos. Eles permitem aos pesquisadores a manipulação desses construtos. Os modelos representam situações como declarações de problema e solução e são valiosos não somente na medição e na ajuda a uma solução para o problema;
3. Método: é um conjunto de passos, um algoritmo ou uma diretriz, utilizados para a realização de uma tarefa específica, orientando em relação aos passos a serem seguidos na solução do problema; e
4. Instanciações: são a aplicação dos Artefatos em seu ambiente.

Elas operacionalizam os construtos, modelos e métodos e mostram a viabilidade e a eficácia dos modelos e métodos. Manson (2006), acrescentaram como saída da DSR o Artefato “Melhores Teorias”, ou seja, o aprimoramento da teoria, que pode ser produzido para desenvolver novas teorias ou para contribuir com teorias já existentes. DSR está estruturado em cinco estágios conforme Kuechler e Vaishnavi (2011):

1. Conscientização do problema: problemas podem ser oriundos de diversas fontes, por exemplo a necessidade da indústria ou leituras que originam descobertas de campo por parte do pesquisador. A saída desta fase é a proposta de nova investigação;
2. Sugestão: fase onde o pesquisador fará as suas tentativas de *design*. Neste ponto é necessário o uso da criatividade, sendo que cada pesquisador tenderá a encontrar resultados diferentes, pois pode-se utilizar diferentes teorias para explicar o mesmo fenômeno;

3. Desenvolvimento: nesta fase o pesquisador construirá seus Artefatos, podendo o mesmo ser um método ou um modelo. Sendo que não necessariamente requer uma novidade em relação ao estado da arte do que está sendo estudado, já que a inovação está na construção do Artefato;
4. Avaliação: o Artefato é avaliado nesta fase com base nos critérios explicitados na proposta. Raramente as hipóteses iniciais são completamente validadas, por isso, todos os desvios de expectativas tanto qualitativas, quanto quantitativas são explicitados e ajustados nesta fase;
5. Conclusão: embora normalmente ainda existam desvios no comportamento, os esforços para solução do problema são considerados suficientes. Os resultados devem ser validados e escritos de forma que possam ser generalizados para uma classe específica de problemas.

Baseado no método inicialmente proposto por Kuechler e Vaishnavi (2011); Manson (2006) explicita as saídas que podem ser geradas a partir da realização de cada uma das etapas da DSR. A Figura 12, apresenta o método proposto por Kuechler e Vaishnavi (2011), assim como as saídas de cada uma das etapas do processo propostas por (MANSON, 2006).



Figura 12: Saídas da *Design Cycle*
Fonte: Manson (2006)

Uma vez finalizada a etapa de Conscientização do Problema, o pesquisador tem condições de apresentar uma proposta, formal ou não, para iniciar as demais atividades da pesquisa. A proposta deverá ser composta por evidências da situação problemática, caracterização do ambiente externo e seus pontos de interação com o Artefato a ser desenvolvido, pela definição das métricas e dos critérios para a aceitação do Artefato, além de explicitação dos atores envolvidos com o Artefato que será desenvolvido, bem como as classes de problemas às quais o Artefato pode apresentar certa relação (MANSON, 2006). Ao final da etapa seguinte, a Sugestão, o pesquisador terá como saída uma ou mais tentativas realizadas com o intuito de resolver o problema previamente definido (MANSON, 2006). Nesse momento, o pesquisador deverá explicitar as premissas que serão consideradas para a construção do Artefato, registrar todas as tentativas (inclusive as que foram excluídas), e por fim registrar as razões que o levaram a optar por uma tentativa em prol de outra (MANSON, 2006).

A etapa de Desenvolvimento, tem como saída um ou mais Artefatos (MANSON, 2006). O pesquisador por sua vez, deverá justificar a escolha das ferramentas que foram utilizadas para o desenvolvimento do Artefato, seus componentes e suas relações causais que geraram o efeito desejado para que o Artefato realize seus objetivos. Ao final dessa etapa é necessário também que sejam explicitadas as formas pelas quais o Artefato pode ser validado (MANSON, 2006). Logo, assim que desenvolvidos, os Artefatos serão colocados à prova na etapa de Avaliação (MANSON, 2006). Uma vez avaliados, é possível gerar as Medidas de desempenho dos Artefatos, a fim de compará-las com os requisitos que foram definidos nas etapas antecedentes ao desenvolvimento (MANSON, 2006). Nessa etapa, o pesquisador deverá detalhar os mecanismos de avaliação do Artefato, evidenciando os resultados obtidos (MANSON, 2006). É necessário também, que o investigador explicita as partes envolvidas, principalmente quando se trata de avaliações qualitativas (a fim de evitar o viés). E, finalmente, o pesquisador deverá evidenciar o que funcionou como o previsto e os ajustes que poderão ser necessários (MANSON, 2006).

Ao final, na última etapa do método, a Conclusão, o pesquisador terá como produto os Resultados da sua pesquisa, que devem ser analisados, consolidados e devidamente registrados (MANSON, 2006). É fundamental que nessa etapa o pesquisador faça uma síntese das aprendizagens de todas as fases do projeto, além disso, deve justificar a contribuição de seu trabalho para a Classe de Problemas que foi definida na fase um do processo (MANSON, 2006).

Com a apresentação do método DSR, destaca-se que uma das etapas do Artefato proposto contempla a modelagem e simulação da fábrica. Deste modo, incluiu-se a subseção 3.2.1 sobre modelagem e simulação. Após esta subseção são apresentadas as etapas de trabalho desta pesquisa.

3.2.1 Modelagem e Simulação

A simulação é um recurso que é amplamente utilizado em vários segmentos, e particularmente na engenharia, a aplicação deste recurso vem crescendo nos últimos anos (ATIEH et al., 2016). Negahban e Smith (2014), realizaram uma ampla revisão da literatura e constataram que a aplicação da simulação de eventos discretos na manufatura gera em média, cerca de 25 artigos por ano de contribuição à literatura. Média que já foi de 6 trabalhos por ano de acordo com Smith (2003), que pesquisou a literatura em mais de 34 anos de 1969 a 2002. A decisão de utilizar a simulação em determinados projetos é justificada com base nas seguintes vantagens (FREITAS FILHO, 2008; MIYAGI, 2006; LAW AVERILL; DAVID, 2014):

- i. ganhos em produtividade no desenvolvimento de projetos por meios de simulação;
- ii. quantidade de informação suficiente para tornar possível uma análise de simulação com vários cenários;
- iii. possibilidade de utilizar animações durante o processo de simulação para facilitar a visualização do que está sendo modelado;
- iv. o modelo simulado comporta-se similarmente ao sistema real;
- v. permite testar novos cenários sem comprometer os recursos;
- vi. é possível explorar visualizar novos equipamentos, arranjos físicos, sistemas de transporte e outros, antes de investir em recursos;
- vii. o tempo pode ser comprimido ou expandido, permitindo que o fenômeno em estudo possa ser acelerado ou retardado;
- viii. é mais econômico que testar em um sistema real e evita gastos desnecessários na compra de equipamentos desnecessários.

A simulação computacional consiste de um conjunto de métodos aplicados para a análise de uma ampla variedade de modelos de sistemas reais, por meio de *software* projetado para emular as características destes sistemas (KELTON; SALDOWSKI, 2014). Para Anand e Kodali (2009b), simulação é um processo de elaboração de um modelo de um sistema real (ou hipotético) e a condução de experimentos com a finalidade de entender o comportamento de um sistema ou avaliar sua operação. A simulação busca não só a construção do modelo, mas também descrever o comportamento do sistema, construir teorias e hipóteses e prever efeitos

produzidos por alterações no sistema ou nos métodos empregados na operação (FREITAS FILHO, 2008).

Melão e Pidd (2000), acreditam que o princípio básico é simples, analistas constroem modelos do sistema de interesse, escrevem programas destes modelos e utilizam um computador para inicializar o comportamento do sistema e submetê-lo a diversas políticas operacionais, sendo a melhor política a que deverá ser selecionada. Para Miyagi (2006) e Pereira (2009) a análise de sistemas de simulação varia de acordo com o tipo de sistema analisado, podendo ser contínua ou discreta:

- Simulação contínua: utilizada para modelar sistemas em que a mudança de estado varia ao longo do tempo, o avanço da variável tempo é feito em incrementos com valores fixos. Exemplo: uma peça que acaba de passar por um processo de tratamento térmico, onde o fenômeno do resfriamento da peça é contínuo no tempo;
- Simulação discreta: representam sistemas que tem o seu estado alterado em momentos discretos no tempo, a partir da ocorrência de eventos, o avanço da variável tempo ocorre de maneira descontínua, por meio de mudanças, associadas à ocorrência de eventos, exemplo: uma peça que passa por um robô de solda que envolve três eventos: (1) colocação da peça bruta no robô, (2) processamento (soldagem) da peça pelo robô, e (3) retirada da peça soldada. Neste caso, cada evento ocorre em instantes determinados no tempo, e a simulação é orientada por estes eventos. O tempo de simulação sempre indica um instante em que o evento acontece.

Devido a simulação de sistemas de manufatura dar suporte a atividades relacionadas à gestão operacional da produção, nesta pesquisa será utilizado simulação a eventos discretos para modelar o sistema atual: propondo alterações no layout, visando a melhoria dos recursos e da produção, para construção de cenários que serão então alterados no modelo computacional e, portanto, simulados para verificação dos efeitos dentro da proposição deste sistema de produção diferenciado.

Diversas corporações utilizam simulação a eventos discretos como um método estabelecido nas fases de planejamento da produção e em processos de melhoria. Para isto, há diversos aplicativos de *software*, como por exemplo: *Plant Simulation*TM, *Delmia*TM, *Simio*TM, *Arena*TM, que estão comercialmente disponíveis. Uma sugestão de condução da simulação é apresentada na Figura 13.

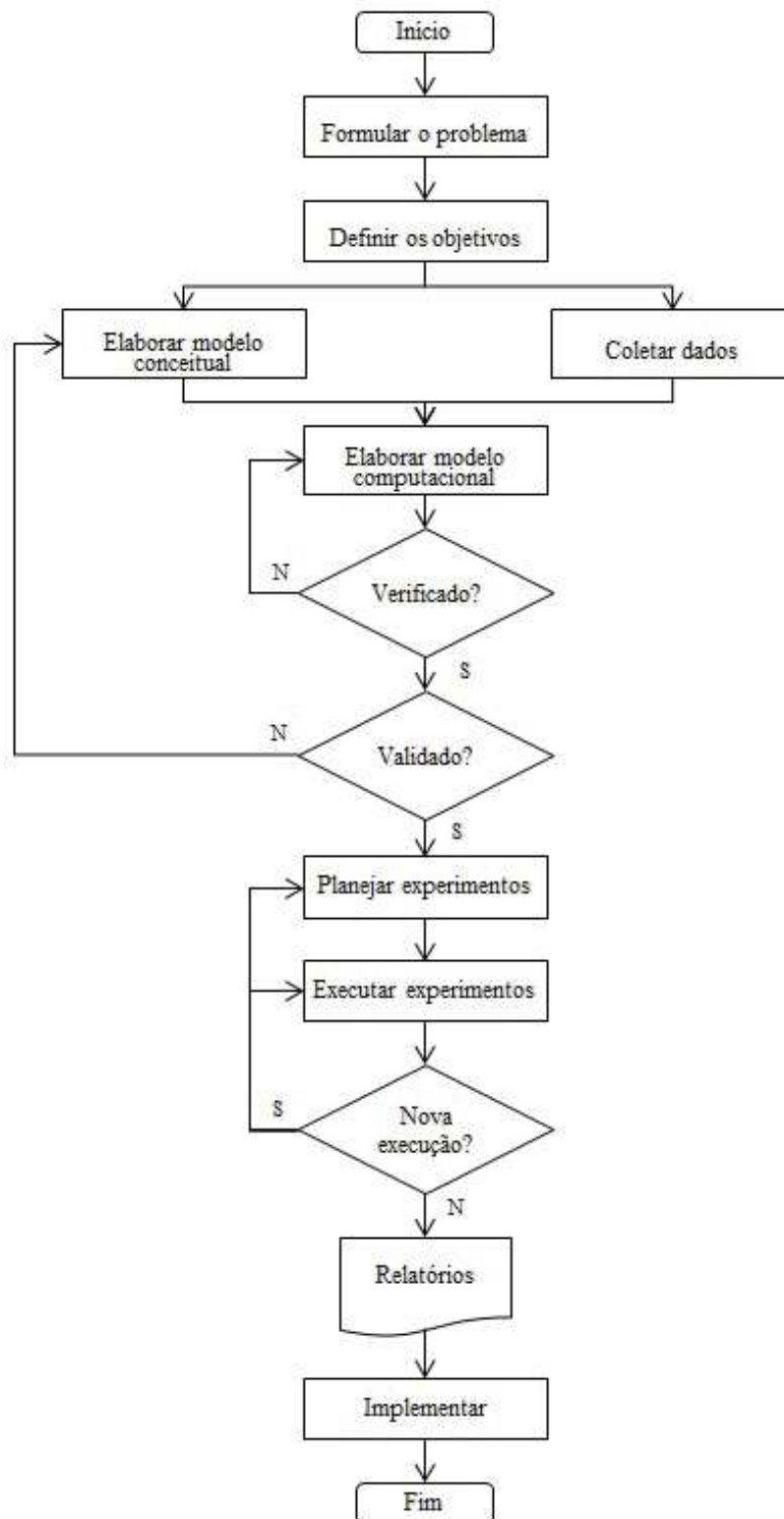


Figura 13: Etapas de Condução da Simulação
Fonte: Adaptado de Banks et al. (2010)

Os passos deste procedimento de simulação, é detalhado conforme Miyagi (2006); Banks et al. (2010); Kelton e Saldowski (2014); Law Averill e David (2014):

1. Formular o problema e definir os objetivos: o processo de simulação se inicia com a descrição do problema, realizada pelos especialistas do sistema a ser analisado. Nesta etapa, deve-se discutir e decidir com clareza qual é o escopo do modelo, suas hipóteses e o seu nível de detalhamento. Os objetivos envolvem as questões que precisam ser respondidas pela simulação. Deve especificar também as estratégias para o estudo em termos dos recursos envolvidos, o custo do estudo, o número de dias necessários para completar cada fase e, os resultados previstos no final de cada estágio;
2. Elaborar modelo conceitual: o sistema real é captado por um modelo conceitual. Deve-se começar com um modelo simples, e então, a partir deste, chegar a modelos mais complexos;
3. Coletar dados: identifica-se e coleta-se dados de entrada necessários para o modelo como, por exemplo, fluxos de informações, recursos e pessoas, procedimentos da operação, estimativas do operador, estimativas do projeto e considerações teóricas. Ao variar a complexidade do modelo, os dados necessários também podem mudar;
4. Elaborar modelo computacional: modelo conceitual construído é codificado em um computador, tornando-se, assim, um modelo operacional. O projetista precisa decidir se editará o modelo em uma linguagem de simulação ou então usará “pacotes” de *softwares* específicos, os quais tem as seguintes vantagens: redução da tarefa de programação, prestação de orientação conceitual, maior flexibilidade ao alterar o modelo, redução de erros de programação e coleta automatizada de dados estatísticos;
5. Verificar e validar o modelo: trata-se de realizar uma análise de todos os passos do modelo, de modo a verificar se o mesmo está de acordo com o desejado, se as hipóteses estão corretas e completas. A validação é a verificação de que o modelo conceitual é uma boa representação do sistema real e se a saída do modelo é compatível com a saída do sistema real, dentro de um nível de confiança desejável;
6. Planejar e executar experimentos: as alternativas e/ou cenários que serão simuladas devem ser detalhadas. Esta etapa relacionará os fatores controláveis do sistema com as variáveis de resposta de modo a aprimorar o processo. Várias replicações do modelo são executadas afim de alcançar resultados confiáveis. Os resultados são analisados por meio de gráficos, tabelas e estatísticas;

7. Nova execução: nesta etapa é determinado se são necessários mais experimentos ou se os cenários gerados são suficientes;
8. Relatórios: os resultados das análises devem ser apresentados de forma clara e concisa em um relatório final, podendo utilizar metodologia de decisão multicritério, afim de selecionar a melhor opção;
9. Implementação: o sucesso da fase de implementação depende de como foram conduzidos os passos anteriores e, também, da viabilidade técnica e financeira.

3.3 Materiais e Métodos

3.3.1 Equipamentos e *Softwares*

A necessidade de medições em três dimensões não é recente. Inicialmente os dados eram coletados em 2D, sobre um plano horizontal, e fazendo uso de alguma técnica eram complementados com a elevação, tornando-os 3D. Com a necessidade, em cada época buscou-se técnicas de medição que permitissem a obtenção de forma mais rápida e precisa. Apesar de ser a metodologia mais nova nas medições de campo, o *Laser Scanner* terrestre utiliza o mesmo princípio da estação total, onde é feita a medição de ângulos e distâncias para o posicionamento tridimensional (WUTKE, 2006).

A obtenção das imagens do ambiente fabril foi realizado por meio da digitalização tridimensional, a qual consiste na obtenção de informações de diversos pontos da superfície de forma que estes possam ser reconstruídos por meio de uma linguagem computacional, permitindo, assim, a construção de uma amostra digital análoga. O procedimento de captura das informações consiste, primeiramente, em definir a área a ser capturada, possibilitando, a aquisição de uma nuvem de pontos a qual é formada pelo conjunto de coordenadas em três dimensões (X, Y e Z), representando, assim, a superfície digitalizada.

Posteriormente para a obtenção dos modelos 3D, o processamento é realizado com os dados da nuvem de pontos que foram adquiridos, a qual pode conter milhões de pontos. Usa-se então sistemas CAD, para realizar a filtragem dos pontos presentes nessa nuvem (SILVA; TARALLI; MELZ, 2015). Para este procedimento foi utilizado um *Laser Scanner* portátil modelo FARO S 350, com uma abrangência de até 350 metros e velocidade de medição de até 976.000 pontos/segundo. O *software* responsável por processar e gerenciar os dados digitalizados é o *Laser SCENE 3D*, desenvolvido para todos os *Laser Scanners da FARO Focus* (FARO, 2017). Na Figura 14 é possível visualizar o *Laser Scanner modelo Focus S350*, utilizado.



Figura 14: *Laser Scanner* Portátil Modelo Utilizado
Fonte: FARO (2017)

O processo de digitalização funciona da junção de várias varreduras. Isso significa que, várias varreduras precisam ser realizadas em diversos pontos de posicionamento para garantir um conjunto de dados completo, conforme ilustra a Figura 15 (INGENSAND; RYF; SCHULZ, 2003).

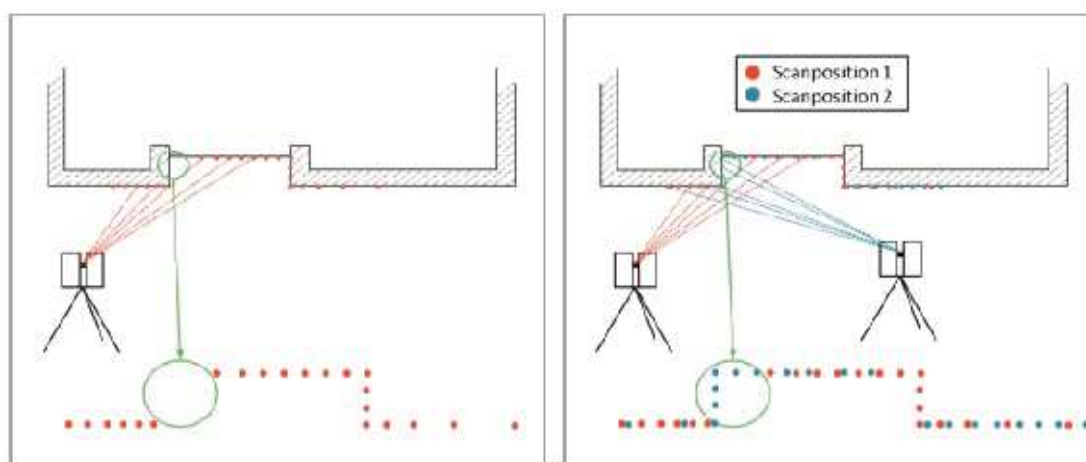


Figura 15: Posicionamento do *Laser Scanner* para Varreduras
Fonte: Pointcab (2018)

Para desenvolvimento do modelo computacional e simulação de eventos discretos, foi utilizado o *software Plant Simulation*TM da *SIEMENS*, na versão 13.2. As simulações foram realizadas a partir de um computador da marca *Dell*, modelo *Precision T5820 XEON*, com capacidade da memória de 16 GB, capacidade de armazenamento de 1000 GB e processador

W-2123. A partir da simulação foi possível avaliar o comportamento da instalação produtiva no eixo do tempo, por meio de cálculo dos tempos de processamento dos produtos nas estações de trabalho, obtendo após um período simulado um determinado volume de produção e estoques em processamento.

Apesar de ser cada vez mais frequente a utilização combinada destes recursos nos ambientes fabris, não foram localizados trabalhos acadêmicos que utilizassem estes tipos de recursos tecnológicos para a execução de trabalhos com estes objetivos (conforme levantamento bibliográfico apresentado na seção método de trabalho). Para esta pesquisa a simulação é uma fase do Artefato, para representar melhorias nos processos em proporções reais sem a necessidade de testar no ambiente fabril, possibilitando abranger vários cenários, sem comprometer os recursos físicos existentes e posteriormente discutir e analisar o modelo e sua aplicação.

3.3.2 Método de Trabalho

Para responder a pergunta de pesquisa, atendendo os objetivos, foi aplicado o método de trabalho elaborado com base na DSR. A Tabela 5 apresenta as etapas e suas saídas.

Tabela 5: Método de Trabalho

Etapas do Processo	Saídas	Objetivos
Conscientização do Problema	Projetar sistema de produção considerando as práticas de sistemas anteriores e sistemas que permitem desenhar a Indústria 4.0, mostrando um caminho para as empresas evoluírem na direção da Indústria 4.0.	1, 2, 3 e 4
Sugestão	Análise da literatura disponível, para construir o <i>design</i> do Artefato com objetivo de propor um método para implementação de um Sistema de Produção para Indústria de Autopeças com elementos da Indústria 4.0 e com as melhores práticas dos sistemas de produção.	3, 4 e 5
Desenvolvimento	Construção da proposta do modelo conceitual e do Artefato ora denominado método para implementação de sistema de produção para Indústria de Autopeças.	5 e Geral
Avaliação	Aplicação prática do Artefato proposto e avaliação do processo e seus resultados.	Geral
Conclusão	Apresentação do Artefato proposto para o equacionamento da questão de pesquisa.	Geral

Fonte: Elaborado pelo autor

As entregas (saídas) estão associadas aos objetivos específicos correspondentes que conduzem a obtenção do objetivo geral. A estrutura seguida foi a sugerida pelos autores Manson (2006) e Dresch, Lacerda e Antunes (2015), apresentada anteriormente. A seguir são detalhadas cada uma das etapas do processo.

Conscientização do Problema

A constante exigência por produtividade tem sido uma das formas utilizadas pelas indústrias de autopeças para enfrentarem a concorrência e a dinâmica imposta frente as necessidades dos clientes do segmento automotivo. Sistemas de produção consolidados mundialmente por meio de obtenção de ganhos significativos para as organizações são algumas das metodologias e diretrizes aderidas pelas organizações para prosperar no mercado atual, caracterizado por um ambiente altamente competitivo. Em consonância a essa necessidade por melhoria contínua, frente a quarta revolução industrial, chamada de Indústria 4.0, possibilitando a inclusão de tecnologias afim de fazer uma fábrica mais inteligente.

O termo Indústria 4.0, cunhado na Alemanha em 2011, tem em sua estratégia de competitividade a potencialidade de efetivar ganhos substanciais de produtividade por meio de tecnologias, levando a uma nova tendência mundial de digitalização das empresas. Por outro lado, dependendo dos fatores locais de produção, as novas tecnologias apresentam condições de implementação e resultados diferentes, levando ao questionamento do que deve ser priorizado para obtenção de uma solução satisfatória, visando a melhoria dos resultados econômico-financeiros das empresas.

Sugestão

A partir da questão de pesquisa, elaborada com base na etapa de conhecimento do problema, foi realizada a pesquisa bibliográfica que se constituiu em uma das bases para a construção do referencial teórico desta tese. Os principais conceitos abordados na busca do referencial foram:

- i. Sistema de Produção;
- ii. Sistema de Produção X;
- iii. Sistema de Produção Ford;
- iv. Sistema de Produção Volvo;
- v. Sistema de Produção Toyota;
- vi. Sistema de Produção Hyundai;

vii. Indústria 4.0;

A busca de artigos restringiu-se até setembro/2018, nas bases *Scopus*, *ScienceDirect*, *Emerald*, *Portal Capes*, *Springer*, *Elsevier*, *Scielo* além de buscas por meio do *Google Academic* e em *Anais de congressos específicos*. As palavras chaves procuradas foram: *Production System*, *Lean Manufacturing*, *Lean Production*, *Production*, *Discrete Event Simulation*, *Production Strategy*, *Auto Parts*, *Virtual Factory*, *Manufacturing Strategy*, *XPS*, *Toyota Production System*, *Hyundai Production System*, *Volvo Production System*, *Industry 4.0*, *Advanced Manufacturing*, *Lean and Industry 4.0*, *Lean and Advanced Manufacturing*, *Hyundai and Industry 4.0*, *Hyundai and Advanced Manufacturing* e variantes. A partir dos resultados encontrados pode-se construir o *design* do Artefato objetivando criar um método para implementação de um Sistema de Produção para Indústria de Autopeças com elementos da Indústria 4.0 e com as melhores práticas dos sistemas de produção.

Desenvolvimento

O referencial teórico constituído a partir do referencial bibliográfico e das sugestões do autor deste trabalho foram as fontes básicas para a construção da proposta do modelo conceitual. Este modelo baseou a construção do Artefato, ora denominado método para implementação de sistema de produção para Indústria de Autopeças. Neste sentido, o passo-a-passo da construção do Artefato foi:

- i. revisão bibliográfica;
- ii. proposições do autor desta pesquisa;
- iii. elaboração do mapa conceitual dos sistemas (constructos);
- iv. construção do modelo conceitual do Sistema de Produção para Indústria de Autopeças;
- v. construção do Artefato proposto;
- vi. aplicação prática do Artefato proposto;
- vii. avaliação do processo e seus resultados (a próxima etapa).

Avaliação

A avaliação do Artefato, foi realizada por meio de uma aplicação prática em uma empresa metalmeccânica situada na cidade de Panambi, no estado do Rio Grande do Sul. O objetivo

desta avaliação foi o de aprimorar o método desenvolvido, verificando seu nível de resposta para a pergunta de pesquisa, bem como as potenciais melhorias. Para a avaliação, os seguintes critérios foram observados (comparativo antes e depois da implementação do Artefato):

- i. tempo de atravessamento (horas);
- ii. horas homem / tanque produzido (hh/tanque);
- iii. *Work In Process (WIP)* (número de tanques);
- iv. distância total percorrida pelos operadores (km/turno);
- v. ganhos econômicosfinanceiro por meio do *Return On Investment (ROI)*.

Conclusão

Finalmente são apresentados os resultados da pesquisa, bem como uma análise do seu rigor e de suas contribuições para o meio acadêmico e empresarial, verificando os desvios em relação ao planejado, além das lições aprendidas durante o processo. Também estão explícitas as oportunidades que surgiram ao longo da pesquisa e não puderam ser abordadas devido ao foco da tese.

Nesta pesquisa, a etapa de implementação não será realizada, pois, após a obtenção dos melhores cenários de simulação, estes serão utilizados na confecção do Artefato, não cabendo a sua implementação física neste momento, devido ao fato de se propor posteriormente a melhor estratégia de implementação. No próximo capítulo apresenta-se o detalhamento da construção do modelo conceitual e do Artefato, além de sua avaliação na aplicação prática.

4 APRESENTAÇÃO E DISCUSSÃO DOS RESULTADOS

A sustentação das vantagens competitivas obtidas é necessidade comum em todas as organizações, pois está diretamente ligada ao desempenho financeiro do negócio. Manter-se à frente da concorrência pode significar a própria sobrevivência, sabendo que seu futuro será o resultado direto das ações que estão sendo tomadas no presente. Com a implementação do XPS, abre oportunidades para a Indústria de Autopeças obter vantagens, frente a um avanço tecnológico. No modelo conceitual apresentado o processo de melhoria contínua ganha destaque nas organizações, devido às montadoras repassarem aos fornecedores a corresponsabilidade de serem mais competitivas, forçando a inovação para se distanciar da concorrência entre o segmento.

Frente a necessidade, a automação e padronização do trabalho são fatores relevantes na redução de operações desnecessárias e melhoria da qualidade. A necessidade por produtividade (esforço / resultado) e melhor qualidade (padrão especificado pelo cliente) são necessários para manter ou conquistar mais *market share*. A automação alinhada com constante inovação tecnológica e sincronização da produção também é relevante na redução dos custos da mão de obra operacional, dando maior importância para a engenharia, investindo em times de alto desempenho. O objetivo deste capítulo é apresentar a proposta de modelo conceitual de sistema de produção e um Artefato para implementação deste sistema de produção para Indústria de Autopeças.

4.1 Modelo Conceitual do Sistema de Produção para Indústria de Autopeças

Com a inclusão de tecnologias no processo produtivo oriundos do impulso da Indústria 4.0, percebe-se a necessidade de buscar informações sobre a inclusão destas tecnologias nos sistemas de produção para suportar essa ascensão. Foram elaboradas palavras-chave e realizada uma busca em bases de dados, conforme mostrado anteriormente. A partir dos achados nessa pesquisa, foram lidos os artigos encontrados nas bases de dados e analisados seus conteúdos. Como resultado dessas análises, não foi encontrado, no referencial utilizado nessa pesquisa, um modelo conceitual oriundo dos sistemas de produção e sistemas que permitem a adoção da Indústria 4.0. Mediante esse fato, percebe-se a necessidade de um modelo representativo para o entendimento dos sistemas.

A estrutura escolhida por *Fujio Cho* (um discípulo de *Taiichi Ohno*) foi a de uma casa, denominada Casa do TPS, para representar o Sistema Toyota de Produção. A escolha por uma casa ocorreu pelo fato de que ela representa um sistema estrutural, no qual o telhado só é forte

se as colunas e fundações são fortes. Uma conexão fraca entre as partes tende a fragilizar todo o sistema. Essa representação passou a ser um dos símbolos mais facilmente reconhecidos na indústria moderna (LIKER, 2010). Posteriormente, também foi utilizado para representar outros sistemas de produção.

Após a análise dessa representação, determinou-se que o *design* proposto para representar o Sistema de Produção também será uma casa, para que as relações entre os construtos dos sistemas fossem descritas de forma sistêmica a partir das relações entre si. O desenvolvimento dessa etapa foi orientado pelo método DSR. Após a análise crítica da revisão da literatura, tornou-se possível a confecção de um mapa conceitual referente aos construtos e às suas interações dos Sistemas Hyundai, Volvo, Ford, Toyota e Afins, além dos sistemas que permitem a Indústria 4.0. Este mapa conceitual sintetiza e destaca os principais elementos do referencial teórico.

Na Figura 16, é apresentado o mapa conceitual, estão destacados os construtos que compõem o sistema de produção proposto, as suas relações, sua base e seus pilares centrais, grafados em laranja. Inicia-se a leitura do mapa conceitual pela Estabilidade, que possui forte relação com os sistemas de produção Ford e Volvo, é considerada a base de tudo. Com ênfase em trabalho padronizado e controle da produção, entende-se que está é um condição inicial para todo sistema de produção, a qual não traz vantagem competitiva, porém importante para a sustentação da operação. Com o processo estabilizado, é possível inicial as melhorias por meio dos constructos Processo e Engenharia. Para Processo, no que tange a redução dos estoques, nivelamento das operações e fluxo contínuo. Para Engenharia, na oportunidade de avançar tecnologicamente com elementos da Indústria 4.0 e garantir a repetibilidade do processo.

A Indústria 4.0 complementa este mapa com a possibilidade de inclusão tecnológica, conforme as mesmas vão se tornando mais atrativas financeiramente e conforme viabilidade ao negócio. As linhas verdes mostram a relação entre os constructos e as linhas vermelhas a relação dos constructos com o modelo conceitual proposto. Ao centro do mapa está a resultante dos constructos, a principal saída do modelo, aumento da velocidade no processo produtivo (*Lean Time*).

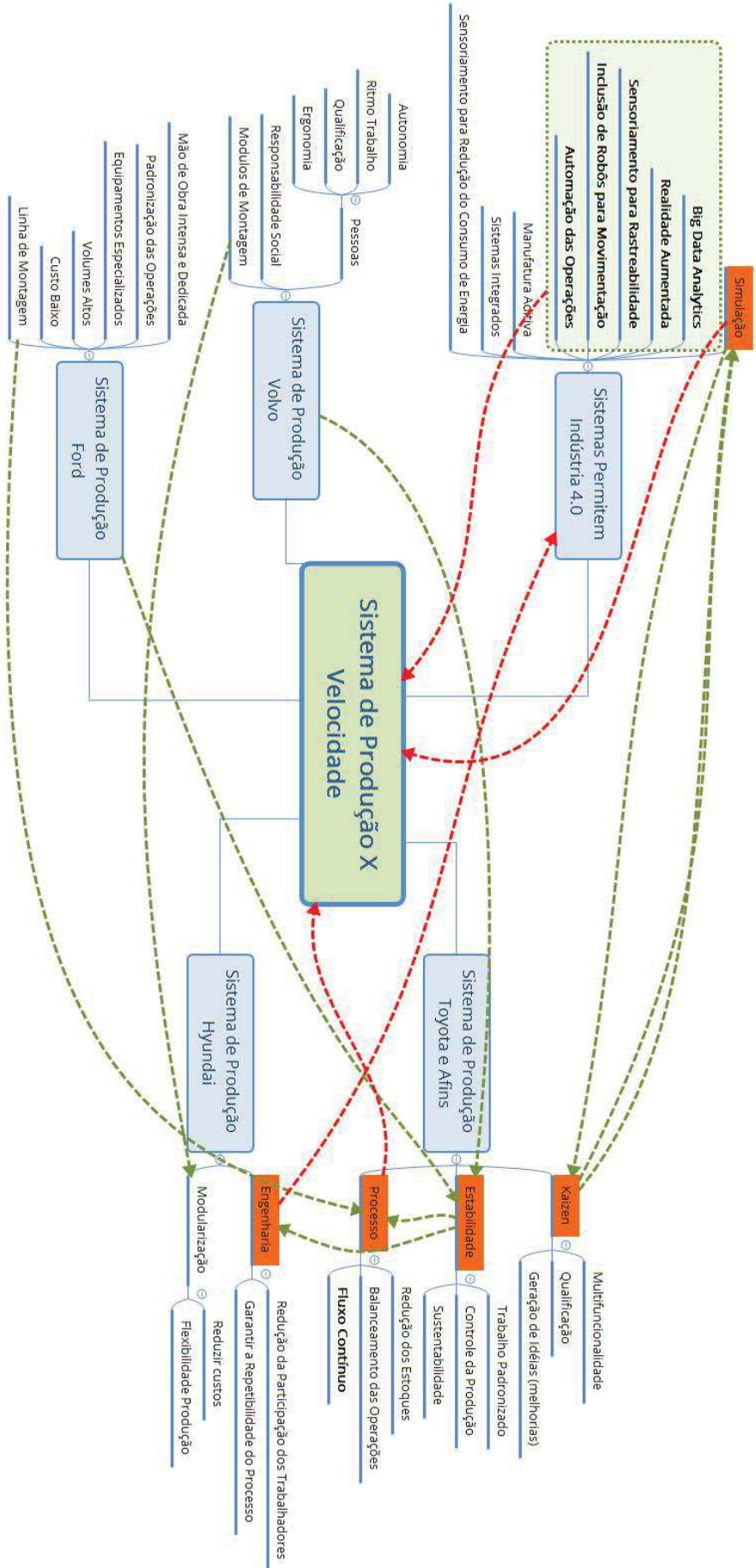


Figura 16: Mapa Conceitual dos Sistemas
 Fonte: Elaborado pelo autor

O modelo conceitual do sistema de produção para Indústria de Autopeças, foi estruturado analisando as melhores práticas de sistemas de produção existentes e os elementos que permitem desenhar a Indústria 4.0. A utilização dos conceitos da *Hyundai Motor Company*, Manufatura Enxuta e outros, assim como as tecnologias da Indústria 4.0, enfatizando os elementos com base na estratégia de produção, buscando um processo com maior velocidade (menor *Lead Time*). O modelo conceitual proposto, Figura 17 utiliza de vários elementos apresentados no referencial bibliográfico, somado a outras soluções desenvolvidas por esta tese. O mapa conceitual apresentado na Figura 16 permitiu a identificação das relações entre os construtos dos sistemas.

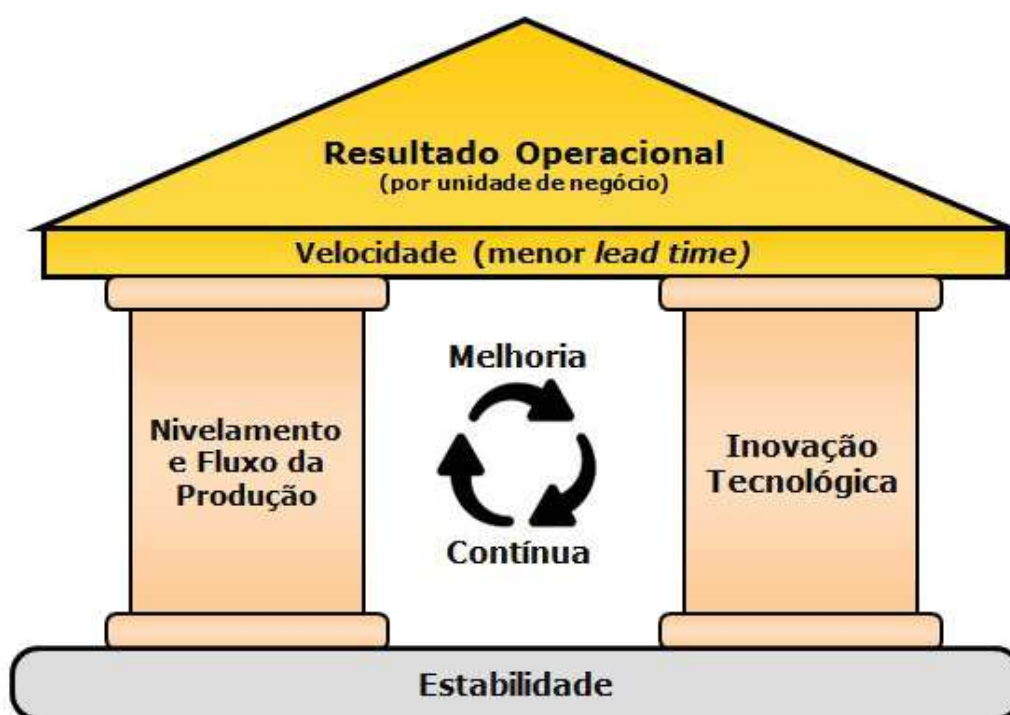


Figura 17: Modelo Conceitual do Sistema de Produção Proposto XPS
Fonte: Elaborado pelo autor

A seguir será detalhada a relação de cada sistema de produção apresentado anteriormente na estrutura básica do modelo proposto na Figura 17. Os construtos do Sistema de Produção Toyota e Afins têm a função de:

- i. buscar a estabilização dos processos por meio de trabalho padronizado e controle da produção;
- ii. buscar a eliminação dos desperdícios no ambiente de produção por meio de princípios, métodos e técnicas voltadas para a melhoria contínua; e

- iii. processo verticalizado ao fluxo contínuo dando ênfase a redução dos estoques, balanceamento das operações e produção somente do que é demandado pelo cliente.

Para Jo (2010), a orientação pela engenharia da Hyundai teve papel fundamental na estratégia de crescimento da empresa e no desenvolvimento de um sistema específico de produção. Os construtos do Sistema de Produção Hyundai contribuem ao modelo por meio do:

- i. direcionamento tecnológico voltado para a engenharia;
- ii. engenharia tecnológica contribuindo para minimizar a dependência da força de trabalho especializada nas operações fabris; e
- iii. padronização do processo de trabalho, a partir da adoção da automação orientada pela engenharia.

Os Sistemas de Produção Ford e Volvo, de fundamental envolvimento com o sistema de produção propostos no que tange a:

- i. operações padronizadas e pessoas, são elementos altamente relacionados com a estabilidade (base da casa do sistema de produção proposto); e
- ii. custo baixo e equipamentos altamente especializados, reforçando a necessidade de buscar alternativas no processo para manter as empresas competitivas.

No modelo proposto, os sistemas que permitem a Indústria 4.0, possuem a função de Scheer (2015):

- i. acelerar com inteligência (tomada de decisão) o processo produtivo, mas antes disso, de criar uma base ao processo, por meio de dados e ferramentas virtualizadas, preparando a empresa para ser uma fábrica inteligente (conectada);
- ii. implementação de tecnologias ao processo com baixo investimento e evolução com o passar do tempo da implementação de sistemas mais complexos visando controle, aprimoramento e autonomia; e
- iii. aumento da produtividade e competitividade, por meio da inserção de tecnologias, conforme ficam mais acessíveis financeiramente e viáveis a operação da empresa.

A operacionalidade para implementação do modelo foi elaborada em uma sequência, as quais estão interligadas e planejadas a alcançar os melhores resultados para o processo produtivo, gerando um aprendizado crescente na medida em que a implementação avança findando com melhora no resultado operacional da unidade de negócio, seguindo o ciclo de melhoria contínua. Entende-se que o avanço até uma fábrica inteligente e totalmente automatizada, seja uma jornada a qual necessita ser iniciada, porém sem prazo para ser finalizada, mas sim com avanços significativos gradual quando comparado com o estado de origem (estado atual). A seguir são apresentados os elementos do modelo representado pela Figura 17.

4.1.1 Estabilidade

Na base, funcionando como alicerce da casa, a Estabilidade, oriunda do Sistema de Produção Toyota, responsável pelo desenvolvimento das competências, operações padronizadas, sustentabilidade, no que tange a meio ambiente, saúde e segurança e aspectos sociais. A estabilidade na produção ocorre quando se consegue produzir de acordo com o planejado (demanda e recursos necessários) para produzir com o menor desperdício possível, sem afetar a segurança e garantindo a qualidade. A etapa de planejamento dos recursos recebe sempre uma dedicação cuidadosa de modo a evitar ao máximo os desperdícios ou não prover os recursos necessários para atender a demanda. Em particular, os 4 M's (Mão de Obra, Método, Material e Máquina) devem ser planejados (DENNIS, 2009). Estabilizar os processos mediante a redução da variabilidade direciona a melhora nas entregas, minimizando os custos com retrabalhos e ao mesmo tempo maximizando os recursos.

Sem estabilidade, a aplicação de técnicas torna-se frágil e insustentável com o passar do tempo. Na medida em que o sistema de produção é aprofundado ou modificado, com a implantação de novas técnicas, pode ser necessário re-estabilizar o processo ou buscar estabilidade em novas dimensões que antes não eram importantes. Isso também implica em um monitoramento e controle contínuo das causas principais da instabilidade (LIKER, 2010). Para identificar um processo estável, Rodrigues (2015) sugere definir a expectativa de produção hora a hora e registrar a produção real. Assim, os desvios entre o real e o planejado representam a falta de estabilidade no processo. A partir desta base, tornaram-se possível o fortalecimento e a construção dos pilares: Processo e Engenharia.

4.1.2 Processo

Chamado no modelo de Nivelamento e Fluxo da Produção, é originado pela necessidade de redução dos estoques e balanceamento das operações, este pilar de sustentação da casa do sistema de produção proposto, é direcionado todos os esforços para verticalização da fábrica, direcionando a um fluxo contínuo dos materiais. O conceito de produção em fluxo não é recente, *Henry Ford* revolucionou a indústria de automóveis na fábrica em *Highland Park* nos Estados Unidos, no ano de 1913, com a primeira linha de montagem em movimento. Esse fato reduziu o *Lead Time* e o custo de fabricação. Para se ter uma idéia do impacto, a redução no custo foi além de 50% e o tempo de montagem de um veículo de 12 horas foi reduzido para 90 minutos (KOSAKA, 2009). Logo, pode-se dizer que fluxo contínuo é o sucessor da linha de montagem em movimento desenvolvido pela Ford.

Processo de fluxo contínuo objetiva eliminar as paradas e os reinícios de produção, isso diminui o *Lead Time* reduzindo significativamente o tempo de não-processamento e reduz o estoque em processamento. Para processar efetivamente em fluxo contínuo, a premissa é ter os processos estáveis Kosaka (2009), base do sistema de produção proposto. Quando necessário tempo excessivo para troca das ferramentas (*setup*), tornando impossível a produção de uma única peça por vez. Típico de processo de estamparia e solda, o tamanho do lote deve ser o menor possível, aproximando como objetivo a produção de uma peça por vez (KOSAKA, 2009).

4.1.3 Engenharia

Chamado no modelo de Inovação Tecnológica, esse pilar inicialmente focado em eliminar os possíveis erros e falhas humanas nas operações fabris, ganhou proporções após o surgimento da Indústria 4.0. Originalmente a partir da combinação do sistema de produção Hyundai com elementos que caracterizam a Indústria 4.0. Em um olhar mais tecnológico este pilar de sustentação possui como diferencial a inclusão de tecnologias no processo produtivo, a fim de incorporar novas oportunidade de melhora na velocidade produtiva. A melhoria poderá ser significativa com ações que exigem baixo investimento, e que podem ser implementadas como a integração de sistemas. Para tal nota-se a necessidade básica de adotar conceitos de manufatura enxuta que serão melhorados com tecnologias associadas a Indústria 4.0 (SCHEER, 2015). Parte das tecnologias responsáveis pela quarta revolução industrial, estão sendo disponibilizadas há algum tempo. Porém, algumas ainda não estão prontas para aplicação em escala, enquanto outras estão ao ponto de serem utilizadas com baixo custo entregando bons

retornos que fazem sentido no âmbito industrial (BAUR; WEE, 2015).

A automação também foi utilizada pela Hyundai para diminuir a dependência da força de trabalho em seu sistema produtivo, aumentando a produtividade e flexibilidade de suas operações fabris, fazendo com que seus custos fossem reduzidos (NUNES, 2015). A combinação da digitalização com sensoriamento, poderá levar a processos mais integrado e produtivo. Na sequência são apresentados os elementos que compõem a parte superior da casa do XPS: Velocidade (menor *lead time*) e Resultado Operacional por unidade de negócio.

4.1.4 Velocidade

Todo sistema gerará resultados, sendo eles positivos ou negativos sob a ótica de metas pré estabelecidas. A eficácia organizacional do sistema tem como um dos seus principais indicadores a Velocidade, buscando um menor tempo de atravessamento e o pleno atendimento do cliente final (RODRIGUES, 2015). O *Lead Time*, como também é conhecido, é o tempo entre o pedido e recebimento do produto pelo cliente, contempla o tempo de processamento e todos os outros tempos do processo produtivo, como período de armazenamento, de transporte, de operações, de movimentos, de *setup* e principalmente os tempos de esperas (RODRIGUES, 2015). Essas serão as principais saídas do XPS proposto, sendo medidos antes e depois da simulação. Além de ser um dos indicadores para comparação dos cenários simulados.

4.1.5 Resultado Operacional

No telhado, o Resultado Operacional, as atividades produtivas podem contribuir para a melhoria do lucro operacional, tanto em termos de aumento do ganho (entendido aqui como somatório do produto das quantidades vendidas pela diferença entre o seu preço líquido de vendas e custos com matérias primas) como em termos de redução de despesas (entendida aqui como o total de custos diretos e indiretos da operação) (PELLEGRIN; ANTUNES, 2016). A Figura 18 ilustra essa definição, onde as atividades produtivas podem contribuir direta ou indiretamente sobre o preço de venda (na medida em que atendimento no prazo, responsividade, qualidade e agregado tecnológico sejam valores percebidos pelo mercado), nos custos com matérias primas (seja pela redução dos custos de materiais através de projetos de produtos bem concebidos e da adoção da modularização, da melhor negociação de preços, da gestão da cadeia de suprimentos, seja pela redução de refugos e ou obsolescências derivados de deficiências na operação ou na sua gestão) (PELLEGRIN; ANTUNES, 2016). Ilustra também que as atividades produtivas impactam diretamente os custos diretos e indiretos (por exemplo, ine-

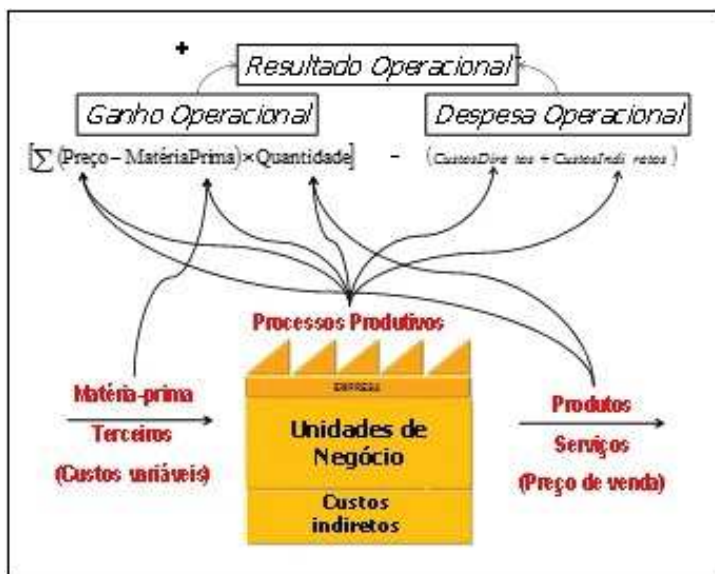


Figura 18: Perspectiva Financeira
 Fonte: Pellegrin e Antunes (2016)

ficiências de máquinas e de recursos humanos, falhas de planejamento e programação, pelas diferentes perdas observadas ao longo do fluxo de valor, custos da não qualidade, incorreto dimensionamento de pessoal, entre outros fatores) (PELLEGRIN; ANTUNES, 2016).

No modelo proposto resultado operacional não será medido, será apresentado por indicadores anteriores, no âmbito da Função Processo. Para finalizar a apresentação dos elementos do modelo conceitual do sistema de produção proposto, será relatado sobre melhoria contínua.

4.1.6 Melhoria Contínua

Melhoria Contínua também pode ser conhecida como *Kaizen*, que consiste na prática de uma consciência de trabalho em grupos de forma eficiente e auto gerenciáveis, os quais tomam decisões de implementação das melhores práticas (SHARMA; MOODY, 2003). Os caracteres japoneses da palavra *kaizen*, são uma combinação de símbolos japoneses (KA = muda, ZEN = bem) significando “mudança” e “bom”, comumente traduzido como “mudança para melhor”, buscando soluções rápidas e práticas aos desafios do dia-a-dia (SHARMA; MOODY, 2003). A etapa chamada melhoria contínua é responsável pela transformação do aprendizado oriundos dos treinamentos em resultados práticos no genba. Para Ohno (1997), a necessidade é a "mãe da invenção", e ressalta que a chave para o progresso das melhorias está em permitir que o pessoal da fábrica sintam essa necessidade. Uma interessante estratégia adotada por algumas empresas são as ferramentas de melhoria contínua e dentre elas a filosofia *Kaizen*, a qual

possui dois objetivos principais Berger (1997):

- i. desenvolver uma cultura de solução de problemas com o objetivo de melhorar os processos e eliminar desperdícios; e
- ii. envolvimento das pessoas, esforço contínuo para envolvimento de todos, possibilitando um ambiente de aprendizagem, com a manutenção dos resultados em longo prazo e abertura para a criatividade e melhorias.

O *kaizen* vem contribuir para as empresas de diferentes formas, tendo como principais objetivos o aumento de produtividade (produzir mais com menos recursos), a redução do *lead-time*, redução do estoque em processo, criação de um fluxo uniforme de produção, redução do tempo de *setup*, melhorias ergonômicas e segurança, melhoria da qualidade, padronização de operações, dentre outros (BERGER, 1997). Método *Kaizen* tem como foco principal atacar os 8 tipos de desperdícios, Berger (1997):

1. Excesso de produção: produção de itens para os quais não há demanda;
2. Retrabalho: produção de peças defeituosas ou correção. Consertar ou retrabalhar, descartar ou substituir a produção e inspecionar significam perdas de manuseio, tempo e esforço;
3. Movimentação desnecessária: movimento de estoque em processo por longas distâncias;
4. Processamento desnecessário: passos desnecessários para processar as peças. Processamento ineficiente devido a uma ferramenta ou ao projeto de baixa qualidade do produto, causando movimento desnecessário e produzindo defeitos;
5. Inventário: excesso de matéria-prima, de estoque em processo ou de produtos acabados, causando *Lead Time* mais longos, obsolescência, produtos danificados, custos de transporte e de armazenagem e atrasos;
6. Espera: funcionários que servem apenas para vigiar uma máquina automática ou que ficam esperando pelo próximo passo no processamento, ferramenta, suprimento, peça e etc;
7. Movimentação de pessoas: qualquer movimento inútil que os funcionários têm que fazer durante o trabalho, tais como procurar, pegar ou empilhar peças, ferramentas e etc;

8. Falta de envolvimento do funcionário: perdas de tempo, ideias, habilidades, melhorias e oportunidades de aprendizagem por não envolver ou ouvir seus funcionários.

Originou-se a partir da união de todos os elementos do modelo, tendo como foco a busca pelo melhor resultado, que conseqüentemente irá garantir as exigências do telhado. O requisito para que toda a casa funcione é necessário garantir a estabilidade dos processos, como também garantir uma cultura organizacional na busca pela melhoria contínua. O foco é otimizações das melhorias por meio da utilização de *softwares*, para simular o resultado a ser atendido se a melhoria for implementada. Por meio de simulação computacional, é possível verificar algumas características peculiares de um chão de fábrica como: a identificação de recursos restritivos de capacidade, a verificação das taxas de tempo de utilização dos funcionários e das máquinas, o espaço físico necessário e o volume de produção (BANKS et al., 2010). Na próxima seção será apresentado o Artefato para caminho a Indústria 4.0.

4.2 Artefato: Método Proposto para Implementação do Sistema de Produção para Indústria de Autopeças

Mostafa, Dumrak e Soltan (2013), propôs em seu estudo quatro fases para implementação do *Lean Manufacturing*, sendo elas:

1. Conceitualização: fase inicial, que seleciona a área, define escopo e treina o pessoal envolvido na implementação enxuta. Os principais dados, informações e conhecimentos são transferidos para a equipe. Os benefícios do *Lean Manufacturing* para a organização também é explorado para conscientizar cada membro sobre o motivo pelo qual o projeto deve ser implementado;
2. Implementação: esta é a fase de aquecimento, que projeta o plano enxuto e prepara a equipe enxuta para a prática. Esta fase identifica o estado atual e os requisitos da estrutura enxuta organizacional por meio de várias análises e estudo das ferramentas a serem implementadas;
3. Avaliação: esta é a fase de execução, que entrega e avalia o plano enxuto na prática;
4. Transformação enxuta: fase final que documenta as novas lições aprendidas e as mudanças de escopo resultantes durante a execução, o estabelecimento de novos padrões e o planejamento de melhoria contínua. Para realizar a transformação enxuta, a organização deve garantir que todas as mudanças necessárias aos requisitos estabelecidos sejam implementadas.

O Artefato proposto leva também em consideração as fases relatadas por Mostafa, Dumrak e Soltan (2013); a definição da área onde serão conduzidas as ações de implementação recomendadas e de um especialista *Lean* que possua influencia na definição de processos, conhecimento nas ferramentas *Lean* e tecnologias, uma vez que a maior parte dos requisitos está relacionado a estes pontos.

O Artefato está estruturado em quatro fases, sendo que ao avançar de uma a outra não necessariamente precisa estar concluída. Além dos objetivos já citados, o Artefato é conduzido para disseminação e sustentação da cultura da melhoria contínua por meio da qualificação e desenvolvimento das pessoas. A equipe envolvida participa de *workshops* de qualificação e, principalmente, das atividades práticas no *genba*. Composto por ciclos chamado de Estado Futuro (EF), tem as regras estabelecidas, por meio do seu próprio XPS. O desdobramento das fases são explorados na Figura 53. O ciclo do Artefato é apresentado no Apêndice A.

A seguir o detalhamento das fases do Artefato.

4.2.1 Fase 1: Planejar

Na primeira fase é realizado uma avaliação geral do estado atual da área escolhida para o projeto. Nesta avaliação o time de coordenação realiza um levantamento das principais entregas (resultados) da área, focando no que é importante ao negócio da empresa. Para o desenvolvimento do projeto, um grupo de trabalho foi selecionado. Este grupo conta com uma equipe multidisciplinar, composta por representantes de departamentos necessários para a melhoria e da liderança da área. Os participantes escolhidos devem ter a capacidade de multiplicar os conhecimentos adquiridos para sustentação deste novo princípio, método e técnica em seus departamentos, auxiliando também na disseminação da cultura de melhoria contínua na empresa. A equipe é composta por:

- *Sponsor*: responsável por identificar as necessidades do projeto, auxiliar na definição dos objetivos, metas e prioridades. Apoiar e motivar a equipe na superação dos desafios. Também audita o andamento da implementação e apoia o gerente do projeto, provendo recursos e obtendo apoio de departamentos necessários;
- Gerente do Projeto: lidera a implementação e assegura que os objetivos sejam atingidos, mensura e divulga os resultados obtidos. Acompanha periodicamente a implementação no *genba* e pode ter mais de um projeto sob sua coordenação;

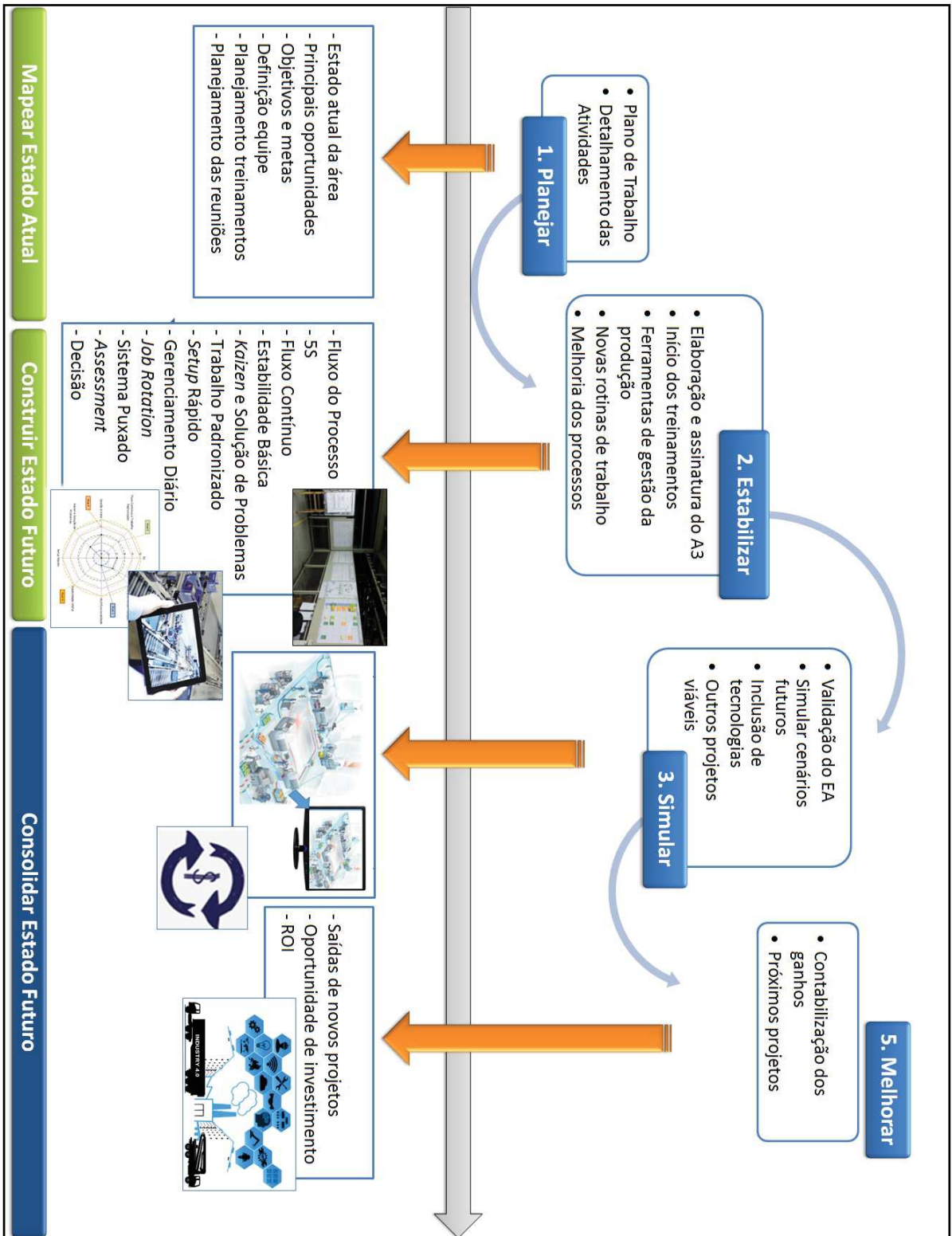


Figura 19: Artefato: Método Proposto para Implementação do Sistema de Produção para Indústria de Autopeças (XPS)

Fonte: Elaborado pelo autor

- Especialista *Lean*: aprofunda-se nos conceitos e ferramentas do *Lean Manufacturing* e demais sistemas de produção para prover o conhecimento necessário para os integrantes do time e atuar como multiplicador. Acompanhar a evolução das ações, do cronograma e dos resultados do projeto, estando em comunicação constante com o *sponsor* e gerente do projeto. Também é responsável por identificar necessidades e problemas que requeiram a intervenção do *sponsor* ou demais gerentes / diretores da organização;
- Coordenador de Grupo: lidera um subgrupo dentro da equipe. Tem responsabilidade de liderar atividades práticas junto com sua equipe e buscar a parcela de resultado que lhe é competida;
- Analista de Modelagem: responsável pela construção do modelo computacional;
- Analista de Dados: responsável pela coleta, tratamento e atualização dos dados. O analista de dados desempenha a atividade de replicações e rodadas de simulação;
- Participantes: provê competências específicas e atua como elo de ligação entre o seu departamento e a área em melhoria. Implementa as ações necessárias, atendendo os prazos pré-estabelecidos e identificando necessidades de recursos. É "peça" chave na disseminação das melhorias para demais colegas da empresa;

Para melhor organização do projeto, o especialista *Lean*, com apoio do gerente do projeto, elabora um plano de trabalho, o qual deve ser validado e aprovado pelo *sponsor* antes do início do projeto e é apresentado a todos os participantes. O plano de trabalho deve conter:

- Objetivos e metas: resultados esperados ao término do projeto;
- Equipe participante: definição da equipe e atribuição das responsabilidades;
- Planejamento dos treinamentos: definição dos treinamentos que serão ministrados para qualificação do time multidisciplinar;
- Planejamento das reuniões: definição das reuniões dos grupos, para discutir e acompanhar a evolução das ações e manter *stakeholders* informados do andamento do projeto.

No planejamento devem ser definidos alguns objetivos para o projeto, que são desafios voltados à melhoria ou solução de problemas existentes na área. Envolver a gestão para fornecer orientações aos objetivos da empresa e recursos focando nos indicadores: produtividade, qualidade, pontualidade e segurança. Estes desafios são definidos com participação do *sponsor*, gerente do projeto e especialista *Lean*, e devem levar em consideração o estado atual da

área e o estado futuro desejado. É necessário que os resultados gerados pelo projeto sejam adequados com o investimento em tempo e pessoas. Na sequência será apresentada a segunda fase do Artefato.

4.2.2 Fase 2: Estabilizar

Após a realização do diagnóstico, apresentado anteriormente é iniciado a qualificação do time e implementação das melhorias de acordo com as prioridades da área. A escolha dos treinamentos a serem ministrados leva em consideração as particularidades da área e seus objetivos. Os treinamentos são ministrados pelo especialista *Lean*, o qual também possui a responsabilidade de coordenar as atividades práticas (realizadas no *genba*). Os objetivos e conteúdos dos treinamentos escolhidos para este projeto são apresentados abaixo:

1. Introdução a mentalidade enxuta: promover o entendimento dos conceitos fundamentais do *Lean*, simular a aplicação dos conceitos do *Lean Thinking* em uma fábrica de forma lúdica, despertar o pensamento enxuto e a capacidade de identificação de desperdícios dentro da empresa, mostrar como a mentalidade enxuta pode aumentar a competitividade das empresas e mostrar o passo a passo da implementação. Como conteúdo principal tem conceito de valor, identificação de fluxos de valor, fluxo contínuo, diferença de sistema puxado para sistema empurrado, nivelamento da produção, perfeição e aprimoramento dos processos, melhoria e estabilização;
2. Academia do sistema de produção: é um treinamento prático, realizado em um laboratório, onde a saída é construir tratores em miniatura, fazendo quatro rodadas de produção, avançando em cada uma delas com a inclusão de ferramentas de gestão da produção, conscientização da importância da melhoria contínua e utilização das práticas de sistemas de produção para obter melhorias nos processos. Como conteúdo principal tem o que é mentalidade enxuta, gestão de pessoas, valor, fluxo de valor, fluxo contínuo e sistema puxado;
3. Mapeamento do Fluxo de Valor (MFV): apresentar o mapeamento do fluxo de valor de modo prático e desenvolver as habilidades da equipe para enxergar o fluxo de valor atual e projetar os fluxos de valor do estado futuro (podendo ser combinado com a simulação). Como conteúdo principal tem fluxo de valor, o mapa do estado atual, o fluxo de valor enxuto e o mapa do estado futuro;
4. Gerenciamento do A3: apresentar o raciocínio que deve ser seguido na construção de um A3, juntamente com a definição de cada etapa e quais as vantagens de se utilizar

essa ferramenta para a realização de um projeto, para a resolução de um problema ou para alguma tomada de decisão. Como conteúdo principal tem histórico da ferramenta A3, apresentação de todos os requisitos necessários em um A3 e explicação detalhada de cada passo;

5. Organização do local de trabalho: apresentar a relação entre o 5S e o sistema de produção, mostrar conceitos e metodologias que favoreçam o desenvolvimento de um padrão de organização, definir o que é uma área organizada. Como conteúdo principal tem fazer com que todos os colaboradores saibam o que significa a organização em cada local de trabalho, além de disseminar o conceito para que o mesmo se torne uma cultura dentro da empresa;
6. Gerenciamento Diário (GD): é o processo contínuo que tem como objetivo garantir que está sendo feito o trabalho certo, do modo certo, no tempo certo para alcançar o sucesso do negócio, em todos os níveis da organização. De modo a evitar surpresas, dando início a solução de problemas que gera aprendizado organizacional e alta competitividade. Como conteúdo principal tem *heijunka*, Quadro de Análise da Produção (QAP), *Andon*, cadeia de ajuda, solução de problemas, 5 Porquês e *kamishibai*;
7. Troca Rápida de Ferramentas (TRF): objetivo é criar um fluxo, a fim de reduzir custos de produção, promovendo alta qualidade, criando flexibilidade com maior capacidade de resposta. Como conteúdo principal tem mapeamento estado atual, separação de *setup* interno e externo, conversão de *setup* interno para externo, redução dos tempos internos e externos e padronização;
8. *Kaizen* e solução de problemas: melhorias ditadas pela necessidade, eliminação de desperdícios e incentivar os colaboradores na participação. Como conteúdo principal tem conceitos iniciais, definição de problemas, ciclo PDCA, análises e soluções de problemas (diagrama de pareto, diagrama de causa e efeito (*Ishikawa*), histograma e gráficos);
9. Multifuncionalidade: capacitar os colaboradores para a implementação da abordagem “Zero Defeitos” e atividades de melhorias no sistema de produção. Implementar gestão à vista da mão de obra, elevar a qualificação das pessoas. Como conteúdo principal tem conceitos de multifuncionalidade, *Jidoka*, *Job Rotation*, Célula U, matriz de versatilidade, postos e frequência do *Job Rotation*;
10. Estabilizando a produção: apresentar métodos de identificação de problemas para solucionar e estabilizar os processos. Como conteúdo principal tem analisar os dados,

identificando as perdas causadas pela máquina, revisão das habilidades, dimensionando os supermercados e as rotas de abastecimento;

11. Fluxo contínuo e trabalho padronizado: mostrar a aplicação do fluxo contínuo nos processos por meio de exercícios e a importância do trabalho padronizado para estabilização das melhorias. Como conteúdo principal tem relação com MFV, *takt*, estabilidade do processo, conceitos de células produtivas e métodos de controle;
12. Sistema "puxado" e nivelamento da produção: mostrar como é o cálculo para dimensionamento do sistema puxado e os tipos de *kanban*. Como conteúdo principal tem análise de oscilação da demanda, tipos de sistemas puxados, dimensionamento do supermercado de produto acabado, definição do processo puxador, nivelamento do processo puxador e dimensionamento do supermercado de componentes;

Os treinamentos poderão ser alterados e ou acrescentados novos conforme desenvolvimento do projeto, com base no diagnóstico, visando as necessidades para melhoria da área em projeto. Na Tabela 6 é mostrado as saídas esperadas de cada treinamento. Essa fase é responsável pela reunião de início do projeto, onde é apresentado o A3 a todas as lideranças da empresa. Esse evento ocorre no início do projeto, sempre após o treinamento de mapeamento do fluxo de valor.

O objetivo de reunir as lideranças e apresentar o planejado para o projeto, é firmar um compromisso dos envolvidos na busca pelos resultados, além de reforçar institucionalmente a importância do projeto. Como forma simbólica de compromisso com o projeto, todos os participantes assinam o A3. Neste evento o presidente da empresa dá as boas vindas e encerra a reunião reforçando o projeto em questão com as estratégias do negócio. Os acompanhamentos dos resultados do projeto são realizados mensalmente por meio dos indicadores de monitoramento.

O primeiro desafio do projeto é identificar quais as ferramentas / treinamentos que mais agregam ao fluxo produtivo da área em questão e colocar todos integrantes do time alinhados a estes objetivos. A partir da estabilidade das operações e das melhorias implementadas com as ferramentas dos sistemas de produção, inicia-se uma nova etapa, avaliar a viabilidade de implementação de tecnologias disponíveis, para melhorar ainda mais o processo, com base nos pilares, descritos anteriormente. Mas antes de finalizar a fase de planejamento, tem-se a avaliação chamada de *Assessment*, para direcionar o projeto aos resultados esperados.

Tabela 6: Saídas Práticas dos Treinamentos

Treinamentos	Saídas de cada treinamento
1. Introdução a mentalidade enxuta	treinamento inicial onde a saída é fortalecer o time para buscar os objetivos do projeto
2. Academia do sistema de produção	treinamento prático em um laboratório onde a saída é construir tratores em miniatura, fazendo quatro rodadas de produção, avançando em cada uma delas com a inclusão de ferramentas de gestão da produção
3. Mapeamento do fluxo de valor	conhecer o fluxo do processo, identificar as oportunidades de melhoria e projetar um novo estado futuro, o qual será alvo do time do projeto (podendo ser em conjunto com a simulação)
4. Gerenciamento do A3	contrato do projeto, contemplando os objetivos e metas que serão buscados pelo time
5. Organização do local de trabalho	implementação de rotinas de organização e limpeza na área, além da padronização
6. Gerenciamento diário	implementação da cadeia de ajuda, quadro de análise da produção (previsto x realizado), <i>andon</i> e <i>kamishibai</i>
7. Troca rápida de ferramentas	mapeamento do <i>setup</i> interno e externo por máquina, gestão à vista da instrução e acompanhamento do tempo de troca das ferramentas
8. <i>Kaizen</i> e solução de problemas	método para resolver problemas, <i>ishikawa</i> , cinco porquês (praticados no <i>genba</i>)
9. Multifuncionalidade	construção do quadro de lotação e matriz de versatilidade, implementação do <i>job rotation</i> e gestão a vista para acompanhamento das qualificações
10. Estabilizando a produção	quadro de capacidade de produção por máquina, gráfico de pareto dos problemas por máquina, rotinas de abastecimento de matéria prima
11. Fluxo contínuo e trabalho padronizado	revisão das saídas do treinamento de gerenciamento diário, avaliação de novas oportunidades de <i>layout</i> e construção/melhoria nas instruções de trabalho padronizado
12. Sistema puxado e nivelamento da produção	implementação do <i>kanban</i>

Fonte: Elaborado pelo autor

4.2.2.1 Assessment

É utilizado para auditar a implementação do XPS, permitindo o entendimento do que precisa ser corrigido. O *Assessment* é conduzido por um time capacitado da empresa, permitindo apresentar e discutir a situação encontrada na avaliação. É baseado em um *check-list*, visando detectar erros, falhas reais e potenciais, composto de treze questões, as quais podem obter a nota de zero a dez, sendo: 0 - exigências não foram cumpridas; 4 - exigências cumpridas insatisfatoriamente; 6 - exigências cumpridas em parte; 8 - exigências cumpridas em sua maioria (poucas divergências); 10 - exigências cumpridas completamente.

Após auditar é elaborado o plano de ação, que permite comparação e *benchmarking* com clientes e parceiros, além de auxiliar na priorização das ações, visando melhor aproveitamento dos recursos na jornada de implementação XPS. O *Assessment* também é uma ferramenta possível de ser utilizadas para comparação entre áreas da organização, além de oferecer apoio e identificar melhorias necessárias para potencializar e difundir a cultura de melhoria contínua. É formado por oito pilares, sendo dois no âmbito gestão, três na Função Processo e dois pilares na Função Operação. Conforme Figura 20.

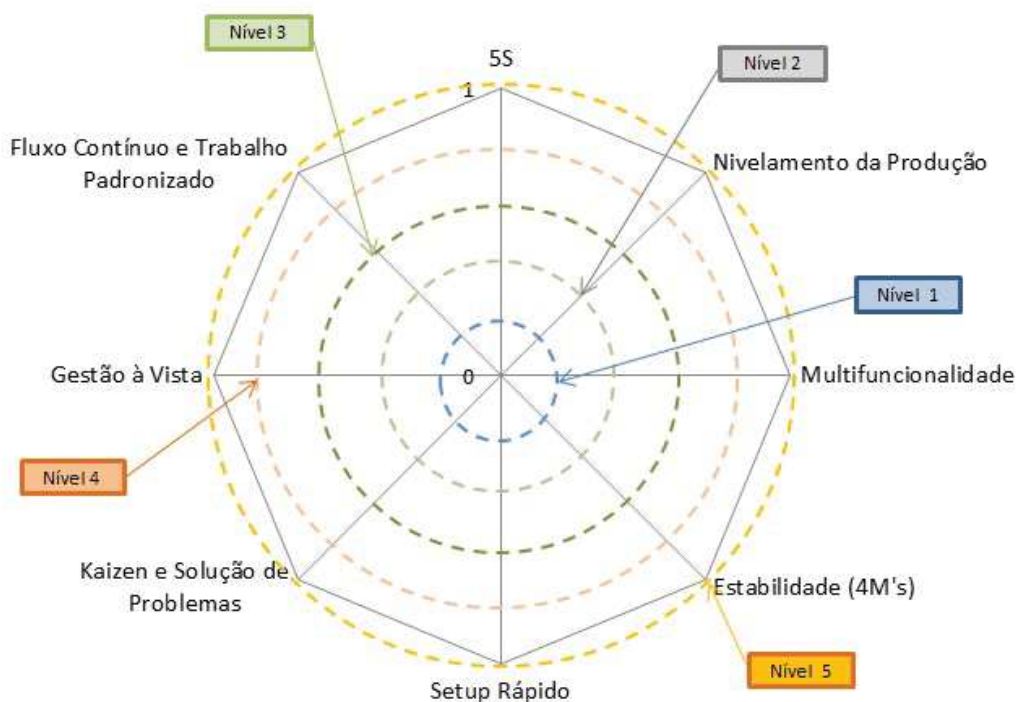


Figura 20: Pilares do *Assessment*
Fonte: Elaborado pelo autor

Abaixo o detalhamento do que é composto cada pilar de avaliação:

1. Organização do local de trabalho (Gestão): tem como objetivo verificar se as condições de trabalho favorecem a exposição e eliminação dos desperdícios e não afetam a qualidade do produto. São avaliados neste pilar os seguintes pontos:

- iluminação do posto de trabalho;
- armazenamento de produtos (peças sobre a borda da embalagem, embalagens com sujidade, peças misturadas em uma mesma embalagem);
- demarcação no posto de trabalho;
- armazenamento anti-danos (peças no chão);
- estado e conservação do piso e quadros de gerenciamento;
- painéis, estantes e armários identificados;
- materiais desnecessários são descartados;
- operadores colaboram com a manutenção das máquinas;
- condições de segurança para os colaboradores;
- ferramentas e instrumentos de medição, armazenados corretamente.

2. Sistema puxado e nivelamento da produção (Função Processo): tem como objetivo verificar se as demandas e prazos são atendidos mediante planejamento e nivelamento da produção, se a produção é planejada com base na demanda do cliente e se esforços são feitos para o atendimento às metas planejadas e se o planejamento da produção é realizado conforme a demanda de cada produto. São avaliados neste pilar os seguintes pontos:

- sistemática de planejamento da produção *heijunka* definida e sendo seguida;
- quadro *heijunka* atualizado com o último planejamento;
- descrição das causas de não atendimento ao planejado;
- tomada de ações para as causas de não atendimento;
- *heijunka* planejado atende a programação de entrega de cada produto;
- planejamento baseado no *takt time* e capacidade de produção de cada produto;
- Quadro de Análise da Produção (QAP) com metas hora a hora definidas;

- todos os operadores possuem QAP para acompanhar atendimento à meta de produção;
- produção de cada componente/produto iniciada conforme ponto de disparo estabelecido;
- rota logística e pontos de entrega de materiais respeitados.

3. Multifuncionalidade (Função Operação): tem como objetivo verificar se as ferramentas para gestão de pessoas garantem a estabilidade da mão de obra e se a multifuncionalidade está implementada e existem práticas sendo executadas para melhoria dos indicadores de gestão de pessoas. São avaliados neste pilar os seguintes pontos:

- quadro de gestão de pessoas atualizado com o respectivo operador de cada posto;
- cartões do quadro de gestão de pessoas atualizado conforme matriz de qualificação;
- os operadores demonstram habilidade na execução do processo e conhecem as inspeções necessárias;
- operadores operando possuem as qualificações necessárias para o processo sendo executado;
- quadro de lotação atualizado com os treinamentos pendentes de cada operador em mais de um processo para *job rotation*;
- sistemática de *job rotation* definida e sendo cumprida pelos operadores;
- a função de cada operador é compatível com a sistemática de *job rotation* implementada;
- colaboradores estão na função correta conforme a função requisitada para o processo que realizam;
- ações são tomadas para identificação e melhoria de condições de trabalho não ergonômicas;
- a liderança realiza *feedbacks* para desenvolvimento individual com a equipe.

4. Estabilidade (Função Processo): tem como objetivo avaliar se a liderança e supervisão acompanham os dados da produção para garantir a estabilidade e a tomada de ações robustas. São avaliados neste pilar os seguintes pontos:

- coleta diária com análise dos dados de estabilidade da produção para os 4 M's (mão de obra, máquina, método e material);
- ações corretivas robustas impedem a recorrência dos problemas de instabilidade;
- componentes/matéria prima necessários para a produção sempre dispostos conforme planejamento;
- operadores possuem conhecimento das ferramentas implementadas na área;
- líderes e supervisores se reúnem diariamente para análise dos resultados do dia e tomada de ações;
- existe uma rotina de caminhada pela liderança e esta vem sendo seguida para garantir a sustentabilidade do projeto pela área (auditorias do supervisor e gerente);
- os planos de ações em andamento da linha estão com prazos atualizados;
- as reuniões de indicadores estão acontecendo na frequência estabelecida.

5. Troca Rápida de Ferramentas (TRF) (Função Operação): tem como objetivo avaliar se a metodologia implementada para *setup* garante adequada disponibilidade para produção. São avaliados neste pilar os seguintes pontos:

- instrução de trabalho padronizado para realização do *setup* elaborada e sendo cumprida;
- *setup* interno e externo bem definidos e padronizados;
- tempos de *setup* realizados são monitorados e avaliados;
- meta de tempo de *setup* definida e análise de causas e tomada de ações quando meta não atingida;
- em caso de *setup* não (*Single Minute Exchange of Die* (SMED) ou Troca Rápida de Ferramentas), existe separação clara dos tempos de caminhada e de atividades que não agregam valor.

6. *kaizen* e solução de problemas (Gestão): tem objetivo de avaliar se é dada a tratativa correta às anormalidades e se a metodologia de resolução de problemas e melhoria contínua é seguida pela liderança e equipe operacional e verificar se as áreas envolvidas estão agindo para que a produção atinja as metas estabelecidas melhorando a disponibilidade e reduzindo o índice de rejeito. São avaliados neste pilar os seguintes pontos:

- método dos 5 porquês é utilizado para análise da causa raiz dos problemas encontrados;
- líderes e operadores tem conhecimento da sistemática de resolução de problemas;
- os operadores são envolvidos durante as atividades de análise para solução de problemas. Ex.: análises *ishikawa* e 5 porquês;
- ações são robustas e problemas avaliados em análise *ishikawa* não reincidem;
- supervisores de turno, líderes de produção e técnicos participam das atividades de resolução de problemas em frequência estabelecida;
- avaliações baseadas no atendimento do tempo *takt*;
- operadores identificam e param a produção quando alguma anormalidade acontece;
- existe um plano para o desenvolvimento de trabalhos focados em resoluções de problemas da linha com uma estrutura de equipe formada. Ex.: Círculos de *kaizen*;
- trabalhos de resolução de problemas realizado pelos times em gestão à vista na linha;
- responsáveis da cadeia de ajuda definidos e atualizados;
- operadores estão habilitados a parar a linha e acionar a cadeia de ajuda;
- cadeia de ajuda auxilia antes da parada da linha, atendendo ao tempo *takt* e as metas hora a hora definidas;
- *andons* são usados de forma visual para identificar a parada de linha e/ou sinais de anormalidade (não atendimento à meta, peças defeituosas);
- definido limite de tempo de linha parada para rápida tomada de ação e encaminhamento dos problemas às áreas envolvidas.

7. Gestão à vista (Gestão): tem como objetivo avaliar se esta sendo aplicada para gerenciamento e desdobramento da estratégia da empresa. São avaliados neste pilar os seguintes pontos:

- os indicadores avaliados são estratificados por turno de trabalho (quando houver) e atualizados em gestão à vista para todos os operadores;
- o histórico de todos os indicadores estratégicos estão em gestão à vista para fácil consulta e análise;

- usada gestão à vista para sistemática *andons* da cadeia de ajuda;
 - níveis mínimos e máximos são usados visualmente para identificação do ponto de disparo;
 - quadro de análise da produção atualizado com as causas de não atendimento e quantidades previstas e realizadas;
 - quadro *kamishibai* com prazos das ações e linha do tempo atualizados;
 - uso visual dos limites FIFO (*First In, first Out* ou Primeiro a Entrar Deve Ser o Primeiro a Sair).
8. Fluxo contínuo e trabalho padronizado (Função Processo): tem como objetivo verificar a utilização do "*one piece flow*" (fluxo de uma peça), para redução do *Lead Time*, dos custos com sucateamento devido a fabricação de grandes lotes e se existe trabalho padronizado e este está sendo cumprido pelos colaboradores para garantia do cumprimento as metas de produção. São avaliados neste pilar os seguintes pontos:
- FIFO definido e claro;
 - quantidade de peças FIFO sendo seguido entre os processos;
 - utilização do tempo máquina, aprimoramento dos operadores;
 - estoques pequenos e controlados entre os processos;
 - tempos de ciclo dos processos nivelados;
 - elementos de trabalho bem distribuídos entre os operadores (sem ociosidade);
 - indicador de *Lead Time* e estoque em processo, avaliado em frequência estabelecida;
 - todos os postos possuem instrução de trabalho padronizado;
 - colaboradores executam a sequência do processo conforme trabalho padronizado estabelecido;
 - trabalho padronizado definido para cada posto atende o tempo *takt*;
 - instruções de trabalho padronizado são chamadas no roteiro de processo de produção como requisitos do processo;
 - existe uma rotina de trabalho padronizado definida para os líderes de produção e supervisores e esta é cumprida em sua frequência estabelecida.

Os 8 pilares geram uma nota, podendo ter a seguinte classificação, conforme Tabela 7.

Tabela 7: Classificação e Saídas do *Assessment*

Classificação	Desempenho	Descrição
Ouro	91% a 100%	Excelência - atuando de forma sustentável*
Prata	81% a 90%	Requer melhorias de baixa complexidade**
Bronze	70% a 80%	Processos estabilizados, porém não sustentáveis*
<i>Back-to-basics</i>	0% a 69%	Não está apto a avançar, necessita voltar para o básico e estabilizar a operação

* Ferramentas implementadas e auto gerenciadas pela liderança.

** Reforços de treinamentos e acompanhamento junto aos colaboradores.

Fonte: Elaborado pelo autor

Após a realização do *Assessment* e identificado as oportunidades de melhorias, são iniciados os planos de ação, para eliminar os problemas encontrados, independente da nota obtida. Se o desempenho da avaliação for superior a 69%, o projeto segue para a próxima fase. Caso o desempenho for igual ou abaixo de 69%, o projeto deverá ser postergado pelo período necessário para retomar as ações que foram classificadas abaixo do esperado na avaliação e comunicado o *sponsor* desta tratativa. Na sequência será apresentada a próxima fase do Artefato, a simulação.

4.2.3 Fase 3: Simular

Essa fase além de simular como o nome já diz, tem a responsabilidade de despertar na equipe envolvida no projeto, um viés de inovação, por meio das tecnologias disponíveis e cada vez mais atrativas econômico e financeiro, chamada de Indústria 4.0. Também com o proposto de diminuir as incertezas existentes durante a execução do projeto, utiliza-se a simulação com nuvem de pontos, tornando o processo mais efetivo para sua execução. A utilização das fases anteriores e agora com a simulação, permite um ganho de conhecimento sobre o comportamento do sistema de manufatura estudado. A simulação permite maior análise, por meio de indicadores e avaliação mais detalhadas das sugestões de melhorias. A análise é realizada por diversos cenários futuros, validando quais devem ser focadas em um horizonte definido. O Artefato proposto consiste na união das atividades previstas anteriormente (descritas até aqui) e de etapas necessárias para a construção do modelo computacional. A Figura 21 ilustra a união das etapas de desenvolvimento da simulação.

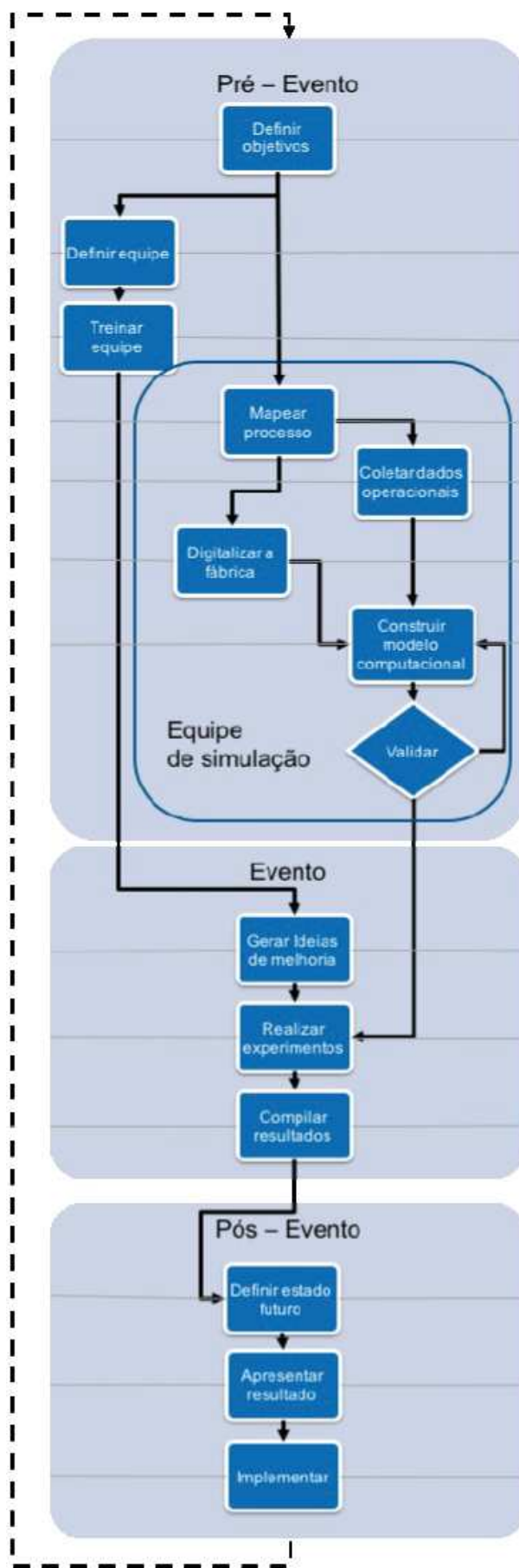


Figura 21: As Etapas da Simulação

Fonte: Elaborado pelo autor em parceria com Senai (2018)

A seguir são detalhas cada uma das etapas:

Pré-Evento da Simulação

É realizado a coleta de dados para o completo entendimento da área. Seu objetivo é a compreensão mais profunda, no intuito de desenvolver oportunidades de melhoria. É uma continuação das atividades apresentadas anteriormente, como: definição dos objetivos, da equipe e treinamentos. São realizadas as seguintes atividades:

- Mapear processo: é utilizado para entender de forma clara e simples como uma unidade de negócio está operando, representando cada passo de operação dessa unidade em termos de entradas, saídas e ações. O objetivo desta etapa é auxiliar na construção do modelo computacional e para um melhor entendimento dos processos produtivos. o mapeamento do processo é realizado pelo analista de modelagem;
- Digitalizar a fábrica: consiste no escaneamento da área onde será realizado o projeto de melhoria. Esta atividade pode ser realizada por atores externos (contratação de serviço) ou pelo analista de modelagem;
- Coletar dados operacionais: é realizado pelo analista de dados, sendo responsável por realizar a coleta, tratamento, atualização e disponibilidade dos dados probabilísticos. É realizada em conjunto com os treinamentos ministrados nas fases anteriores e são tratados no formato adequado para carga no *software*;
- Construir modelo computacional: o analista de modelagem transcreve o "chão de fábrica" para o modelo computacional. Nesta etapa é realizada a integração com a nuvem de pontos da digitalização;
- Validar modelo computacional: é realizada por comparação entre os resultados encontrados na simulação com dados reais. Quanto maior a aderência entre o sistema real e o simulado, mais confiável é o modelo de simulação. Por exemplo, se a aderência entre os modelos real e virtual for de 95%, é sugerido que o modelo virtual representa o modelo real com uma confiabilidade de 95% dos dados. Para o Artefato, é considerado válidos valores com aderência acima de 90% para o sistema de produção Ferro (2014); Freitas Filho (2008). Para essa comparação pode utilizar indicadores como o número de produtos produzidos ao longo de um período (real x simulado), determinando assim a aderência do resultado simulado pela razão das duas medidas (FERRO, 2014).

Além de utilizar os indicadores para validação, eles também serão utilizados para avaliar o impacto das alterações realizadas no modelo computacional de estados futuros. Desta forma o cenário de estado futuro é tido como melhor quando estes indicadores são melhores que do estado atual ou anteriores simulados. Essa etapa é coordenada pelo analista de modelagem.

Evento da Simulação

É composto por três etapas, sendo elas possíveis de serem realizadas em paralelo com as saídas de cada treinamento:

- Gerar ideias de melhoria: nesta atividade toda a equipe do projeto busca mergulhar nas implicações do desafio estudando diversos pontos de vista e idéias disponíveis. A imersão pode ser dividida em preliminar, quando há um primeiro contato com o problema, e em profundidade, quando se inicia o levantamento das necessidades e oportunidades que irão nortear a geração de soluções na etapa seguinte do projeto;
- Realizar experimentos: com todas as ideias de melhoria identificadas durante a etapa de projeto, o analista de modelagem gera os cenários de estado futuro com base nas alterações sugeridas. Nesta etapa deve-se gerar o maior número de cenários possíveis para garantir uma maior abrangência das melhorias;
- Compilar resultados: o analista de modelagem apresenta a compilação de todos os resultados obtidos dos modelos computacionais de cenários de estado futuro. Os resultados são debatidos com toda a equipe com o intuito de identificar os pontos fortes e fracos da implementação de cada ideia de melhoria.

Pós-Evento da Simulação

Realizada a avaliação final das melhorias, analisando os itens de sucesso e falhas. As saídas desta etapa são:

- Definir estado futuro e apresentar resultados: estas atividades ocorrem juntas. Coordenada pelo gerente do projeto o objetivo é confrontar os resultados obtidos da simulação do estado futuro, com os indicadores definidos. A saída desta etapa é a escolha do cenário futuro a ser implementado. Para escolha do melhor cenário é utilizado a metodologia

de decisão multicritério *Technique for Order of Preference by Similarity to Ideal Solution* TOPSIS Hwang e Masud (2012). O TOPSIS, permite a adoção de uma quantidade não limitada de critérios para avaliar uma quantidade não limitada de alternativas Junior e Carpinetti (2015). Funciona da seguinte forma: a alternativa escolhida deve estar o mais próximo possível da solução ideal e tão longe quanto possível da solução ideal negativa, onde a solução ideal é formada como um composto dos melhores valores de desempenho exibidos (na matriz de decisão) por qualquer alternativa, quanto a solução ideal negativa é a combinação dos piores valores de desempenho, assim sendo, a proximidade de cada um destes desempenhos é medida no sentido euclídeo (por exemplo, raiz quadrada da soma das distâncias ao quadrado ao longo de cada eixo no "espaço de atributo") Kahraman (2008). Dessa maneira, com o método empregado, resultará nas alternativas que estejam tão próximas quanto possível da solução ideal positiva e o mais distante quanto possível da solução ideal negativa, isto é, entende-se que a solução ótima deve estar mais próxima da solução ideal positiva e mais distante da solução ideal negativa Hwang e Masud (2012);

- Implementar: a implementação real do plano de ação, bem como na documentação de todas as atividades desempenhadas na execução da simulação, é importante que todos os modelos e cenários de estado futuro sejam documentados. A implementação varia de acordo com o plano de implementação e investimento disponível. Conforme relatado nas delimitações, não será abordada esta etapa no presente trabalho.

A inclusão da simulação aumenta a eficácia do projeto de melhoria por meio da inserção de tecnologias para análise de estado futuro, possibilitando a análise multicritério e utilização de algoritmos para geração de cenários futuro. A implementação demanda investimentos em recursos tecnológicos e humanos. Sem equipe qualificada, não é possível construir modelos computacionais que representem a realidade da linha de produção. As utilizações de novas tecnologias também trazem desafios importantes para o desenvolvimento da simulação. Para o escaneamento de uma linha de produção é ideal que não hajam pessoas circulando, além disso, os dados gerados demandam computadores de alto desempenho para o processamento, além de especialista em modelagem dedicado.

Na Tabela 8 é apresentado um resumo dos requisitos e restrições de cada um dos recursos tecnológicos necessários para a efetiva aplicação do Artefato.

Tabela 8: Requisitos e Restrições para os Recursos Tecnológicos

Recursos	Requisitos	Restrições
<i>Plant Simulation</i> TM	Licença profissional e adicional para nuvem de pontos	Compatível somente com nuvem de pontos em formato .POD e necessidade de um especialista em modelagem com conhecimento CAD
<i>Laser Scanner</i>	Aquisição do equipamento ou contratação de serviço	Quantidade de pontos, colorização dos pontos, quantidade de varreduras, escaneamento realizado fora do horário de operação da área de produção
<i>NX CAD</i> TM	Licença profissional e adicional referente a <i>cloud</i>	Não é compatível arquivos de nuvem de pontos coloridas, exceto .POD
Computador	Alta capacidade de processamento e armazenamento	Investimento alto para aquisição do equipamento

Fonte: Elaborado pelo autor

Existem outros *softwares* que podem ser utilizados além dos descritos, os quais podem ter outros requisitos e restrições. Para este trabalho foram escolhidos estes devido a já serem utilizados na empresa em estudo. Os requisitos humanos e tecnológicos apresentados nas tabelas anteriores são fatores relevantes visando a replicação deste conhecimento em prática rotineira da organização. Na sequência será apresentado a última fase do Artefato.

4.2.4 Fase 4: Melhorar

A Fase Melhorar é a consolidação do trabalho, tendo como objetivo resgatar o histórico das atividades realizadas, criando um momento de encerramento deste ciclo e projetar o próximo estado futuro. Destaca-se nesta fase a contabilização dos ganhos obtidos durante o tempo de projetos e resgatar as lições aprendidas para que seja gerado melhoria contínua no Artefato.

A simulação (etapa anterior) traz vários cenários possíveis para implementação, com mudanças de baixa até alta complexidade, desde oportunidades de implementação das melhorias a nível de *layout* ou inclusão de tecnologias no ambiente fabril. Para isso é necessário avaliar se estas propostas são viáveis financeiramente para a empresa, logo o Artefato utiliza uma ferramenta para avaliação, o ROI, sigla em inglês para *Return on Investment*, que em português significa “Retorno sobre Investimento” (ASSAF NETO, 1997; PADILHA, 2015). É medido, pela relação entre o resultado gerado pelos ativos – interpretado como operacional – e o montante dos investimentos realizados gerador do resultado operacional. Esta medida baseada em

resultados provenientes da atividade objeto da empresa, quantifica o retorno produzido pelas decisões de investimento, e permitem que se proceda, pelos valores apurados, a uma avaliação sobre a atividade econômica do empreendimento, definindo inclusive, a atratividade e as condições de sua continuidade (ASSAF NETO, 1997). Padilha (2015), reforça que é a relação entre o dinheiro ganho ou perdido por meio de um investimento, e o montante de dinheiro investido. A fórmula para o cálculo do ROI é:

$$ROI = \frac{(\text{retorno} - (\text{investimento} \times \text{taxa de juro anual}))}{\text{investimento}} \quad (4.1)$$

Para cálculo do ROI visando aprovação para implementação de uma nova tecnologia, melhorias, *layout*; é utilizado um *template* específico, conforme ilustra a Figura 22.

Análise de Investimento						
Nome do Projeto:	_____					
Responsável:	_____					
Data Realização:	_____					
ROI - Cálculo por Fluxo de Caixa						
	Ano 0	Ano 1	Ano 2	Ano 3	Ano 4	Ano 5
Investimento						
Retorno						
Fluxo de Caixa	R\$ -	R\$ -	R\$ -	R\$ -	R\$ -	R\$ -
Taxa de Juros (custo Capital)	15,00%					
ROI = soma do fluxo de caixa / soma dos investimentos						
ROI	➔ 					
* A utilização deste cálculo é quando o meu retorno vem ao longo dos anos.						

Figura 22: Análise de Investimento - ROI

Fonte: Elaborado pelo autor

Essa análise de investimento é composta de:

- Nome do projeto: um novo investimento, requer um novo projeto. Este campo é para inclusão do assunto a ser avaliado;
- Responsável: pessoa que coordenará e controlará o futuro investimento;
- Data realização: período em que foi avaliado a condição de investimento;
- Investimento: valor total a ser pago no ano correspondente (com impostos);

- Retorno: valor do ganho obtido com o investimento (redução de mão de obra, aumento de velocidade, diminuição de estoques, redução do tempo de atravessamento...);
- Fluxo de caixa: é a diferença do investimento menos o retorno. Acrescido de 15% (taxa de juro) a partir do ano 1 sob o valor residual;
- Ano: ano correspondente ao investimento e retorno financeiro, padrão de 40 meses;
- Taxa de juro: política da organização, valor viável para que o investimento não fique em aplicações financeira. Para definição do caso proposto a taxa será de 15% ao ano;
- ROI: retorno do investimento, se positivo (acima de 5) o projeto está aprovado. Abaixo de 5 (cinco), o projeto é automaticamente reprovado.

A transformação dos indicadores de desempenho em dinheiro, foi por meio dos ganhos de produtividade e redução dos estoques intermediários. Produzindo mais tanque com os mesmos recursos ou o mesmo número de tanques com menos recurso, conforme Tabela 9:

Tabela 9: Transformação dos Indicadores de Desempenho em Dinheiro

Indicador	Calcular o Ganho Mensal	Ganho Anual
<i>Lead Time</i>	É o principal indicador, considera a redução em tempos de operação, redução em tempos de <i>setup</i> , exclusão de operações do processo, redução nos custos dos centros de trabalho. É calculado pelo custo unitário da melhoria multiplicado pela demanda mensal.	Ganho da melhoria unitária multiplicado pela demanda de 12 meses.
<i>WIP</i>	Redução na quantidade dos estoques intermediários. Calculado por meio da comparação da quantidade inicial com a quantidade final do projeto.	Valor do ganho (inicial x final) multiplicado por 12 meses.
<i>DP</i>	Melhorias em <i>layout</i> . Calculado por m^2 reduzido.	m^2 reduzido multiplicado por 1.000*
<i>HH/Tanque</i>	Ganhos relacionadas a esforço/resultados. Calculado pelas melhorias implementadas multiplicado pelo número de funcionários no início do projeto, que é multiplicado por 3.000*	Valor mensal de ganho multiplicado por 12 meses

* Valores de referência

Fonte: Elaborado pelo autor

Na próxima seção apresenta-se a aplicação do Artefato em uma Fábrica de Autopeças, seguindo as fases apresentadas anteriormente.

4.3 Avaliação do Artefato em uma Fábrica de Autopeças

A avaliação do Artefato, foi realizada por meio da aplicação prática em uma Fábrica de Autopeças. O objetivo desta avaliação consiste em verificar se o Artefato, uma vez colocado em prática, consegue responder à questão de pesquisa, mostrando seus resultados e mensurando no intuito da realização de uma avaliação crítica do mesmo.

4.3.1 Apresentação da Fábrica de Autopeças

Foi aplicada na *Bruning Tecnometal*, uma empresa do ramo metal mecânico, localizada em Panambi, no estado do Rio Grande do Sul - Brasil, fornecedora de produtos estampados, soldados e pintados a diversos clientes dos segmentos automotivo, rodoviário, agrícola e construção. A empresa foi fundada por *Ernesto Rehn* em 1º de abril de 1947. Entre 1947 e 1967 ela dedicava-se à manutenção de equipamentos agrícolas importados e, nos anos seguintes, à construção de pequenas máquinas agrícolas e de beneficiamento de madeiras. Em 1967, com a nacionalização das colheitadeiras automotrizes, começou a produção de componentes para essas máquinas. Em 1984, ela passou a fornecer componentes para tratores. Em 1988, iniciou o fornecimento de peças para caminhões. Em 1995, começou a produção de peças para automóveis. A partir de 2012, ingressou num novo segmento, fornecendo peças para a indústria do ramo de construção. Após a estabilização macroeconômica, iniciada em 1994, a Bruning passou por uma intensa fase de crescimento, sem paralelo em seus 70 anos de existência (SCHMIDT JUNIOR et al., 2017).

Atualmente, a Bruning produz peças metálicas conformadas por meio de processos a frio (temperatura ambiente), chamado de estampagem metálica. Somado a isso, possui os processos de solda e pintura, que por vezes são necessários para completar os conjuntos produzidos para os clientes. Estando a Bruning em Panambi, uma cidade com 43.170 habitantes (IBGE, 2016). E tendo 2.700 funcionários (BRUNING, 2018). Ao final do ano de 2018 a Bruning teve o seu melhor faturamento na história de R\$ 606 milhões (US\$ 170 milhões). Com tal faturamento a Bruning pode-se considerar entre as 1000 maiores empresas do Brasil (EXAME, 2017). A Bruning está certificada pelas normas *International Organization for Standardization* (ISO) 9001, *International Automotive Task Force* (IATF) 16949 e ISO 14001. Possui seu sistema de gestão integrado com base na *Occupational Health and Safety Assessment Services*

(OHSAS) 18001. Sua missão é buscar oferecer produtos de alta qualidade, gerando resultado e sendo consolidada como uma empresa sustentável. A visão é criar valor contínuo para o negócio e sociedade, oferecendo as melhores soluções de produtos e serviços para os clientes, estando à frente do mercado em produtividade, fazendo uso de modernas tecnologias de processo e conhecimento.

Dentre os diversos produtos fabricados pela Bruning, destaca-se o tanque de combustível em alumínio, responsável por 15% do faturamento da empresa, onde está alocada 4,8% dos funcionários que trabalham na produção. O tanque é produzido para atender as montadoras de caminhões instaladas no Brasil (BRUNING, 2018). Tal equipamento oferece vantagens com relação ao concorrente direto (tanque de combustível plástico), pois permite a reciclagem, atende a parâmetros estéticos definidos pelos departamentos de marketing das montadoras, permite uma maior vida útil e não representa um custo tão mais elevado que a opção plástica. Contudo sua produção não é simples, em função das características de soldabilidade do alumínio, com condutividade térmica cinco vezes superior a do aço, porém com um ponto de fusão 51% menor que o do aço (660°C para o alumínio, enquanto o ponto de fusão do aço é de 1.350°C), gera uma grande demanda de calor para se realizar a solda do alumínio, porém a poça de fusão apresenta uma solidificação bastante rápida. Processos especiais foram desenvolvidos para que as condições de solda permitissem a aprovação em rigorosos testes de resistência (SCHMIDT JUNIOR et al., 2017). Na Figura 23 está exemplificado o produto selecionado e sua aplicação.



Figura 23: Aplicação dos Tanques de Combustível
Fonte: Schmidt (2014)

A escolha dessa área para realização do estudo ocorre tendo em vista a necessidade da Bruning em identificar maneiras de elevar a capacidade produtiva destes produtos e aumentar a sua competitividade no mercado nacional e internacional. Também a oportunidades de fechamento de novos negócios com previsões de aumento do faturamento. A área onde estes

produtos são fabricados é dedicada somente a eles. Adicionalmente é o único processo da empresa que utiliza alumínio como matéria-prima. Tal área ganhou a denominação de **Linha 47**. As demais linhas produtivas da empresa atuam na fabricação de peças predominantemente de aço. A Figura 24 apresenta a distribuição da demanda de tanques considerando todos os clientes nos últimos anos. O ano que mais apresentou produção foi 2018, com 87.329 tanques produzidos, o que representa uma produção média mensal de 7.277 tanques.

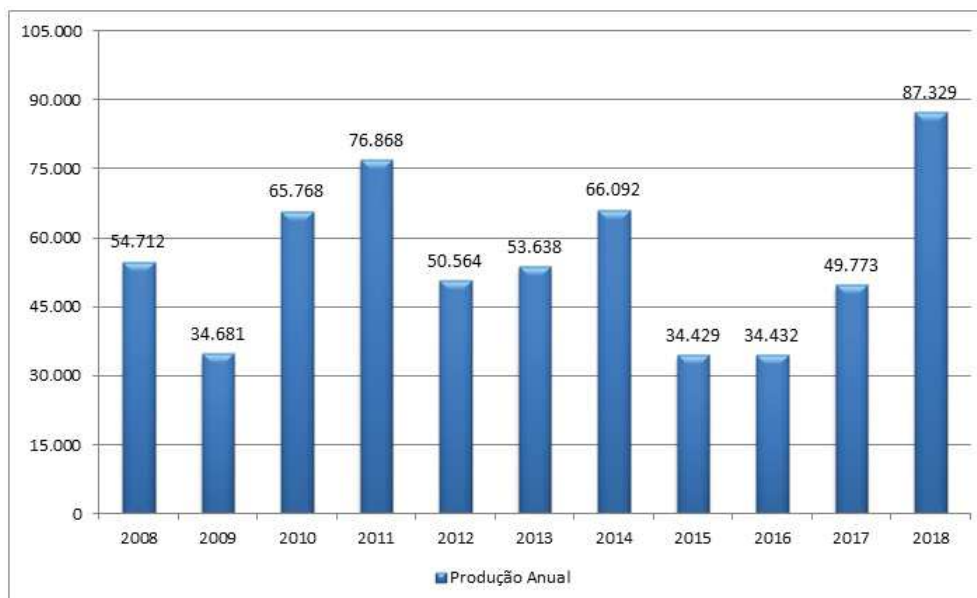


Figura 24: Produção Anual dos Tanques de Combustível

Fonte: Elaborado pelo autor

A Bruning fabrica estes produtos conforme os projetos de seus clientes. Por este motivo, há variações de acordo com os modelos de cada cliente, que são basicamente relacionadas ao formato do tanque (redondo, quadrado e “D”) e sua dimensão (capacidade de armazenagem de combustível em litros). Para cada variação de formato do tanque e dimensão, o cliente nomeia o produto com um código diferente (chamado de *part number*). Em termos de variação dos produtos, a empresa fornece com demanda regular em torno de 40 itens diferentes para quatro principais clientes. Porém, o tanque com formato redondo possui uma demanda mais expressiva que os demais.

4.3.2 Aplicação da Fase 1: Planejar

A Linha 47 possui várias células de manufatura, cada uma para um modelo de tanque. Percebeu-se que o *layout* das estações de trabalho podem ser alterados, diminuindo a dis-

tância percorrida por trabalhadores e materiais, além do tempo de transporte de materiais e consequentemente redução do *Lead Time*. Essa fase foi estruturada nas seguintes etapas: levantamento das oportunidades, estruturação da equipe e reuniões para acompanhamento.

4.3.2.1 Levantamento das Oportunidades

O estudo de melhorias foi baseado na estratégia definida por Black, Kannenberg e Pizzato (1998), para converter uma fábrica existente em uma fábrica do futuro, incluindo nesta estratégia alguns dos conceitos e tecnologias da Indústria 4.0.

Layout de Manufatura

Deve ser avaliado e reorganizado o *layout* do sistema de manufatura. A Figura 25 mostra um *layout* do tipo *job shop*, bastante comum, em que é caracterizado pela elevada variedade de peças, máquinas flexíveis e um *layout* funcional, em que as máquinas são agrupadas por função (todos os robôs juntos, todas as prensas juntas) e as peças são roteadas no chão de fábrica em pequenos lotes para as várias máquinas. Nestas figuras, cada retângulo representa uma máquina e as letras indicam o tipo de máquina. Por exemplo: Tornos (T), Fresas (F), Montagem (M), Furadeiras (D), Retificadoras (R).

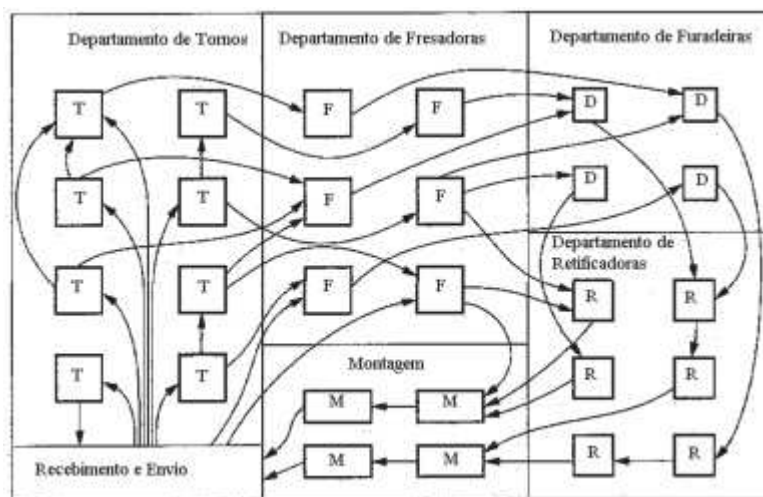


Figura 25: *Layout Job Shop*
Fonte: Black, Kannenberg e Pizzato (1998)

A Figura 26 mostra um *layout* de células interligadas, sendo que cada célula constitui-se de um grupo de processos projetados para fabricar uma família de peças de um modo flexível.

Os trabalhadores nas células podem cuidar de mais de um processo, inclusive vários tipos diferentes de processos.

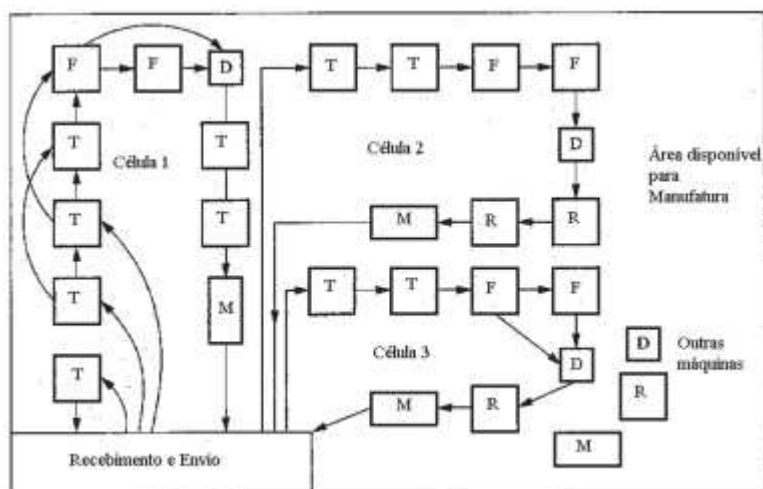


Figura 26: *Layout Células Interligadas*
Fonte: Black, Kannenberg e Pizzato (1998)

A Figura 27 mostra um *layout do tipo flow shop*, sendo orientado para o produto, em que máquinas diferentes são agrupadas em uma linha dedicada. Uma máquina de cada tipo é típica, exceto onde máquinas duplicadas são necessárias para equilibrar o fluxo. Os itens movem-se por meio das operações um de cada vez.

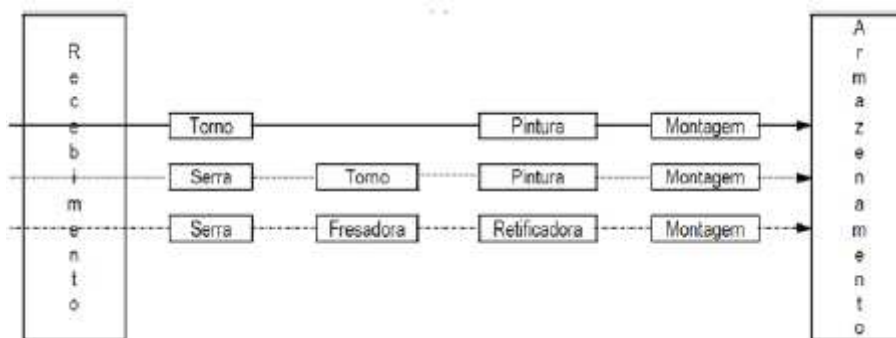


Figura 27: *Layout Flow Shop*
Fonte: Black, Kannenberg e Pizzato (1998)

Percebe-se que o *layout* de estações de trabalho pode ser alterado, diminuindo a distância percorrida por trabalhadores e materiais, além do tempo de transporte de materiais. Como por exemplo, há quatro estações de soldagem, sendo três em paralelo e uma está deslocada mais no início da fabricação das peças, e por ela estar localizada nesse ponto, gera um contra fluxo

da produção, gerando um desperdício em movimentação das peças. As maiores contribuições na melhoria deste aspecto serão feitas por meio da simulação.

Padronização dos Transportadores

Há oportunidades de melhoria nos transportadores e a utilização de tecnologias de transporte automático. A empresa utiliza diversos modelos diferentes, Figura 28. Sugere-se a padronização e utilização de um modelo único, podendo inclusive ter mecanismos que facilitem a carga/descarga do tanque (como por exemplo, roletes ou guias) para as máquinas ou mesmo possibilitando que a operação de algumas estações seja realizada com o tanque em cima do transportador, diminuindo o número de operações. Além disso, existem algumas estruturas de depósito intermediário (*buffer*) que possuem a mesma estrutura superior do transportador, mas não possuem rodas, reforçando que o tanque poderia permanecer no transportador, sendo um desperdício a colocação dos tanques nesses *buffer*.



Figura 28: Diferentes Transportadores
Fonte: Bruning (2018)

Utilização de Veículos Auto-Guidados (AGVs) são veículos/robôs autônomos usados para

o transporte de materiais no ambiente de manufatura de forma automática, projetado para receber e executar instruções, percorrer um caminho ou trajetória, receber e distribuir materiais. As instruções para um AGV indicam para onde o veículo deve se locomover, como deve chegar ao destino e o que fazer quando chegar ao mesmo. Os AGVs se apresentam como uma solução tecnológica para a substituição dos transportadores atuais (SENAI, 2018). A Figura 29 apresenta as três categorias de AGVs.



Figura 29: (a) Trem Sem Condutor, (b) Transportador de *Pallets*, (c) Transportador de Carga Unitária
Fonte: Senai (2018)

1. Trem sem condutor que consiste em um veículo de tração que puxa um ou mais carros de reboque. Uma aplicação comum é mover cargas pesadas em longas distâncias em armazém ou fábricas, com ou sem coleta intermediária e descarrega-os em pontos ao longo do percurso (SENAI, 2018).
2. Transportador de *pallets* semelhante a uma empilhadeira, possui garfos e consegue erguer e transportar *pallets*. Pode elevar a carga automaticamente ou através de um trabalhador humano que guia o AGV e usa seus garfos para elevar a carga e depois programa seu destino (SENAI, 2018).

3. Transportador de carga unitária que são usados para movimentar cargas de uma estação para outra. Eles são muitas vezes equipados para carregamento e descarregamento automático de *pallets* por meio de rolos, plataformas de elevação mecanizadas, ou outros dispositivos construídos dentro do veículo. Estes AGVs podem transportar tanto peças como também uma parte parcialmente concluída por meio de uma sequência de estações de trabalho para construir o produto (SENAI, 2018).

Reduzir ou Eliminar o *Setup*

Tempo de mudança de uma peça para outra dentro de uma estação de trabalho deve certamente ser o mínimo possível. Todos no chão de fábrica devem ser ensinados como reduzir o tempo de *setup*. Na estação de soldagem robotizada há um longo tempo de *setup* para a colocação e fixação do tanque e parametrização do robô. As sugestões de melhoria serão focadas na estação de soldagem robotizada, já que o *setup* das outras estações não são tão relevantes. Existem diversos ajustes e operações para colocar e fixar o tanque nesta estrutura. Sempre que um novo modelo deve ser inserido, ajustes são realizados na estrutura de fixação, Figura 30.



Figura 30: Estação de Soldagem Robotizada
Fonte: Bruning (2018)

Mesmo quando um tanque do mesmo modelo é colocado, a operação ainda é demorada. Uma possível abordagem inclui a modificação da estrutura de fixação, embora ela já possua algumas guias e travas, ainda necessita de muitos ajustes manuais. É possível reprojeter esta estrutura, incluindo mais alguns elementos que facilitem esta fixação, por exemplo a possibilidade de substituição de parafusos por parafusos com hastes, eliminando a necessidade de uso de ferramentas. Outra opção é desenvolver um mecanismo automático de ajuste e fixação, que substitua o atual e utilize atuadores pneumáticos ou hidráulicos para ajustes e fixação. Po-

dendo ser incluído sensores de posição e força/torque para garantir o posicionamento e fixação da peça. Devido aos modelos de tanques possuírem dimensões diferentes da mesma família, é possível utilizar os atuadores de dupla ação com compensadores de posição, um exemplo aplicado disso são as molas. Em contrapartida, podem ser monitorados por réguas de sensores ou um transdutor de posição, que informa ao Controlador Lógico Programável (CLP) que o dispositivo está na posição correta, e pode seguir o movimento (SENAI, 2018).

Também é possível melhorar o transporte do tanque, pois há demora em retirar o tanque do transportador e colocá-lo na posição de fixação, podendo ser usado um rolete, ou sistema similar, para permitir o melhor transporte até o ponto de fixação. Figura 31 modificando a estrutura do transportador (carro) e a base da estrutura de fixação (SENAI, 2018).

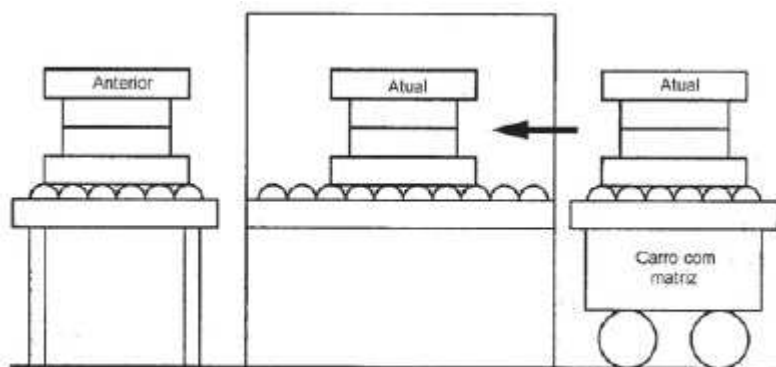


Figura 31: Troca de Tanques com Rolete
Fonte: Senai (2018)

Outra opção inclui retirar a estrutura de duas posições na célula de soldagem robotizada, substituindo a mesma por um transportador (carro) em que o tanque já está fixo. O tanque já é colocado neste carro no processo anterior, sendo que o robô realiza a soldagem diretamente no carro, que serve tanto como estrutura de transporte entre os processos, como estrutura de fixação para a soldagem robotizada. Assim, quando o robô finaliza uma soldagem, o carro anterior é retirado, seguindo para o processo seguinte, enquanto que o carro seguinte é posicionado no local em que a soldagem deve ser realizada. Deve-se ter uma quantidade suficiente de carros que permitam transportar todos os tanques sem gerar esperas nos processos e ser inseridas barreiras de segurança por luz na área de soldagem, já que o operador entrará nesta área para posicionar e retirar os transportadores (SENAI, 2018).

Rastreabilidade dos Tanques

Em cada tanque pode haver uma tecnologia que permita rastrear sua movimentação na fábrica, possibilitando gerar informações do tempo (total e em cada estação individualmente) de execução da operação, de espera e de transporte, além da quantidade de retrabalhos para cada item durante a manufatura. Para isso pode ser usada uma etiqueta de RFID (*Radio-Frequency IDentification*) no tanque ou ser impresso um *QR Code* na sua superfície, conforme modelos ilustrados na Figura 32.



Figura 32: a) Etiqueta de RFID Fixadas no Metal, b) Outro Modelo de Etiqueta de RFID Fixadas no Metal e c) *QR code* Marcado no Metal

Fonte: Senai (2018)

Pode também ser usado um *TaggenBeacon*, Figura 33, que é um pequeno dispositivo que emite sinais por meio da tecnologia *Bluetooth Low Energy (BLE)*, cujos pulsos são captados por qualquer aparelho com *bluetooth* ativado, como *smartphones*, *tablets* e *notebooks*.



Figura 33: *TaggenBeacon*

Fonte: Senai (2018)

O *TaggenBeacon* trabalha com padrões de mercado criados pela *Apple (Apple iBeacon)* e *Google (EddyStone)*, garantindo sua compatibilidade com aplicativos internacionais. Para rastrear os tanques, cada um deve ter uma etiqueta de RFID ou *TaggenBeacon* ou em cada um deve ser impresso um *QR Code*. Na entrada e saída de cada estação de trabalho devem ter leitores adequados, que podem ser manuais ou automáticos. O RFID e o *TaggenBeacon* operam por proximidade, não sendo necessário contato visual direto, já o *QR Code* necessita de contato visual direto. Com o *TaggenBeacon* ainda é possível espalhar diversos leitores de *bluetooth* pela fábrica, possibilitando a triangulação do sinal e a identificação mais precisa da posição do tanque.

No aspecto da aplicação é possível incluir estas tecnologias no rastreamento das matérias-primas do produto semi-acabado e do produto final. Incluindo na manufatura um melhor controle de estoque, permitindo identificar a quantidade exata de cada item na fábrica e sua respectiva localização.

Redução dos Estoques

O arranjo físico do *layout* ajuda no aproveitamento dos espaços e redução dos desperdícios de movimentação. Existe estoque intermediário e estoque de produto semi-acabado na Linha 47 (*Work In Process*). Recomenda-se analisar os reais motivos que estão levando a isso (por meio do mapeamento do fluxo de valor) e trabalhar na aproximação das máquinas, direcionando os tanques ao fluxo contínuo (simulação de *layout*).

Integrar a Manutenção Preventiva/Preditiva

Manutenção corretiva é quando a atuação ocorre quando há falha ou desempenho menor que o esperado. Já a manutenção preventiva e preditiva é quando a atuação ocorre de forma antecipada, de forma a reduzir ou evitar a falha e queda do desempenho. A manutenção preventiva segue um plano previamente elaborado, baseado em intervalos definidos de tempo. Já a manutenção preditiva é realizada com base no monitoramento de determinados parâmetros e a identificação de modificações de desempenho, por exemplo, o acompanhamento de degradação de um componente até um limite de segurança de operação (SENAI, 2018). É possível utilizar sensores para monitorar alguns componentes críticos de algumas máquinas da produção. Deve-se definir o que monitorar, para isso:

1. Selecione a(s) máquina(s) críticas do processo, ou seja, a máquina que, de forma alguma, não pode ser substituída por outra ou pelo processo manual;

2. Avalie nessa máquina quais os componentes que estão suscetíveis à quebra, seja ela por desgaste ou fadiga. Por exemplo, rolamentos, buchas, eixos, mancais, motores, componentes pneumáticas e entre outros;
3. Inclua tecnologias de sensoriamento. Quando for um componente rotativo é possível utilizar transdutores de torque que monitoram o comportamento do mesmo, havendo qualquer comportamento que está fora dos parâmetros ele avisará o sistema de forma de alarme, ou até mesmo a parada da máquina. Para a fadiga é necessário conhecer todas as forças aplicadas no componente e monitorá-lo pelo transdutor de força.
4. Por meio das informações coletadas é possível estimar se o componente permanecerá na vida infinita ou finita, dessa forma controlando a possível quebra do equipamento de forma antecipada (SENAI, 2018).

Além da inclusão de tecnologias para monitoramento de equipamentos para a previsão de manutenção, podem ser utilizadas tecnologias de realidade aumentada para facilitar a manutenção. A realidade aumentada é uma tecnologia que permite que o mundo virtual seja misturado ao real, possibilitando maior interação e abrindo uma nova dimensão na maneira as tarefas são executadas, melhorando os procedimentos de trabalho. Basicamente, nesta tecnologia uma câmera detecta um objeto ou um marcador e com isso projeta imagens virtuais sobrepostas às imagens reais, geralmente com informações úteis. A Figura 34 mostra um exemplo em que informações virtuais de uma máquina estão sendo mostradas sobrepostas às peças reais, auxiliando o trabalho do operador (SENAI, 2018).



Figura 34: Exemplo de Realidade Aumentada
Fonte: Senai (2018)

Nivelar e Balancear

Tipicamente algumas operações são mais demoradas que outras, fazendo com que alguns operadores fiquem sem nada para fazer, esperando a próxima peça chegar. Por outro lado, algumas operações podem requerer mais de um operador, sendo que isso muda de acordo com a demanda que deve ser atendida. O nivelamento e balanceamento de linha é o processo pelo qual é possível distribuir uniformemente os elementos de trabalho, melhorando o uso das pessoas e balanceando as cargas de trabalho e tempo de produção, visando reduzir os problemas de mudança, havendo também uma padronização da movimentação dos operadores de forma a reduzir o “vai-e-vem” para apanhar peças e ferramentas. As maiores contribuições na melhoria deste aspecto serão por meio das saídas dos treinamentos planejados, como por exemplo fluxo contínuo e trabalho padronizado. Sendo posteriormente validado pela simulação.

Automatizar Processos Manuais

Envolve a conversão de estações de trabalho manuais em estações automatizadas. É um processo que é aplicado pela necessidade de resolver problemas de qualidade ou capacidade (para eliminar um gargalo). Inclui a mecanização de operações como preparar, carregar, fixar, descarregar, inspecionar e a detecção e correção automática de problemas e defeitos.

Boa parte das estações de fabricação e montagem da Linha 47 são manuais ou semi-automáticas. O que se entende de semi-automáticas são aquelas operações, onde o operador posiciona a peça, fixa e aperta um botão para que a máquina executar a operação. As operações manuais são aquelas que são realizadas com operador manuseando uma ferramenta ou manipulando a peça/produto, e assim executando a operação no mesmo. Há várias maneiras e oportunidades de automatizar os processos, os pontos principais são: aumento da velocidade, diminuição dos riscos de acidente e eliminação da exposição dos operadores em atividades perigosas. Podem-se utilizar os robôs colaborativos para as operações de limpeza do tanque e demais rotinas de acabamento, compartilhando o mesmo local com os operadores, Figura 35.

Uma das principais vantagens na utilização desses equipamentos é a não utilização de sistemas de segurança como barreiras de luz, *scanner* de área, CLPs de segurança e entre outros. As principais desvantagens são a velocidade de trabalho e a capacidade de carga (25 Kg), restringindo o uso para os tanques de maior litragem que chegam a 40 kg. Outro ponto que viabiliza o processo de aquisição desses robôs é o modelo de aluguel, onde as empresas especialistas desenvolvem toda programação e ferramentas, além de instalar nas fábricas cobrando mensalmente o uso dos robôs, mas fornecendo todo o suporte necessário,



Figura 35: Robôs Colaborativos e Suas Aplicações

Fonte: Senai (2018)

como alterações de programas e manutenções. Assim, há uma redução no investimento inicial, já que não é necessário comprar os robôs neste modelo de aluguel.

Tecnologias de Predição

Após as alterações de melhorias alinhadas com os treinamentos ministrados e a inclusão de tecnologias, é possível a inclusão de um sistema computacional para planejamento e aprimoramento dinâmico da produção. Este sistema deverá continuamente coletar informações do processo, analisá-las e apresentar um planejamento otimizado da ordem de produção, indicando o que deve ser produzido e em qual ordem para atender as demandas de clientes e a capacidade atual do processo. Pode também ajustar o planejamento caso ocorram problemas nas máquinas ou inclusão de novos pedidos de produção prioritários, além de informar uma previsão do término de cada pedido e obter dados de desempenho do processo. Este sistema utiliza técnicas estatísticas, de mineração de dados e inteligência computacional, aliadas a disponibilização de volume de dados vindos da rede de sensores e sistemas de gestão da empresa, identificando relações entre estes dados, melhorando a produção e economizando energia, além de permitir descobertas para a tomada de decisões mais precisas. Atualmente, estes sistemas são desenvolvidos sob demanda por empresas especializadas, utilizando tecnologias de *Big data* e *Data Analytics*.

Apresentou-se um diagnóstico do processo de manufatura dos tanques de combustível, buscando fazer uma análise das oportunidades de melhorias e das tecnologias disponíveis.

4.3.2.2 Estruturação da Equipe e Reuniões

A estruturação da equipe foi realizada priorizando os diversos departamentos da empresa, buscando profissionais capacitados com o perfil para fazer a diferença positiva ao projeto, e também ser o agente da mudança na sua área de origem, para disseminar uma nova cultura organizacional. Esse time foi composto de aproximadamente 20 profissionais dedicados ao projeto, contando ainda com apoio do *sponsor*. As reuniões de acompanhamento foram definidas, seguindo os níveis:

- Bimensais: *sponsor*, gerente do projeto e especialista *Lean* apresentam os indicadores para diretoria e presidente da empresa;
- Mensais: gerente do projeto e especialista *Lean* elaboram apresentação resumida do status do projeto e levam para aprovação necessidades de investimentos. Essa reunião é realizada com todos os gerentes da empresa;
- Quinzenal: gerente do projeto, especialista *Lean* e coordenadores de grupo se reúnem para verificar o andamento do trabalho e definir as estratégias de condução do projeto;
- Semanais: os coordenadores de grupo se reúnem com suas equipe para conduzir as ações e atualização das pendências do projeto;
- Diárias: acontecem no *genba* no início e fim do turno de trabalho, tendo como pauta acompanhar o planejado x realizado da produção do turno, sob coordenação dos líderes de produção (coordenadores de grupo).

A Figura 36 ilustra a composição do time e suas respectivas áreas.

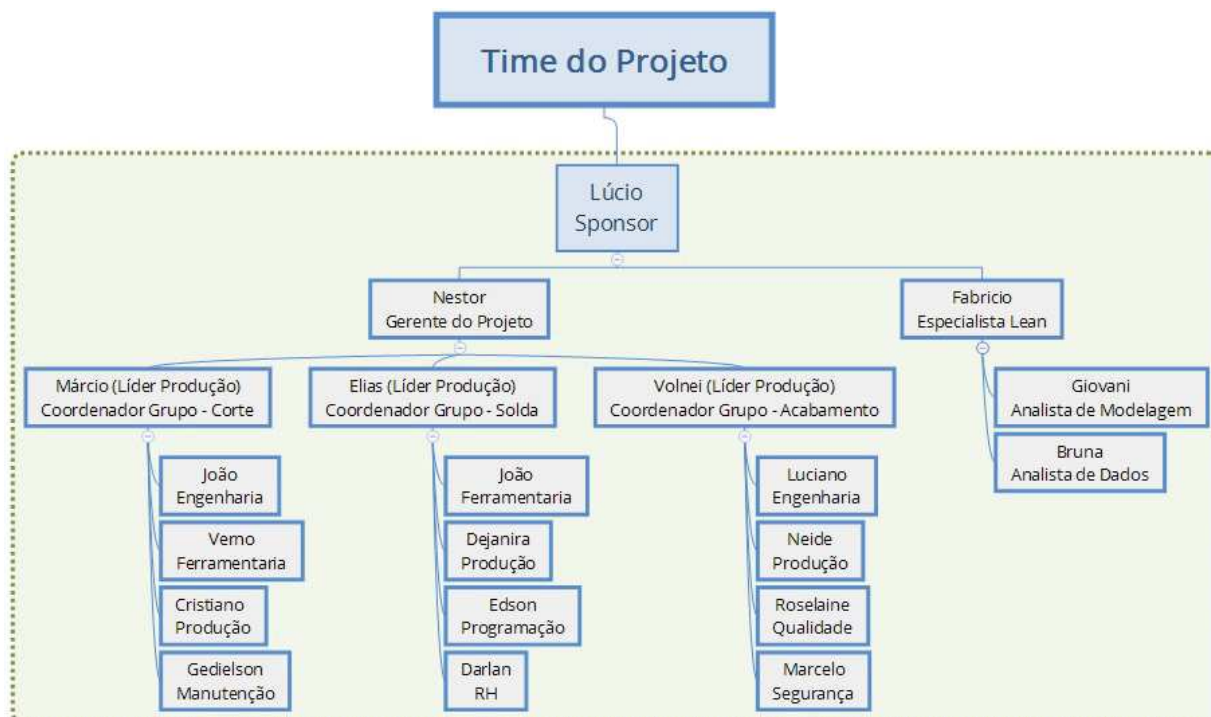


Figura 36: Estruturação da Equipe do Projeto

Fonte: Elaborado pelo autor

O tempo para realização desta fase foi de um mês, tendo dedicação integral do gerente do projeto e especialista *Lean*. Na sequência será apresentada a aplicação da segunda fase do Artefato.

4.3.3 Aplicação da Fase 2: Estabilizar

A Estabilidade constitui a base onde a Casa será construída. Ninguém construiria uma casa em um terreno arenoso, fofo e sem firmeza, porém surpresas acontecem, eis aqui o desafio para não deixar acontecer. Kosaka (2010), reforça que os gestores não podem achar normal, as enormes pilhas de peças amontoadas por todo canto do chão de fábrica, que ocupam em maioria dos casos mais espaços que os recursos produtivos. O resultado é o desperdício que só consome recursos, eleva o custo e não agrega nenhum valor. Em uma situação de competição acirrada, para as empresas, constitui-se no diferencial de continuar com atividades ou perder espaço para concorrentes. Levando em consideração as oportunidades apontadas anteriormente, foram escolhidos os treinamentos, Tabela 10, para qualificação do time do projeto.

Tabela 10: Portfólio dos Treinamentos Escolhidos

Item	Treinamentos	Motivo da Escolha
1	Introdução a mentalidade enxuta	Mudança de <i>mindset</i> , trabalhar o aspecto cultural da melhoria contínua e reforçar os objetivos do projeto
2	Mapeamento do fluxo de valor	Análise das oportunidade de eliminar desperdícios, além de conhecer o estado atual de operação
3	Gerenciamento do A3	Registrar a situação atual e definir objetivos e metas para o projeto
4	Gerenciamento diário	Gestão a vista das ferramentas de acompanhamento da produção
5	Troca rápida de ferramentas	Ênfase no <i>setup</i> dos robôs de solda
6	<i>Kaizen</i> e solução de problemas	Ensinar o passo a passo para resolver problemas de diversas complexidades e disseminar entre os trabalhadores a melhoria contínua
7	Fluxo contínuo e trabalho padronizado	Redução dos estoques intermediário, reavaliação do <i>layout</i> e redução do tempo de atravessamento

Fonte: Elaborado pelo autor

A Tabela 10 já está na ordem a qual os treinamentos foram ministrados, seguindo o planejado de dois treinamentos por mês. A busca pela cultura e engajamento do time aconteceu em todos os momentos do projeto, mas o treinamento de **Introdução a Mentalidade Enxuta** foi o responsável pela reflexão da importância do projeto ao negócio e na competitividade frente ao mercado atual. A mudança de *mindset* (mentalidade, se refere a uma predisposição psicológica que uma pessoa ou grupo social têm para determinados pensamentos e padrões de comportamento), trabalha o aspecto cultural da melhoria contínua e reforça os objetivos do projeto. Para manter o processo estável, requer uma tomada de posição e atitude diferente por parte dos gestores. Novas rotinas diárias deverão ser incorporadas no *genba*, o qual requer um acompanhamento de perto de tudo que está acontecendo nos mínimos detalhes. Qualquer anomalia no processo, faz a produção parar, por exemplo: falta de material, máquina quebrada, a falta de mão de obra, não qualidade e acidente no trabalho. Para isso, nada melhor do que gerenciar essas variáveis para minimizar ao máximo os impactos na produção e agir sempre que possível preventivamente.

No início do projeto escolhem-se os problemas que mais impactam no processo e iniciam-se as melhorias por eles, avançando um a um conforme evolução das atividades. Para resolver

cada um é necessário treinar os agentes da mudança (o time do projeto). O **Mapeamento do Fluxo de Valor**, também chamado de *Value Stream Mapping* é uma ferramenta utilizada para mapear todos os processos, analisando todas as atividades que agregam e que não agregam valor, permitindo identificar o tempo de produção e verificar as oportunidades de melhoria. Além de ter uma das saídas a priorização das ações para estabilização da operação. Como não é objetivo deste trabalho, não será detalhado o passo a passo para construção do MFV, podendo ser buscado em literaturas complementares. A escolha da família de produtos para realizar o mapeamento de fluxo de valor foi feita com base na Tabela 11, que apresenta um resumo da demanda por modelo de tanque.

Tabela 11: Demanda Diária de Tanques

Modelo de Tanque	Demanda Diária	Representatividade
Redondo	298	81%
Quadrado	38	11%
D	28	8%
Total	364*	100%

*Média de janeiro/18 a setembro/2018

Fonte: Elaborado pelo autor

A linha de produção do tanque de combustível, atua em dois turnos, totalizando 17,25 horas (62.100 segundos) disponíveis de produção, já excluindo os intervalos para refeições. O *takt time* da produção é de 170 segundos por tanque de combustível. A administração de material é o ponto inicial, para isso o fluxo de informação é um dos principais elementos do MFV, pois antecede o fluxo de material. O fluxo das informações do processo produtivo da Linha 47, levantadas para elaboração do mapa do estado atual são:

- Fluxo de informações do cliente: os clientes enviam programação duas vezes por semana, contendo a programação prevista para os próximos 6 meses, previsão revisadas para próximos 30 dias, pedido firme para a compra dos próximos 15 dias. Para todos os clientes há embarque diário ou semanal, onde as cargas são montadas a partir da quantidade necessária;
- Fluxo de informações de pedidos: a programação do cliente é recebida via *EDI (Electronic Data Interchange)*, e estas informações são repassadas ao sistema interno de controle de pedidos. Automaticamente é gerada uma sequência para fabricação dos produtos na produção, chamada de Sistema de Prioridades de Produção, e é visualizada pelos líderes de cada área;

- Fluxo de informações para fornecedores: a matéria-prima mais significativa na produção do tanque de combustível são as chapas de alumínio. Os pedidos de compra são enviados aos fornecedores considerando programação para os próximos 90 dias e mensalmente são firmadas ordens de compra para a matéria prima dos próximos 60 dias. Quinzenalmente a programação de compra de chapas é revisada, e semanalmente há entrega de material, com cargas que variam de acordo com a compra programada para aquele período.

Em todas as operações há estoque de peças em processamento, alto volume de matéria prima estocada, excesso de movimentação dos operadores para realizar a operação, distância elevada entre máquinas, necessitando de transportadores manuais, falta de fluxo contínuo (produz e espera), gerando assim oportunidades de inserção de novas tecnologias para redução destes desperdícios. Para isso o **Gerenciamento A3**, que é uma ferramenta desenvolvida pela *Toyota*, utilizada para propor soluções para os problemas, fornecer relatórios e relatar desempenhos apresenta os indicadores e metas para o projeto. A Tabela 12 mostra esses indicadores e metas, destacando o ganho esperado para cada, os quais foram definidos em conjunto pelo time do projeto e alta administração da empresa. Os mais significativos são 20% de redução para tempo de atravessamento, *WIP* e distância percorrida pelo operador.

Tabela 12: Indicadores e Metas do Projeto

Indicadores	Estado Atual	Ganho Planejado
Tempo de atravessamento	6,4	20%
Horas homem/tanque produzido	3,1	10%
<i>Work in Process</i>	56	20%
Distância percorrida	351	20%
ROI (cenário escolhido)	-	> 5

Fonte: Elaborado pelo autor

A reunião de formalização das metas para a alta administração da empresa e também a todos integrantes do projeto é realizada na reunião de *kick off*, consolidando o planejamento e direcionando os esforços em busca dos objetivos e metas apresentados. Nesta reunião também é assinado o A3, para reforçar o comprometimento de todos. Disponível no Apêndice B a foto do time do projeto com a alta administração.

O **Gerenciamento Diário (GD)** é utilizado para implementação da gestão a vista dos indicadores do projeto e implementação das ferramentas de gestão da produção, além de estabelecer rotinas de trabalho para as lideranças. A ferramenta chamada de cadeia de ajuda é

um diferencial para a operação, com ela é possível responder rapidamente a ocorrências e paradas de produção, estabelecendo uma interação padronizada entre a liderança, e os times das áreas de apoio para atuarem nos momentos certos, evitando maiores perdas. Para que ocorra é necessário identificar as pessoas chaves das áreas, os tempos de referência para a solução dos problemas e o padrão da sistemática para acionamento. O padrão definido para cadeia de ajuda, é apresentado no Apêndice C.

O Quadro de Análise da Produção (QAP) é utilizado para mostrar as divergências entre a produção planejada da realizada. Qualquer divergência para mais ou para menos, significa que há problemas e requer ações imediatas para não prejudicar as entregas ou aumentar o custo previsto da operação. O tempo *takt* deve ser seguido rigorosamente. A Figura 37 ilustra o QAP instalado na Linha 47 em uma das reuniões diárias.



Figura 37: QAP na Linha 47

Fonte: Elaborado pelo autor

O QAP esta diretamente ligada com o treinamento ***Kaizen*** e **Solução de Problemas**, pois sempre que houver parada, existe alguma anomalia, sendo necessário proceder com a metodologia de resolução de problemas, aplicando *ishikawa* e cinco porquês. O padrão definido para QAP é apresentado no Apêndice D.

No treinamento de **Troca Rápida de Ferramentas** foi dado ênfase nas operações de robô de solda, processo que possui oportunidades de melhoria mais representativo. Inicialmente realizou-se o mapeamento do estado atual, com a separação de *setup* interno e externo, conversão de *setup* interno para externo, redução dos tempos internos e externos e por último a

padronização por meio de instruções de trabalho. Este foi um dos treinamentos que o time do projeto necessitou do suporte de especialistas da área de ferramentaria para conseguir avançar na concepção das melhorias apresentadas na fase de planejamento, sendo realizado um projeto piloto em uma ferramenta a fim de validar as sugestões e levantar os investimentos necessários para abrangência da ação, além de verificar a viabilidade financeira para estas melhorias.

O treinamento de **Fluxo Contínuo (FC) e Trabalho Padronizado (TP)**, começa fazendo uma revisão das saídas do treinamento de Gerenciamento Diário, na sequência realiza uma avaliação de novas oportunidades de *layout* e melhoria no que tange a padronização das atividades, sendo elas registradas em instruções de trabalho e posterior treinamento a todos os envolvidos na operação. De acordo com Ghinato (2000), o balanceamento tradicional procura nivelar os tempos de ciclo de cada operação, de forma a fazer com que todos os operadores recebam cargas de trabalho semelhantes. Padronizar a maneira como o trabalhador deve executar os trabalhos é de fundamental importância, para isto implementa-se o TP que é uma ferramenta fundamental na obtenção e manutenção da qualidade de fabricação e segurança do trabalhador (KOSAKA, 2010).

Outro fator que faz com que o fluxo de produção não flui são os estoques intermediários, fazendo com que a operação produza e para. O excesso de movimentação também foi um fator relevante na Linha 47, evidenciou-se grande movimentação dos trabalhadores que operam os processos iniciais, Guilhotina, Puncionadeira, Calandras e Soldas Longitudinais. Para que esta situação fosse mensurada e a análise pudesse ser realizada de forma mais adequada, foram elaborados diagramas espaguete, que apresentam de forma clara o trajeto, a distância e tempo desperdiçado em movimentação para cada peça. A linha contínua é o trajeto do processo e a linha tracejada é o trajeto de retorno para a operação. O primeiro diagrama está apresentado na Figura 38, e mostra a movimentação de dois operadores da Guilhotina e Puncionadeira (os dois operadores trabalham juntos em uma máquina de cada vez). A distância percorrida entre eles é de 10 metros por peça produzida.

Os demais diagramas de espaguete estão disponíveis no Apêndice E. Um mostra a movimentação do operador nos processos de Calandra e Solda Longitudinal (um operador atua nas duas máquinas). E o outro diagrama mostra a movimentação do operador dos processos de Grampeamento e Embutimento das divisórias do tanque de combustível. Esses diagramas foram utilizados como entrada para a simulação, sendo que por meio do *software* foi possível adaptar o arranjo físico para diminuir espaços e também nivelar a produção com base nos tempos de processos. Os cenários propostos para melhoria serão apresentados na fase de simulação, que também irá abranger toda a linha de produção e não somente para as operações iniciais como foi realizado no treinamento de Fluxo Contínuo e Trabalho Padronizado, que

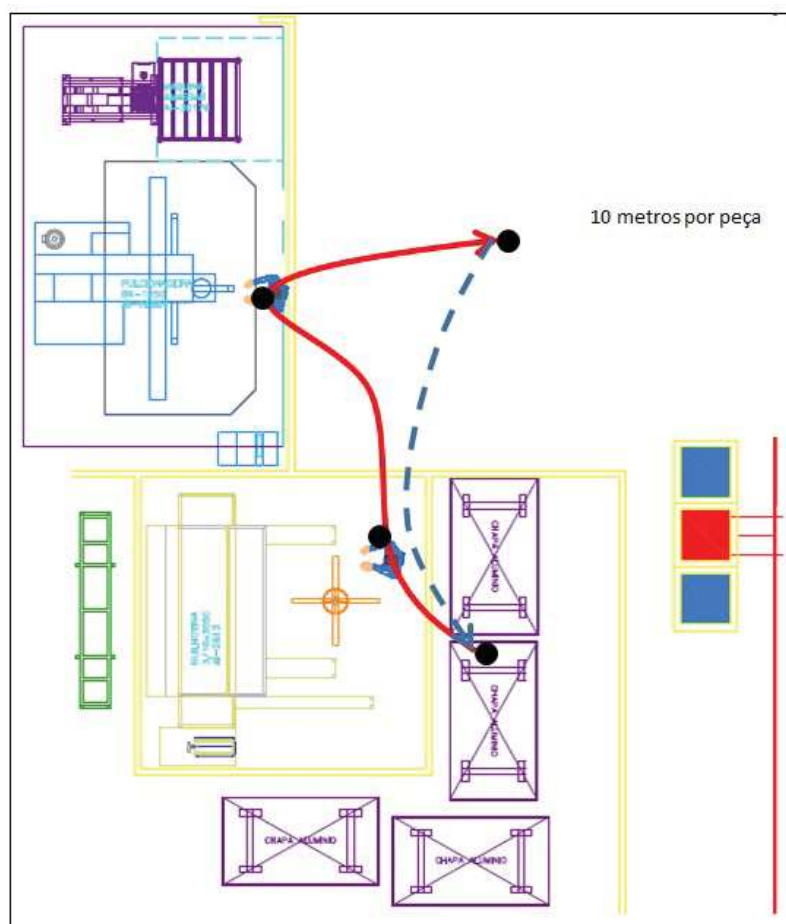


Figura 38: Diagrama Espaguete do Processo da Guilhotina e Puncionadeira
 Fonte: Elaborado pelo autor

teve como objetivo principal o aprendizado.

Finalizando os treinamentos, chega o momento de avaliar como estamos avançando com o projeto e se as ações realizadas até o momento estão no caminho certo, para isso aplica-se o *Assessment*. Na Linha 47 foram necessárias duas aplicação, na primeira aplicação a linha não obteve um bom desempenho, sendo necessário a elaboração de um plano de ação para buscar a estabilização e pontuação mínima para poder avançar com o projeto de melhoria. O desempenho da primeira aplicação foi de 63% (sete pontos abaixo da pontuação necessária). O pilar de menor desempenho foi *Kaizen* e Solução de Problemas, com nota (1,5%).

A Figura 39 apresenta os resultados obtidos na primeira aplicação do *Assessment*, com destaque positivo para *Setup* Rápido, 5S, Fluxo Contínuo e Trabalho Padronizado.

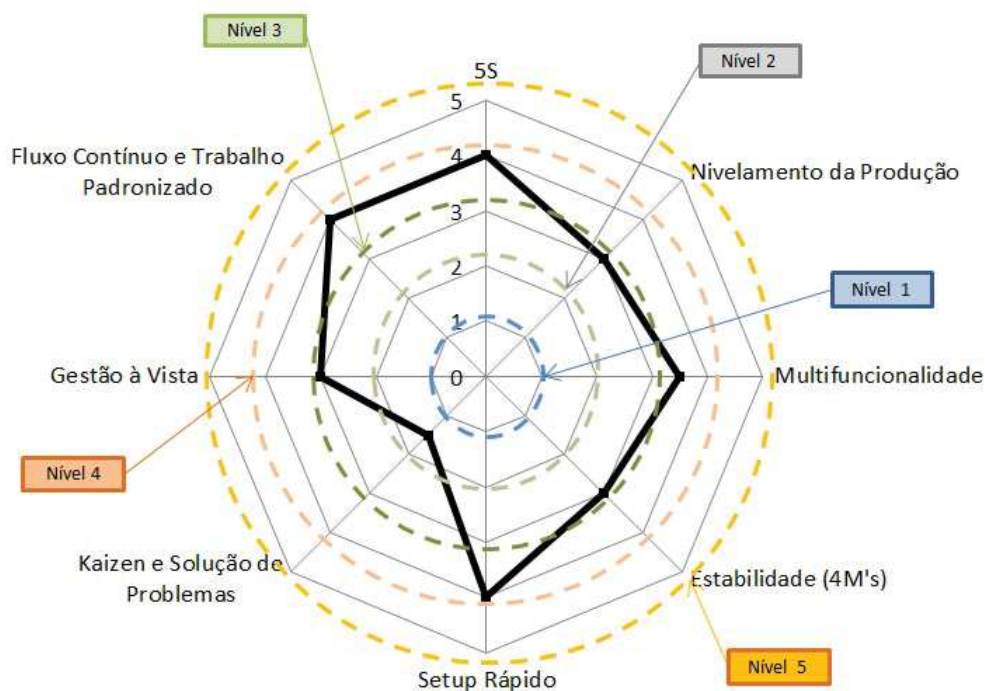


Figura 39: Primeira Aplicação do *Assessment* na Linha 47

Fonte: Elaborado pelo autor

Na busca pela estabilização, foram realizadas as seguintes ações:

- i. realizado o treinamento *kaizen* e solução de problemas a todos os funcionários da Linha 47, ministrados pela equipe do projeto;
- ii. disponibilizado *flip chart* com *templates* de *ishikawa* para os trabalhadores terem em mãos as ferramentas para investigação das causas dos problemas no momento em que estes ocorrerem;
- iii. implementada a caminhada da qualidade, onde todos os dias o gerente, supervisor e lideranças da área auditam um posto de trabalho. Avaliando e treinando os trabalhadores;
- iv. realizado treinamento coordenado pela área comercial, mostrando aos trabalhadores a aplicabilidade e visão do clientes sobre os produtos fornecidos pela Linha 47;
- v. realizado *yokoten* (troca de experiências) com outras empresas que estão mais avançadas na cultura de resolução de problemas e melhoria contínua;

- vi. implementado sistemática para sugestão de ideias, com premiação aos trabalhadores as quais as ideias foram aceitas e implementadas;
- vii. envolvido o Comitê de Ergonomia (COERGO), para avaliação dos postos de trabalho, afim de reduzir esforços dos trabalhadores. Atividade coordenada pelo analista de ergonomia.

Após seis semanas foi possível realizar a segunda aplicação do *Assessment*, disponível no Apêndice F. Esse tempo comprometeu o prazo final do projeto, sendo necessário postergação em igual duração. Nesta segunda aplicação o desempenho atingido foi de 77%, obtendo melhora em todos os elementos, inclusive *Kaizen* e Solução de Problemas. Indicando a continuidade para a próxima fase do Artefato, a Simulação.

Devido a necessidade de padronização da forma de aplicação do *Assessment*, é possível que, com a ocorrência de mudanças organizacionais e a constante mudança do mercado, refletindo a necessidade de inovação do negócio, algumas ferramentas implementadas deixem de ser prioridade e sejam substituídas. Na sequência será apresentada a aplicação da fase de Simulação do Artefato.

4.3.4 Aplicação da Fase 3: Simular

Essa fase tem como objetivo aumentar a eficácia do Artefato por meio da inserção da simulação para avaliação do estado futuro, possibilitando a análise multicritério e utilização de algoritmos para geração de cenários. A seguir aplicação na Indústria de Autopeças, seguindo as etapas da simulação no Artefato, apresentadas na subseção 4.2.3.

Pré-Evento da Simulação: Mapear Processo

Os tanques de combustível são constituídos das parte principais: corpo, divisórias, tampas e bocal. O processo de fabricação está dividido em duas sequências e é apresentado na Figura 40:

- i. primeira é a construção do corpo do tanque, onde serão montadas as partes posteriores;
- ii. segunda é a construção de tampas, divisórias e bocais, que são uma sequência paralela ao fluxo principal da produção, que posteriormente, os componentes do tanque são unidos ao corpo por meio do processo de soldagem, formando uma única peça.

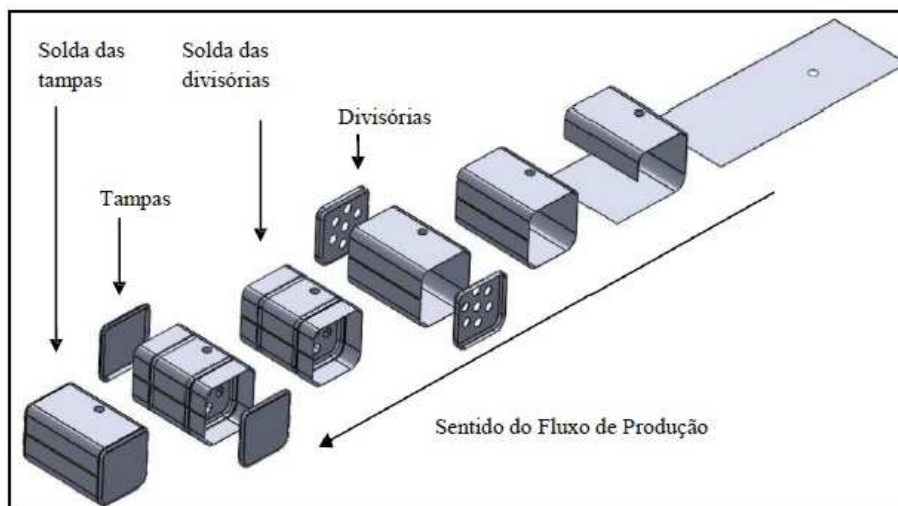


Figura 40: Sequência de Fabricação do Tanque de Combustível
Fonte: Schmidt (2014)

As células de trabalho dividem-se da seguinte forma:

1. Célula de corte: as operações de corte são os primeiros estágios na produção do tanque, são responsáveis pela transformação da matéria prima no tamanho correto para aplicação. O corte também é constituído pelas operações de prensa, responsável pela fabricação dos componentes dos tanques. Os operadores recebem treinamentos específicos nas máquinas que irão trabalhar, com carga horária variável conforme complexidade da operação;
2. Célula de solda: o processo de soldagem é o gargalo na produção dos tanques de combustível. Sendo assim, são essas duas operações que ditam o ritmo de produção de toda a linha. As operações de solda, são feitas por robôs pré-programados, preparados exclusivamente para essas operações. Os operadores que trabalham nessas duas etapas recebem treinamento de 40 horas sobre a solda e identificação de possíveis defeitos, além de treinamento para operação do robô;
3. Célula de acabamento/embalamento: a célula final de operação além de ser responsável pelos testes ao tanque (verificando se há vazamentos), também realiza o acondicionamento dele nas embalagens, montando componentes específicos quando requerido pelos clientes. Da mesma forma, os operadores recebem treinamentos específicos para essas atividades.

As células de trabalho da Linha 47 são ilustradas na Figura 41. E na Figura 42 é apresentado o fluxograma da produção do tanque de combustível.

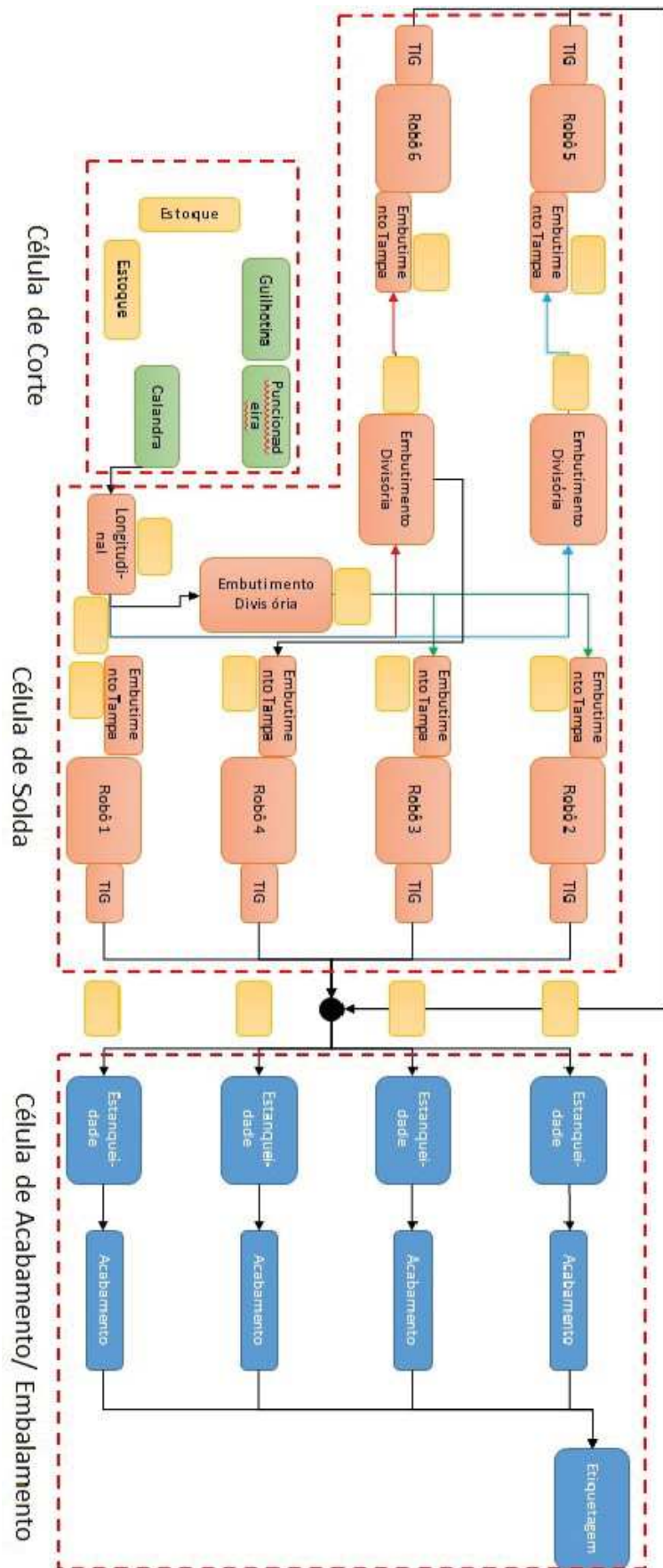


Figura 41: Layout Atual da Linha 47
 Fonte: Elaborado pelo autor

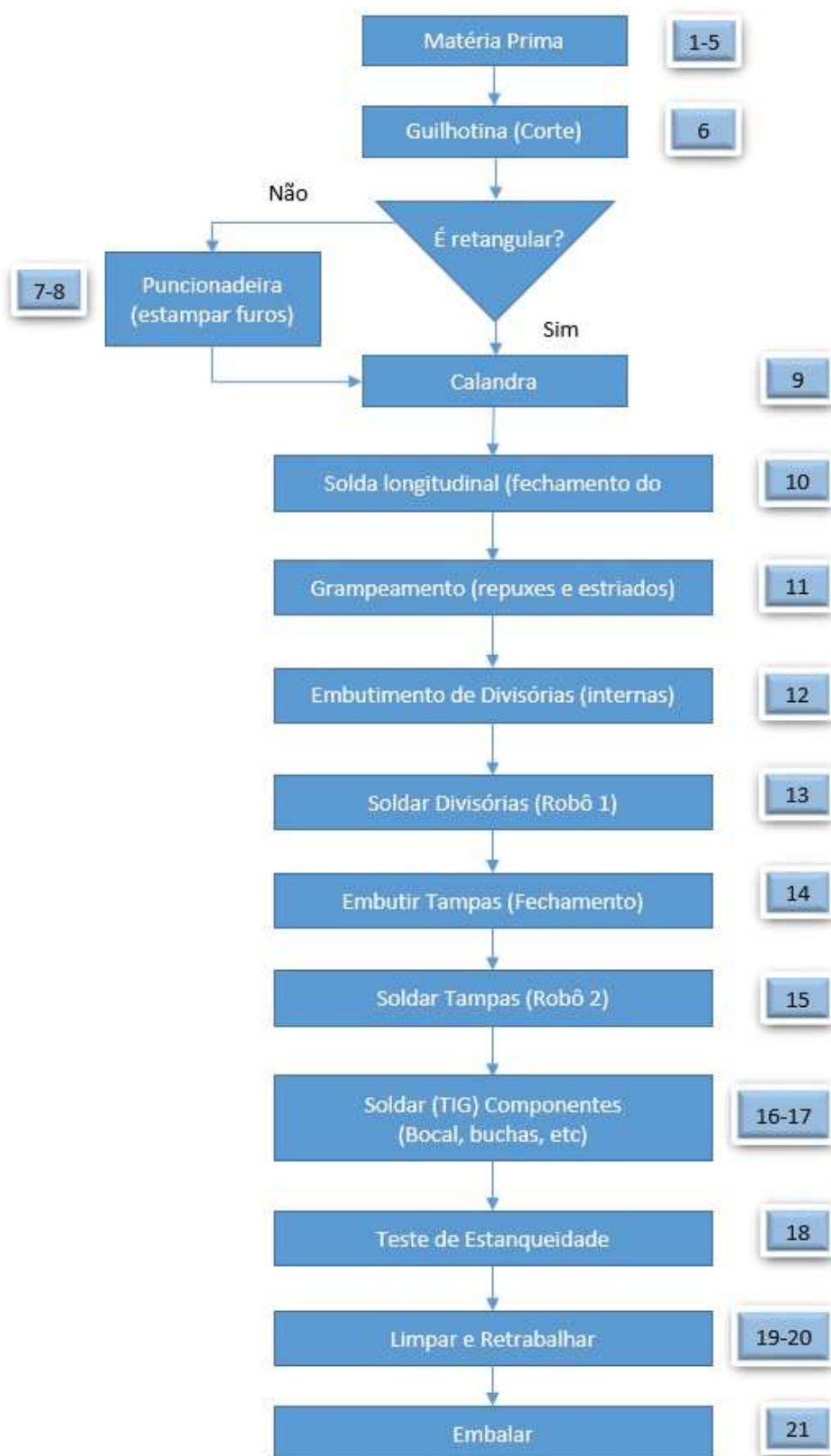


Figura 42: Fluxograma de Produção do Tanque de Combustível
 Fonte: Elaborado pelo autor

O detalhamento das operações e descrição dos processos de produção do tanque de combustível são detalhados na Tabela 13, a qual segue e numeração identificada nos processos da Figura 42.

Tabela 13: Operações e Descrição dos Processos da Linha 47

Item	Operação	Descrição do Processo
01	Prensa	Processo de estampagem das tampas, divisória e bocais;
02	Rosqueadeira	Processo de formação da rosca dos bocais;
03	Usinagem	Ajuste da superfície para montagem dos bocais;
04	Lavagem	Processo de limpeza dos bocais;
05	Perfilamento	Elaboração dos perfis de montagem das tampas e divisórias;
06	Guilhotina	Corte da chapa de alumínio no tamanho correto;
07	Puncionadeira	Processo que realiza os furos na chapa de alumínio;
08	Rebaixo	Realiza o repuxo para montagem de componentes;
09	Calandra	Processo responsável pela dobra da chapa (formação do corpo);
10	Solda Longitudinal	Solda de fechamento do corpo do tanque;
11	Grampeamento	Responsável pelos repuxes e estriados do tanque;
12	Embutir Divisórias	Colocação das divisórias internas;
13	Solda Robô 1	Solda das divisórias (parte interna);
14	Embutir Tampas	Processo de fechamento do tanque;
15	Solda Robô 2	Fechamento dos tanque por meio da solda das tampas;
16	Solda TIG	Solda dos componentes (bocal, buchas...);
17	Montagem	Montagem dos demais componentes (mangueira, bujão...);
18	Estanqueidade	Teste final para verificar se há vazamentos no tanque;
19	Limpeza	Operação que realça o brilho do alumínio;
20	Retrabalhos	Se necessário algum reparo para manter a qualidade;
21	Embalamento	Acondicionamento do tanque na embalagem de venda.

Fonte: Elaborado pelo autor

Pré-Evento da Simulação: Digitalizar a Fábrica

Para a digitalização da Linha 47 foi utilizado o equipamento *Laser Scanner Focus S350*, operado pela equipe do Instituto SENAI de Inovação em Metalmeccânica. A digitalização foi

dívida em três partes:

1. Planejamento: consiste no reconhecimento do local a ser digitalizado, identificação dos locais para fixação dos alvos (esferas), identificação dos locais para posicionamento do equipamento, identificação ruídos (objetos indesejados) e configuração do equipamento;
2. Execução: consiste na realização das varreduras, reposicionando o equipamento nas posições levantadas na etapa de planejamento. Após realizar todas as 17 varreduras (número de referência definido pelo *software*), é realizada a operação de sobreposição das varreduras, e construção da nuvem de pontos. O tamanho da soma destes arquivos é de aproximadamente 300 Gb. A Figura 43 apresenta o resultado da nuvem de pontos da Linha 47 processada sem a eliminação de ruídos. A nuvem de pontos processada, agora

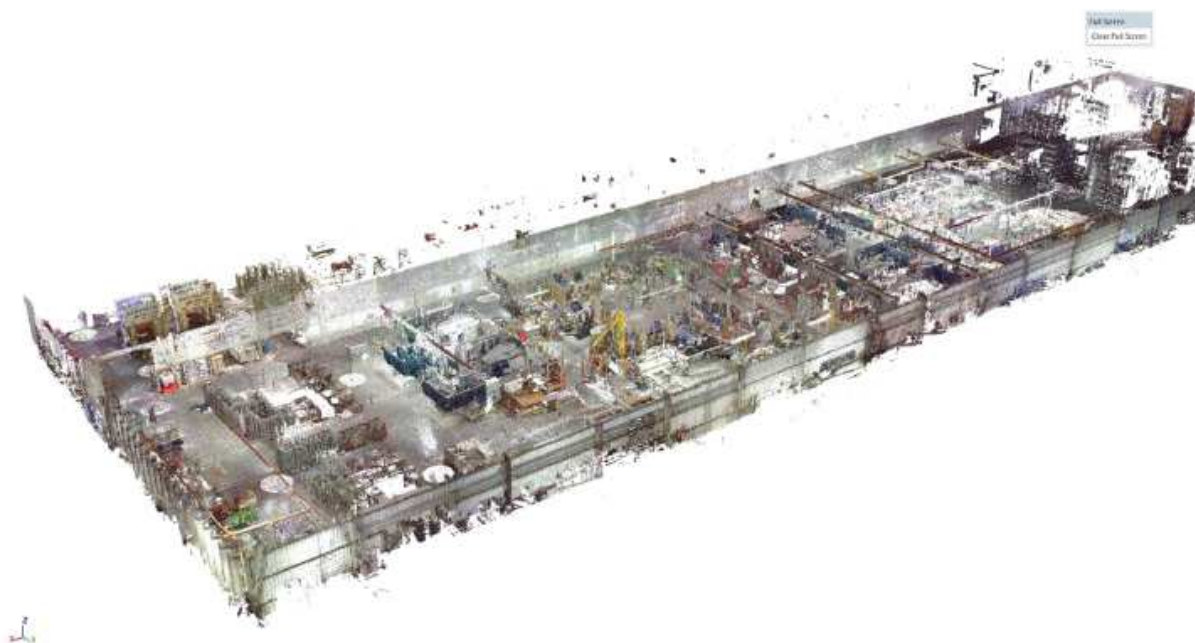


Figura 43: Nuvem de Pontos da Linha 47

Fonte: Elaborado pelo autor em parceria com Senai (2018)

com 18 Gb, foi exportada para o formato .POD, sendo compatível com o aplicativo de simulação *Plant Simulation*TM. O arquivo .POD é utilizado somente como referência espacial na construção do modelo computacional, não sendo possível a indexação com um objeto na simulação a eventos discretos.

3. Tratamento da nuvem de pontos: consiste na eliminação de ruídos na nuvem de pontos e separação dos equipamentos que constituem os processos da Linha 47. A Figura 44

exemplifica a separação de equipamentos para serem exportados como objetos em formato de CAD. Esta ação é necessária para importar os equipamentos como objetos na simulação a eventos discretos, para serem utilizados no *Plant Simulation*TM.



Figura 44: Separação dos Equipamentos da Linha 47
Fonte: Elaborado pelo autor em parceria com Senai (2018)

Pré-Evento da Simulação: Coletar Dados Operacionais

As informações utilizadas para este trabalho foram coletadas de sistemas da empresa, considerando os dados de Janeiro/2018 a Setembro/2018. Não houveram restrições quanto ao uso dos dados necessários para a pesquisa, sendo que os mesmos estão disponíveis para acesso a todos os funcionários, podendo também serem utilizados para futuras pesquisas. Silva (2005) reforça que o principal dado para a elaboração de um modelo computacional é o tempo médio de cada processo ou atividade (tempo de ciclo). Os dados secundários, tempo de preparação (*setup*), movimentação, inspeção e espera, são importantes e quando possível devem ser coletados. Os dados coletados e suas respectivas unidades de medida estão descritos na Tabela 14.

Tabela 14: Dados Coletados na Linha 47

Item	Dados Coletados	Unidade
1	Tempo de ciclo médio	Segundos
1	Tempo de ciclo mínimo	Segundos
1	Tempo de ciclo máximo	Segundos
2	Tempo de <i>setup</i>	Minutos
3	Disponibilidade	Porcentagem
4	Aferição (inspeção)	Peças (unidades)
5	Retrabalho	Peças (unidades)
6	Número de recursos	Pessoas
7	Área ocupada pela célula de manufatura	m^2
8	Quantidade de peças nos estoques	Peças (unidades)
9	Tamanho dos lotes de peças (entrada/saída)	Peças (unidades)
10	Eficiência do operador	Porcentagem

Fonte: Elaborado pelo autor

A seguir são detalhados os dados da Tabela 14:

1. Tempo de ciclo: tempo de ciclo é o tempo total necessário para que a peça seja processada, ou seja, o tempo contado desde a entrada até a saída da operação. Para tomada de tempo foram realizadas 5 medições por processo e por produto, apresentando os tempos de ciclo médio, mínimo e máximo. A Figura 45 e a Figura 46 apresentam o tempo de ciclo mínimo, máximo e médio de cada operação, de acordo com a configuração de cada tanque. Nas figuras, para não mostrar o nome dos clientes, utilizou-se número sequencial 1, 2, 3... A coleta de tempos de ciclo foi mapeada sem o tempo de deslocamento do operador, pois a simulação se encarrega disso;
2. Tempo de *setup*: foi considerado em minutos, contemplando e a ociosidade nos momentos em que a máquina estava parada ou em preparação;
3. Disponibilidade: a taxa de disponibilidade de cada máquina, foram considerados o número de quebras e falhas, o tempo que as máquinas permaneceram paradas (em segundos), e o tempo entre as quebras e falhas (em segundos). Como os valores calculados foram muito próximos (variação máxima de 5% entre máquinas), optou-se em padronizar na simulação a taxa de disponibilidade em 95% para cada máquina;
4. Aferição (inspeção): devido a não ter estes dados de maneira confiável foi optado em considerar 100% na simulação, deixando para oportunidade futura;

5. Retrabalho: a média de retrabalho foi de 7,67%, proporcionalmente ao número de tanques produzidos representa 98 tanques retrabalhados (para o período simulado);
6. Número de recursos: número total de recursos operacionais é de 104 operadores, considerando todos os turnos de trabalho;
7. Área ocupada pela célula de manufatura: 2.953 m^2 ;
8. Quantidade de peças nos estoques: foram contados todos os estoques da Linha 47 durante 5 dias (dias aleatórios), a média encontrada foi de 40 peças;
9. Tamanho dos lotes de peças (entrada/saída): O lote de entrada na guilhotina é de 3 peças por código e a saída é de 1 em 1. Os demais processos respeitam a entrada e saída 1 para 1;
10. Eficiência do operador: acompanhamento da movimentação dos produtos e definido uma velocidade dos operadores de 1,5 m/s e eficiência de 80% (analisando o tempo de pausas que o operador faz durante a operação).

Com os dados devidamente coletados e após meses de acompanhamento das operações no *genba*, foi possível compreender a linha dos tanques de combustível e conhecer as variáveis existentes em todos os processos. Em todas as operações, foram consideradas a quantidade de peças que entram no processo e saem desse processo, assim como o tempo que permanecem em estoque entre as operações. Esses dados são variáveis, pois tanto o número de peças quanto o tempo que permanecem em estoque variam de acordo com as ordens de produção, estabelecidas pelos clientes.

Processos	Quadrado 1			Redondo 2			Quadrado 3			Quadrado 4			Quadrado 5		
	Tempo_Ciclo (Tempo)	Tempo_Ciclo_Min	Tempo_Ciclo_Max	Tempo_Ciclo (Tempo)	Tempo_Ciclo_Min	Tempo_Ciclo_Max	Tempo_Ciclo (Tempo)	Tempo_Ciclo_Min	Tempo_Ciclo_Max	Tempo_Ciclo (Tempo)	Tempo_Ciclo_Min	Tempo_Ciclo_Max	Tempo_Ciclo (Tempo)	Tempo_Ciclo_Min	Tempo_Ciclo_Max
Prensa_Tampa	17	15	19	23	19	26	22	21	24	43	41	45	39	37	41
Prensa_Divisorias	15	14	15	14	13	15	17	15	19	25	21	29	22	19	25
Prensa_Bocai_1	74	72	76	74	72	76	17	16	18	55	52	58	17	16	18
Prensa_Bocai_2	44	40	46	44	40	46	44	40	46	42	40	45	35	33	37
Rosquedeira	35	34	36	35	34	36	35	34	36				35	34	36
Bocai_Usinagem	8	7	9	8	7	9	11	10	12				11	10	12
Lavadora_Bocai	101	100	102	101	100	102	101	100	102	101	100	102	101	100	102
Perfiladora_Tampa	127	126	128	24	23	25	90	87	92	127	126	128	113	112	114
Perfiladora_Divisorias	45	44	46	14	13	15	48	46	50	47	45	49	47	45	48
Gulhoeta	22	20	25	17	16	18	25	22	27	24	22	25	20	18	21
Punçoadeira				17	16	18	10	9	11	31	30	32			
Rebaixo							35	34	36	35	34	36			
Calandra	87	80	94	72	71	73	73	68	79	71	70	72	79	76	83
Longitudinal	113.8	110	120	62	61	63	62	56	70	28	27	29	60	59	62
Grampeamento_R				46	41	52									
Grampeamento_M										42	41	44			
Grampeamento_MI										35	34	36			
Grampeamento_QS	22	21	23												
Grampeamento_MA							29	27	30						
Grampeamento_MAI							17	16	17						
Grampeamento_J													45	44	47
Grampeamento_J1													14	13	15
Grampeamento_D															
Grampeamento_X															
Repuxo															
Embutir_Divisorias	83	78	88	153	150	159	198	190	203	93	90	96	49	47	51
Robo_OPI	209	204	217	177	174	181	192	179	210	0.2	0.1	0.3	0.2	0.1	0.3
Disp_Embutir_Tampas	152	77	223	94	90	97	491	351	630	216	210	232	217	180	243
Robo_OPI2	185	181	188	196	187	205	220	211	230	252	251	253	239	229	247
Tig	435	425	440	389	359	409	452	350	553	246	241	250	369	258	432
Montagem	65	61	67	62	58	65	49	43	58	42	39	49	42	39	49
Estanqueidade	190	188	191	181	160	197	236	215	256	157	137	170	157	137	170
Limpeza	337	302	387	174	164	182	190	160	210	267	257	284	295	290	300
Retrabalho	127	112	140	119	97	130	146	142	151	148	142	156	163	153	172
Embalamento	118	110	123	46	43	49	94	85	99	94	85	99	56	52	60

Figura 45: Tempos de Ciclo dos Modelos de Tanques (em segundos) - Parte 1/2

Fonte: Elaborado pelo autor

Processos	Redondo 6			Redondo 7			Redondo 8			D 9			D 10		
	Tempo_Ciclo (Tempo)	Tempo_Ciclo_Min	Tempo_Ciclo_Max	Tempo_Ciclo (Tempo)	Tempo_Ciclo_Min	Tempo_Ciclo_Max	Tempo_Ciclo (Tempo)	Tempo_Ciclo_Min	Tempo_Ciclo_Max	Tempo_Ciclo (Tempo)	Tempo_Ciclo_Min	Tempo_Ciclo_Max	Tempo_Ciclo (Tempo)	Tempo_Ciclo_Min	Tempo_Ciclo_Max
Prensa_Tampa	23	19	26	23	19	26	23	19	26	38	37	39	38	37	39
Prensa_Divisorria	14	13	15	14	13	15	14	13	15	30.2	29	31	30.2	29	31
Prensa_Bocai_1	55	52	58	17	16	18	55	52	58	26.4	25	28	26.4	25	28
Prensa_Bocai_2	21	19	22	35	33	37	21	19	22	15.4	15	16	15.4	15	16
Rosqueadeira				35	34	36	1	0.5	1.2	43.2	42	44	43.2	42	44
Bocai_Usinagem				11	10	12	1	0.5	1.2	21.4	20	22	21.4	20	22
Lavadora_Bocai	101	100	102	101	100	102	101	100	102	520.3	518	522	520.3	518	522
Perfiladora_Tampa	24	23	25	24	23	25	81	80	82	97.2	95	100	97.2	95	100
Perfiladora_Divisorria	14	13	15	14	13	15	14	13	15	73.4	73	74	73.4	73	74
Gulhothina	20	18	21	22	20	25	11.5	11	12	58.6	58	59	58.6	58	59
Punçionadeira	44	43	45	37	36	38	93.5	93	94	62.4	62	63	62.4	62	63
Rebaxio															
Calandra	72	71	73	72	71	73	72	70	75	81.4	81	82	81.4	81	82
Longitudinal	60	59	62	62	61	62	68	67	69	113.8	110	120	113.8	110	120
Grampamento_R	41	40	42	40	38	41	40	38	41						
Grampamento_M															
Grampamento_MI															
Grampamento_OS															
Grampamento_MA															
Grampamento_MAI															
Grampamento_I															
Grampamento_I1															
Grampamento_D							42	41	43	81.5	77	86	81.5	77	86
Grampamento_X															
Repuxo															
Embutir_Divisorrias	156	153	159	153	150	159	140	136	144	178.4	173	184	178.4	173	184
Robo_OPI	177	174	180.1	142	141	143	271	257	293	201.2	200	203	201.2	200	203
Disp_Embutir_Tampas	94	90	97	94	90	97	30.4	25.6	35.3	120	119	121	120	119	121
Robo_OP2	196	187	205	200	199	201	208	200	229	278.2	276	280	278.2	276	280
Tig	260	251	269	377	370	385	353	260	386	301	300	302	301	300	302
Montagem	44	41	49	62	58	65	87	48	94	62	60	65	62	60	65
Estanqueidade	181	169	193	162	160	165	115	110	126	346	345	348	346	345	348
Limpeza	167	158	177	173	169	179	137	133	145	173	164	182	173	164	182
Retrabalho	166	155	179	119	107	130	465	358	572	318	251	457	318	251	457
Embalamento	292	284	302	46	43	49	282	240	357	41	35	46	41	35	46

Figura 46: Tempos de Ciclo dos Modelos de Tanques (em segundos) - Parte 2/2

Fonte: Elaborado pelo autor

Pré-Evento da Simulação: Construir Modelo Computacional

Será apresentado o modelo computacional proposto e desenvolvido para ser utilizado no estudo em questão, citando as particularidades que foram assumidas na confecção do mesmo como mencionadas na revisão de literatura anteriormente. A elaboração do modelo computacional foi dividida em três camadas:

1. Simulação de primeira camada (generalizada): trata-se de uma simulação mais simples do processo mapeado, neste caso o objetivo foi o resultado final, não sendo necessárias informações detalhadas de cada operação. Na Figura 47 observa-se que os processos são representados por ícones padrões do *software* apenas para que seja possível rodar a simulação em busca de resultados mais simples como, por exemplo, extrair deste processo o fluxo em análise.

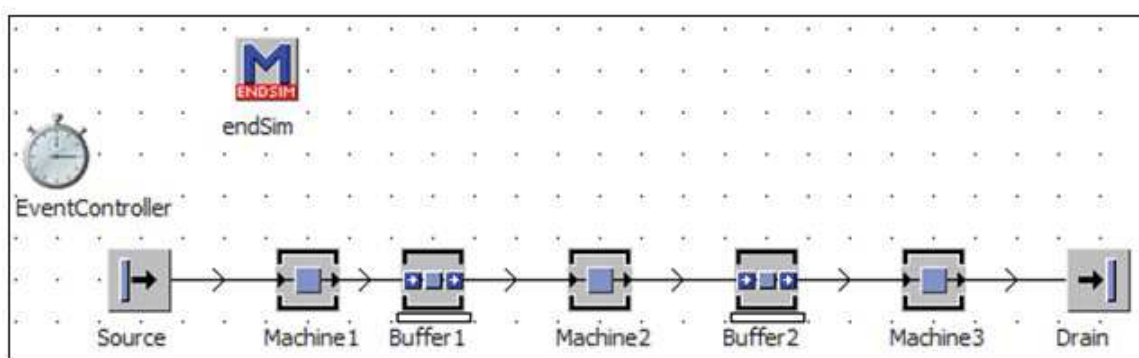


Figura 47: Simulação de Primeira Camada

Fonte: Elaborado pelo autor

2. Simulação de segunda camada (composta): simulação com grau de complexidade maior que a de primeira camada, pois requer mais informações. Na Figura 48 é possível observar que na frente dos processos M1 à M5 estão alocados postos de trabalho, chamados de *WorkPlace*, e sempre que houver esta informação, quer dizer que será envolvido operador. A partir do momento que operadores são adicionados na simulação o grau de complexidade aumenta, pois é necessário programar a atividade do operador.
3. Simulação de terceira camada (correspondente): o nível de maiores informações e detalhamento, geralmente envolve a operação em nível tridimensional, sendo possível neste caso até modelar a operação. Na Figura 49, visualiza-se um exemplo de um modelo em 3D. Neste caso o desafio é ter as máquinas e equipamentos modelados em escala real,

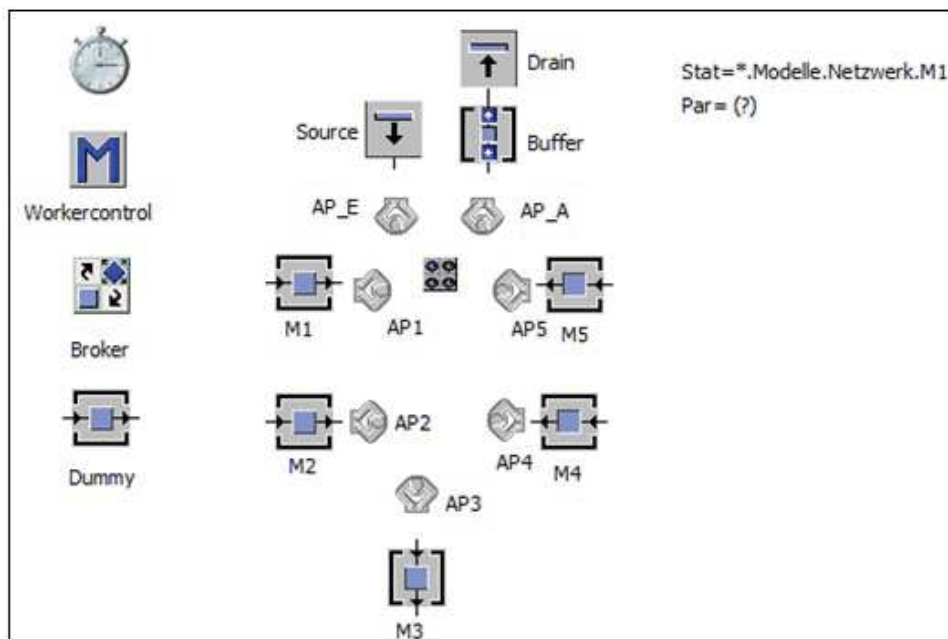


Figura 48: Simulação de Segunda Camada

Fonte: Elaborado pelo autor

em um *software* compatível (utilizado *Auto CadTM*), para que posteriormente importado para o *Plant SimulationTM*.

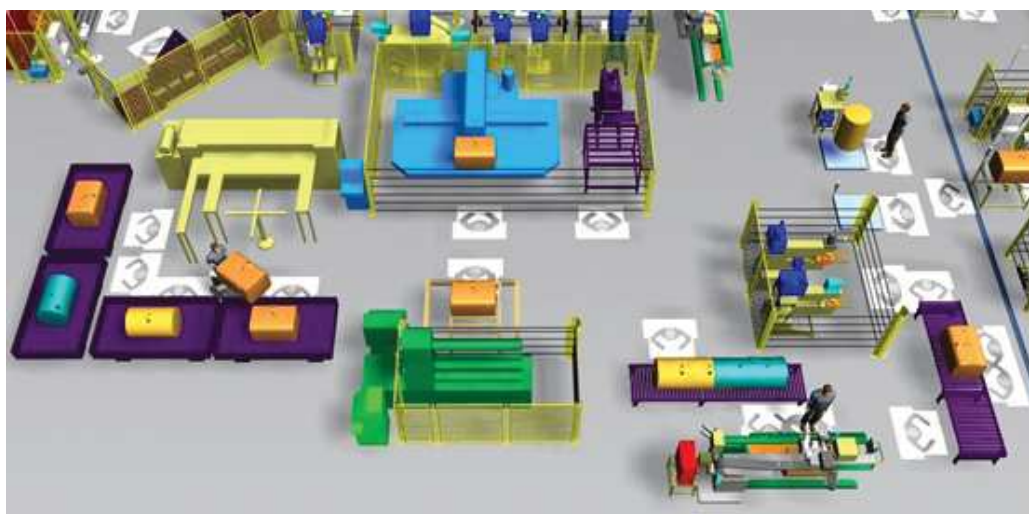


Figura 49: Simulação de Terceira Camada

Fonte: Elaborado pelo autor

Utilizou-se as três camadas para desenvolvimento da modelagem, partindo da primeira mais simples, desenhando o fluxo, na segunda foi incluído os operadores, e por último, desen-

volvendo a terceira com a substituição dos ícones padrões para os recursos em 3D. O benefício da terceira camada é expor de forma visual como fluem os materiais do fluxo, além de facilitar o entendimento do processo quando visto por pessoas que não o conhecem.

Com os dados já coletados e organizados, realizou-se a construção do modelo computacional. A Figura 50 mostra como foi criado (simulado) um *layout* parecido com os postos de trabalho existentes, na terceira camada.

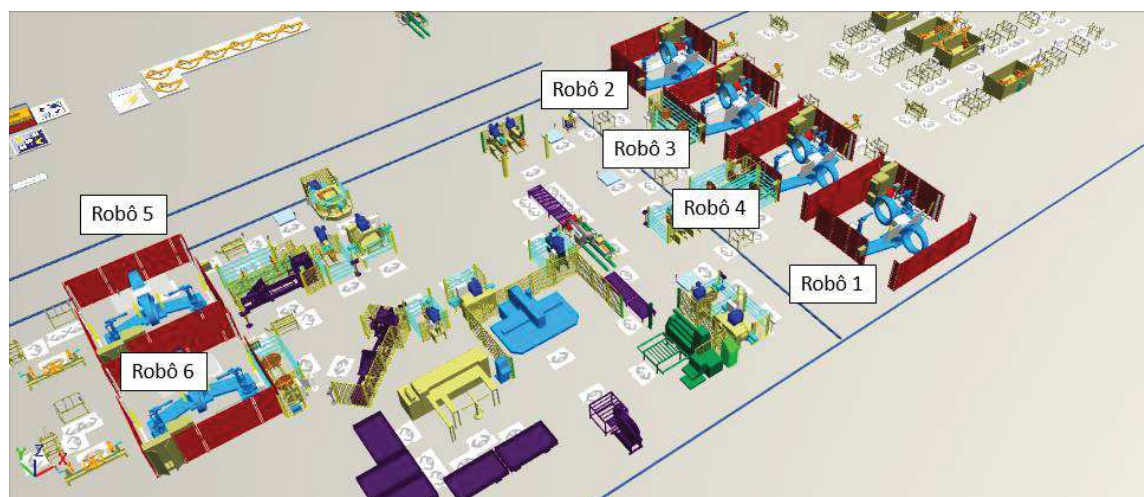


Figura 50: *Layout* do Estado Atual da Linha de Produção dos Tanques de Combustível
Fonte: Elaborado pelo autor

O *takt time* da produção é de 170 segundos por tanque de combustível. Com base nas informações utilizadas para elaboração do mapeamento do fluxo de valor, apresentado na subseção 4.2.2, foi possível criar virtualmente a linha de produção dos tanques. Os resultados desta simulação são mostrados na Tabela 15, próximo dos resultados encontrados por meio do mapeamento do fluxo de valor do estado atual, mostrado anteriormente na Tabela 12.

Tabela 15: Resultados do Modelo Computacional Estado Atual

Indicadores	Simulado EA	MFV EA	Aproximação
Tempo de atravessamento	6,0	6,4	93,3%
Horas homem/tanque produzido	3,3	3,1	93,9%
<i>Work in Process</i>	50	56	89,3%
Distância percorrida	329	351	93,7%

Fonte: Elaborado pelo autor

As premissas consideradas para todas as simulações realizadas na construção do modelo computacional da Linha 47 são apresentados a seguir:

- Calendário produtivo: segunda a sexta, totalizando 17,25 horas por dia (62.100 segundos) disponíveis de produção (excluindo os intervalos para as refeições);
- Tempo de simulação: 5 dias 1 hora e 10 minutos;
- Perfilhadoras: 3 turnos de trabalho;
- Prensa: 2 turnos de trabalho;
- Demais máquinas: 1 turno de trabalho;
- Replicações: 10 replicações para cada cenário simulado;
- Operadores logístico: foram considerados dentro das células de trabalho corte, solda e acabamento/embalamento;
- O *mix* de produção utilizado para simulação levou em consideração a representatividade diária, mostrado na Tabela 11, considerando proporcionalmente para os modelos de tanques.

A próxima etapa da simulação considera a validação do modelo computacional mostrando se o modelo virtual representa o sistema real.

Pré-Evento da Simulação: Validar Modelo Computacional

A validação do modelo, foi por meio da comparação dos resultados de produção real com os simulados. Para a validação do modelo de simulação considerou-se 5, 30 e 365 dias, sendo 5 repetições para cada. Posteriormente foram comparados os resultados simulados com o histórico de produção real (obtido do sistema). A Tabela 16 apresenta os resultados de comparação do sistema real com a média do sistema virtual.

Tabela 16: Comparação Entre o Sistema Real e o Sistema Virtual

Dias simulados	Tanques real	Tanques virtual	Aderência
5	2.056	1.948	94,74%
30	7.360	6.735	91,50%
365	78.687	70.497	89,59%

Fonte: Elaborado pelo autor

Para cinco dias simuladores a média das repetições foi 1.948 tanques (com desvio padrão de 15,44). Para trinta dias simulados a média das repetições foi 6.735 tanques (com desvio padrão de 188,56). Para trezentos e sessenta e cinco dias simulados a média das repetições foi 70.497 tanques (com desvio padrão de 258,16). A aderência da simulação ao modelo ficou em 94,74% para cinco dias, 91,50% para trinta dias e 89,59% para trezentos e sessenta e cinco dias. A média da aderências considerando a soma dos três cenários, corresponde a 91,2%. Desta forma, todas as informações e variáveis consideradas permitiram que o ambiente simulado representasse o sistema real de forma mais fiel possível.

A próxima etapa da simulação considera a geração das ideias para posterior construção dos cenários futuros.

Evento da Simulação: Gerar Ideias de Melhorias

As ideias de melhorias para a Linha 47 surgiram por meio de *brainstorming* realizados durante os treinamentos ministrados a equipe do projeto. Para definição dos cenários, foi considerado o equilíbrio entre investimento X resultados (que pode ser entendido como os indicadores de desempenho). Foram sugeridas treze possibilidades de *layout* para a Linha 47, sendo:

- Cenário 1: Estado atual melhorado;
- Cenário 2: Alteração de posicionamento dos robôs;
- Cenário 3: Alterações sugeridas pelos colaboradores da Linha 47;
- Cenário 4: Junção dos cenários 2 e 3;
- Cenário 5: Utilização do *kanban* (do próprio *software*);
- Cenário 6: Cenário 4 com todos os robôs agrupados;
- Cenário 7: Cenário 6 com menos operadores;
- Cenário 8: Cenário 1 com menor tempo de *setup*;
- Cenário 9: Cenário com todos os robôs em paralelo;
- Cenário 10: Cenário 9 mais a redução dos tempos de *setup* do cenário 8;
- Cenário 11: Cenário 10 com inclusão de robôs colaborativos;

- Cenário 12: Cenário 10 com inclusão de AGVs para logística dos materiais;
- Cenário 13: União dos cenários 10, 11 e 12.

Estes cenários foram testados um a um comparando os resultados obtidos com o cenário atual, levando em consideração os indicadores de desempenho definidos para validar qual cenário é melhor que o outro. Considerando a inclusão das tecnologias, buscando um direcionamento a caminho da Indústria 4.0 e também avaliando as sugestões apresentadas na subseção 4.3.2:

- *Layout* de manufatura: aderido conforme cenários propostos;
- Padronização dos transportadores: inclusão de AGVs para movimentação dos tanques de combustível;
- Reduzir ou eliminar o *setup*: consideradas as melhorias sugeridas e revisado os tempos de troca das ferramentas para os cenários futuros;
- Rastreabilidade dos tanques: inclusão de identificação por tanque para viabilizar a leitura *online* da fábrica, possibilitando QAP *real time*;
- Redução dos estoques: propostas melhorias por meio dos cenários apresentados;
- Integrar a manutenção preventiva/preditiva: não foi levado em consideração pela equipe do projeto, possibilitando um novo estado futuro para avaliação desta sugestão;
- Nivelar e balancear: propostas melhorias por meio dos cenários apresentados;
- Automatizar processos manuais: considerado robôs colaborativos nos processos de guilhotina e estanqueidade;
- Tecnologias de predição: não foi levado em consideração pela equipe do projeto, possibilitando um novo estado futuro para avaliação desta sugestão;

A próxima etapa da simulação considera a construção dos cenários futuros levando em consideração as melhorias apresentadas.

Evento da Simulação: Realizar Experimentos

Por meio dos resultados da simulação do cenário atual, foi possível identificar os desperdícios nas operações, como formação de filas, ociosidade e paradas não planejadas, excesso de movimentação, entre outras. Os cenários futuros foram construídos levando em consideração aplicações de ferramentas da manufatura enxuta de forma a reduzir os desperdícios e considerando a implantação de novas tecnologias na linha de produção. Para comparação dos cenários, foram definidos indicadores de desempenho, Tabela 17.

Tabela 17: Indicadores para Desempenho do Modelo Computacional

Indicadores	Descrição do Indicador	Peso
Tempo de atravessamento (<i>LEAD</i>)	= somatório dos tempos das operações + somatório dos tempos de espera	30%
<i>Work in process (WIP)</i>	= matéria prima utilizada - peças produzidas	15%
Distância percorrida (<i>DP</i>)	= somatório das distâncias percorridas pelos operadores	15%
Produção (<i>PRO</i>)	= número de tanques produzidos	15%
Total <i>setup (SETUP)</i>	= somatório dos tempos de <i>setup</i> realizados	15%
Hora homem por tanque produzido (<i>HH</i>)	= horas homem / número de tanques produzidos	10%

Fonte: Elaborado pelo autor

A Equação 4.2, é utilizada para otimizar o fluxo produtivo, orientando um melhor sequenciamento da produção conforme desempenho de cada produto no que tange as variáveis da equação. Também habilita a possibilidade de adição de pesos entre as variáveis, a fim de validar a melhor condição futura com critério de avaliação diferentes. Os pesos apresentados foram definidos pelo autor, buscando uma maior relevância para os indicadores *LED* e *WIP*, juntos chegam a 45% do desempenho total. O indicador *HH*, foi deixado com menor peso, por ser um indicador secundário, no que tange a melhoria da função processo.

Na construção futura foram considerados os indicadores mostrados na Tabela 17, todos eles na mesma fórmula geraram apenas um valor, que quanto mais próximo de zero melhor. A Equação é apresentada a seguir:

$$fit = \left(f_{lead}^{W_i} \frac{lead_s}{lead_p} \right) + \left(f_{WIP}^{W_i} \frac{WIP_s}{WIP_p} \right) + \left(f_{DP}^{W_i} \frac{DP_s}{DP_p} \right) + \left(f_{pro}^{W_i} \frac{1}{pro_p} \right) + \left(f_{setup}^{W_i} \frac{setup_p}{setup_s} \right) + \left(f_{HH}^{W_i} \frac{HH_s}{HH_p} \right) \quad (4.2)$$

De maneira empírica com o grupo de trabalho, foram avaliados cada cenário construído. A complexidade de cada cenário aumenta conforme o conhecimento adquirido por meio das simulações dos anteriores. Todas imagens de como ficaram cada *layout* simulado da Linha 47, estão disponíveis no Apêndice G.

O cenário futuro 1 (C1), considera o estado atual da linha dos tanques com o aprimoramento por meio da equação 4.2, para as variáveis: produção, *setup*, distância percorrida e *WIP*. Obtendo como saída, melhor sequência de produção (*heijunka*). Este cenário aumentou a produção de tanques de combustível, aumentando também a demanda por mais funcionários, diminuindo a produtividade em função deste incremento. Esse cenário não requer investimento e sua implementação pode ser realizada em curto prazo. Por outro lado C1, não explora as possibilidade de ganhos em *layout*.

Cada robô de solda é responsável pela produção de uma família de produtos, no cenário futuro 2 (C2), foram alterados os robôs de posição e eliminado um robô da operação. Foram realocados 4 robôs em paralelo e o robô 5 acondicionado no lugar do robô 1 (que foi desativado). Redução de aproximadamente 100 m^2 com a retirada do robô 01. Da mesma forma que C1, o C2, não explora as possibilidade de ganhos na operação, além do investimento necessário para alteração de *layout* dos robôs.

Já o cenário futuro 3 (C3), foi montado considerando as melhorias sugeridas pelos operadores, sendo simulado e apresentado o resultado a eles. Estas melhorias foram provenientes das reuniões durante o andamento do projeto, onde foram montadas em papel, aproximando as máquinas, observando uma melhor mobilidade dos operadores em um menor espaço. As melhorias também deram-se pela alteração no fluxo do processo entre a solda longitudinal e grampeamento, porém não foram significativas, apenas melhorando a variável deslocamento do operador, no que tange aos indicadores de desempenho. Da mesma forma que os cenários anteriores, C3 não explora as possibilidades de ganhos em *layout*.

Após foram agrupadas as melhorias do C2 com C3 formando assim o cenário 4 (C4). A melhoria neste cenário foi a possibilidade de unir o ganho em deslocamento do operador do C3, que não seria possível justificar isoladamente, com o C2 que houve um resultado em redução do espaço de aproximadamente 100 m^2 além da melhoria do fluxo dos produtos. Percebe-se um avanço nas melhorias deste cenário comparado com os anteriores, porém ainda com muitas possibilidades de ganhos a ser explorado.

O cenário futuro 5 (C5) foi rejeitado, não foi simulado, visto a complexidade na operação do *software* e os recursos não estarem aptos a garantir os resultados. O objetivo deste cenário era a implementação da ferramenta *kanban* no abastecimento dos componentes para solda do robô e no estoque de produto acabado, visando o início da operação conforme vendas

realizadas.

Para a construção do cenário 6 (C6), foi utilizado o C4 como base, aproximado o robô que estava mais distante dos outros quatro em paralelo, reduzindo a área em aproximadamente 250 m^2 tornando assim uma célula de solda mais enxuta melhorando o tempo de atravessamento do tanque.

No cenário 7 (C7) foi utilizado o C6 como base, incluindo a aplicação do aprimoramento do C1, usando a equação 4.2, com as variáveis: produção, *setup*, distância percorrida e *WIP*, alcançando melhor resultado, sendo possível realocar operadores para outras células de manufatura da empresa, além das melhorias já relatadas no C6, que foram a redução de área e melhoria no tempo de atravessamento. A vantagem deste modelo, é o custo de implementação baixo com retornos significativos, mas com oportunidades.

No cenário 8 (C8), foi considerado o C1, onde foi aplicada a equação 4.2. O diferencial C8, foi projetar a Linha 47 com dispositivos automáticos para realização do *setup*, foi considerado que qualquer código de tanque de combustível, poderá ser produzido em qualquer robô de solda, aumentando a flexibilidade na operação. Neste cenário foram reduzidos os tempos de troca das ferramentas, considerando o tempo para troca de programas de robô.

Já no cenário futuro 9 (C9), a Linha 47 foi alterada mais significativamente no que tange ao fluxo produtivo. Foram colocados todos os robôs em paralelo no sentido contrário do cenário atual. Para este cenário todas as máquinas sofreram alterações de *layout*, para garantir um desempenho melhor, porém com um custo maior, comparado com outros cenários. A vantagem é a possibilidade de expansão da área para um possível aumento de demanda.

O cenário futuro 10 (C10), foi considerado o C9 mais a redução dos tempos de *setup* do C8. Contudo, pode-se somar as melhorias de redução de operadores, a redução dos tempos de *setup*, redução do tempo de atravessamento 10% e a possibilidade de expansão em função de aumento de demanda futura.

O cenário 11 (C11), tem como base o C9, trazendo como diferencial, a inclusão do robô colaborativo, no processo da guilhotina. Retirando um operador de operação (de dois operadores fica um). Também incluído um robô colaborativo no processo de estanqueidade, aumentando a velocidade da operação neste processo em 10%, retirando dois operadores desta operação. As únicas ressalvas neste modelo são o investimento para compra ou aluguel dos robôs colaborativos, além dos investimentos em *layout*, relatados nos cenários anteriores. Também a adaptação dos colaboradores ao uso desta tecnologia.

Já no cenário 12 (C12), também sendo construído com base no C09, foi incluído AGV (modelo trem sem condutor), um na movimentação dos tanques na saída do robô de solda até o processo de estanqueidade e o outro na movimentação dos tanques embalados para a expedi-

ção. Neste modelo a logística fica sob responsabilidade dos AGVs, diminuindo a necessidade de movimentação dos operadores, porém exigindo uma melhor organização para atendimento aos tempos definidos nos processos. A definição dos tempos de operação dos C11 e C12 onde foram incluídas as tecnologias, se deu por meio de uma amostragem realizada em parceria com os fornecedores dos equipamentos. Sendo possível a partir desta amostragem simular os ganhos na operação.

Por fim o cenário 13 (C13), é composto da união do C10, o qual considera o C09, mais os ganhos obtidos com a implementação de *setup* rápido, do C11, inclusão dos robôs colaborativos e do C12, o qual considera a inclusão do robôs de movimentação. Os resultados de (C13) apontam indícios de que esse modelo é mais eficiente que outros cenários simulados.

Ao final de todas as replicações de cada cenário é realizada a consolidação dos dados proveniente dos relatórios e a comparação dos indicadores de desempenho de cada, indicando qual cenário possui o melhor desempenho, que serão apresentados a seguir.

Evento da Simulação: Compilar Resultados

Esta etapa da simulação apresenta os resultados da comparação dos cenários propostos anteriormente, por meio dos indicadores de desempenho. Os resultados são apresentados na Tabela 18.

Tabela 18: Desempenho dos Cenários por Indicador

CENÁRIO	LEAD	WIP	DP	PRO	SETUP	HH
Atual	6,0	50	329	988	74,5	3,3
1	5,9	132	454	1.087	60,4	4,3
2	6,2	47	293	988	72,2	3,3
3	5,9	47	289	961	74,4	3,4
4	6,1	47	270	967	70,9	3,3
6	5,6	44	254	990	71,4	3,2
7	5,2	45	244	1.022	68,5	3,1
8	6,1	41	331	1.121	58,6	3,3
9	5,5	39	239	940	68,4	2,9
10	5,4	34	235	999	51,9	2,8
11	5,4	38	232	939	70,4	2,6
12	5,5	32	208	938	69,7	2,8
13	4,9	36	216	977	51,8	2,6

Fonte: Elaborado pelo autor

Conforme os cenários vão avançando é possível identificar um avanço também na melhoria dos indicadores de desempenho, visto que o aprendizado do cenário anterior é utilizado para projetar o próximo cenário. Cada cenário simulado possui o seu ponto forte e fraco, com base nos resultados, pode-se identificar isoladamente que o melhor cenário para a variável *lead time* é o cenário 13, com desempenho de 4,9 horas de atravessamento (1,1 horas melhor que o estado atual). Entende-se que este cenário tenha sido favorecido por levar como base as melhores práticas dos antecessores.

Para a variável *WIP* o cenário 12 foi de melhor desempenho com 32 tanques em processamento (18 tanques a menos que o estado atual). Entende-se que a inclusão dos AGV's possa ter contribuído para um menor acondicionamento de tanques em processamento, além de também favorecer para melhor cenário no aspecto distância percorrida pelo operador (121 km/turno a menos que o cenário do estado atual), com pouca diferença para o cenário 13.

Para maior quantidade de tanques produzidos o cenário 8 foi de maior destaque, com 1.121 tanques produzidos, pois além de considerar o melhor sequenciamento para a produção (*heijunka*), também possui a primeira ação significativa no que tange a redução do tempo de *setup*. Para *setup* o destaque foi para o cenário 13, com 51,8 minutos para troca do ferramental (soma-tória de todos os *setup* realizados). E para finalizar os cenários 11 e 13, ficaram empatados com o melhor desempenho na variável horas homem/tanque produzido.

Na escolha do melhor cenário é preciso levar em consideração o retorno do investimento, antes de tomar a decisão de qual implementar. Na próxima etapa da simulação será apresentado o cenário que melhor permeia conforme os pesos identificados para cada indicador.

Pós-Evento da Simulação: Definir Estado Futuro e Apresentar Resultados

Para escolha do melhor cenário foi utilizado a metodologia de decisão multicritério TOPSIS. Visto que não é mandatório cada cenário construído levar em consideração informações do cenário antecessor, além da quantidade de variáveis disponíveis (indicadores de desempenho). Se tratando da construção de um Artefato, optou-se pela decisão multicritério TOPSIS, para padronização da tomada de decisão para futuras replicações. Os seguintes passos foram seguidos:

- i. inicialmente foram definidas as matrizes de decisão com a pontuação das alternativas em relação a cada critério e também o vetor de peso dos critérios. Os pesos definidos pelo autor podem ser observados na Tabela 17;
- ii. na sequência os dados da matriz de decisão por ter origens diferentes, foi normalizada a

- fim de transformá-la em uma matriz adimensional (para que seja possível a comparação entre os vários critérios);
- iii. posteriormente foram escolhidas as alternativas que estavam tão próxima quanto possível da solução ideal positiva (SIP) e o mais distante quanto possível da solução ideal negativa (SIN). SIP: é formada tomando-se os melhores valores alcançados pelas alternativas durante a avaliação em relação a cada critério de decisão. SIN: é composta de forma similar, tomando-se as piores pontuações das alternativas em relação a cada critério;
 - iv. a pontuação final de cada alternativa foi composta a partir das distâncias obtidas entre as alternativas e as soluções ideais em relação a cada critério;
 - v. a pontuação final das alternativas (CC_i – coeficiente de proximidade) é dada entre 0 e 1. Quão mais próximo de 1 estiver, mais perto estará da solução ideal positiva. Quão mais perto de zero, mais próximo estará da solução ideal negativa;
 - vi. ranking dos cenários conforme desempenho obtido na metodologia de decisão multicritério TOPSIS. A Tabela 19, mostra a posição obtida por cada cenário simulado, deixando fora o cenário atual.

Tabela 19: Ranking de Desempenho dos Cenários Simulados (TOPSIS)

Cenário	Coeficiente de Aproximação	Ranking
1	0,109	12
2	0,723	11
3	0,729	10
4	0,736	9
6	0,791	7
7	0,823	6
8	0,745	8
9	0,833	5
10	0,902	2
11	0,840	4
12	0,853	3
13	0,931	1

Fonte: Elaborado pelo autor

O cenário 13 obteve o melhor desempenho, seguindo dos cenários 10, 12 e 11, respectivamente, o que já era esperado visto que para a construção do futuro, foi levando em consi-

deração o aprendizado dos cenários anteriores. O cenário que lidera o *ranking*, é composto da união dos cenários 10, 11 e 12, ele parte parte das mudanças significativas realizadas no C9, onde a concepção de arranjo físico da Linha 47, foi totalmente refeita, incluindo ainda os benefícios obtidos com a implementação de *setup* rápido do C8. Ambos os cenários C9 e C8, juntos formam o C10, que traz como destaque positivo o tempo de *setup*. O C11, inicia a inclusão de tecnologias, iniciando com os robôs colaborativos, obtendo assim o melhor desempenho para o indicador horas homem/tanque produzido e o C12, considera a inclusão do robôs de movimentação (AGV's), obtendo o melhor desempenhos para WIP e distância percorrida. Todos esses cenários juntos formam o cenário de melhor desempenho o C13.

A Figura 51, mostra este cenário, o qual é um misto da evolução da melhoria contínua, inserção das ferramentas e conceitos do *Lean Manufacturing* e inclusão das tecnologias oriundas da Indústria 4.0.

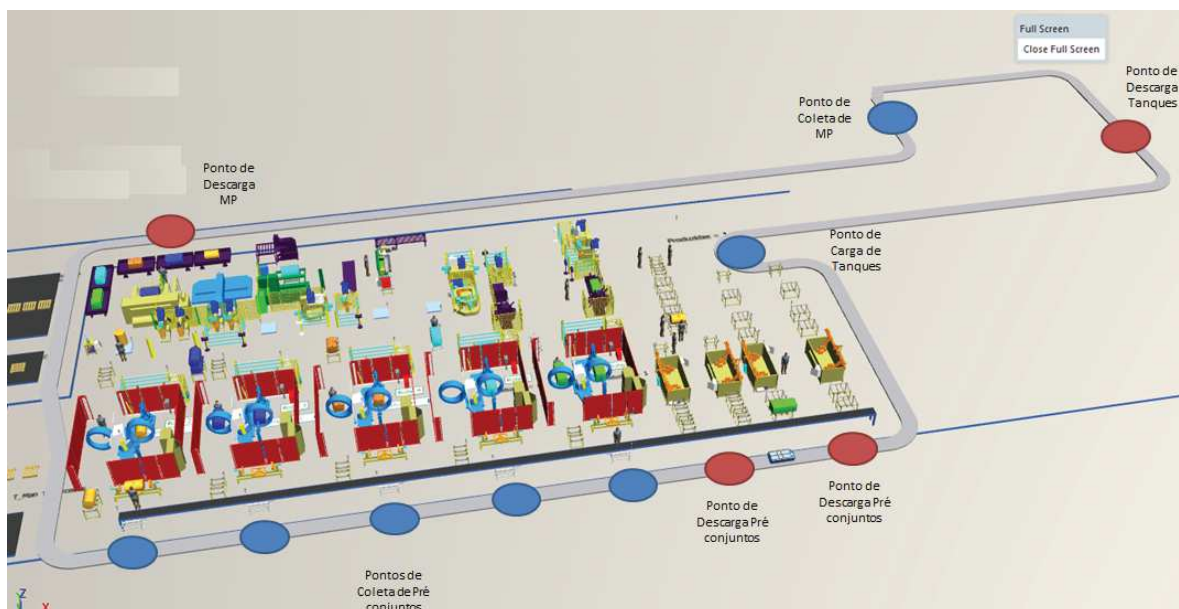


Figura 51: Cenário 13 - Melhor Desempenho TOPSIS

Fonte: Elaborado pelo autor

Com a apresentação dos resultados encerra-se a fase de simulação e abre discussão para a última fase do Artefato.

4.3.5 Aplicação da Fase 4: Melhorar

A Fase 4, é a última do Artefato proposto, encerrando um ciclo, porém responsável por iniciar o planejando para o próximo Estado Futuro (EF). Fazendo uma revisão das fases anteriores, iniciamos pela **Fase do Planejamento**, onde foram levantadas todas as oportunidades de melhoria, estruturando um time multifuncional para disseminar a cultura da melhoria contínua e definir os objetivos para o projeto. É notório um avanço na adesão das sugestões levantadas inicialmente nas próximas fases do Artefato, além de serem úteis para formação da base para escolha dos treinamentos que foram ministrados.

Estes que foram escolhidos na **Fase da Estabilização**, levando em consideração as particularidades do negócio. Além de transformar conhecimento em resultado, os treinamentos também foram responsáveis por disseminar uma nova cultura dentro da empresa, formando os agentes da mudança, para isso uma equipe composta por profissionais de vários departamentos foi mandatário. Foi também nesta Fase que foram definidas as metas para o projeto, além da formalização delas junto a alta administração. Ainda na estabilização, o *Assessment* teve papel fundamental para um avanço consistente do projeto, sendo necessário retomar alguns conceitos que não estavam de acordo.

A **Fase da Simulação**, abriu oportunidades para inclusão de tecnologias, além da possibilidade de enxergar antes o que acontecerá na prática. A inclusão desta Fase abriu oportunidades de acelerar o processo de melhoria contínua, visto que o conhecimento da equipe aumenta conforme o projeto avança. Na **Fase Melhorar**, a de encerramento do Artefato, que além de contar a história do que aconteceu, também avalia se o cenário escolhido será viável financeiramente, visto que seus resultados não poderão ser menores que os investimentos realizados. Para isso foi utilizada o ROI, que será melhor detalhado a seguir.

Avaliando o Cenário 13, o valor do investimento sugerido é de R\$ 1.452.351,00 (base Dezembro/18), com um tempo estimado de implementação de quatro meses. O retorno também estimado para a operação é de R\$ 45.104,00 por mês, obtido por meio do ganho de 23% em *lead time*, 55% de *WIP*, 38% de redução na distância percorrida pelos operadores e 16% de HH/tanque produzido, comparando com o estado atual de operação da Linha 47. No ano da implementação o retorno é multiplicado por oito meses (R\$ 360.832,00), sendo que os outros quatro meses são utilizados para a implementação. Nos primeiros dois anos o retorno estimado é multiplicado por doze meses (R\$ 541.248,00), encerrando o retorno do investimento no terceiro ano, onde o ganho é multiplicado por também oito meses (fechando os 40 meses de amortização). Considerando a taxa de juro anual de 15% (premissa apresentada anteriormente), o C13 terá um ROI de 9,22%. O investimento para sua construção C13 é detalhado na

Figura 52.

Análise de Investimento				
Nome do Projeto:	Projeto de Melhoria na Linha 47 - Cenário 13			
Responsável:	Fabricio Schmidt			
Data Realização:	Dezembro/2018			
ROI - Cálculo por Fluxo de Caixa				
	Ano Implementação	Ano 1	Ano 2	Ano 3
Investimento	R\$ 1.452.351,00			
Retorno	R\$ 360.832,00	R\$ 541.248,00	R\$ 541.248,00	R\$ 360.832,00
Fluxo de Caixa	R\$ 1.091.519,00	R\$ 713.998,85	R\$ 279.850,68	-R\$ 39.003,72
Taxa de Juros (custo Capital)	15,00%			
ROI = soma do fluxo de caixa / soma dos investimentos				
ROI	→			9,22%
* A utilização deste cálculo é quando o meu retorno vem ao longo dos anos.				

Figura 52: Análise de Investimento do Cenário 13

Fonte: Elaborado pelo autor

Não deixando de olhar para os demais cenários, o Cenário 7 (*layout* disponível no Apêndice G), chama atenção ao seu baixo investimento inicial e retorno significativo. Com um investimento aproximado de R\$ 251.000,00, com dois meses para implementação e retorno estimado para a operação de R\$ 8.098,00 por mês. Obtendo um ROI de 14,05% (fechando os 40 meses de amortização), ficando melhor posicionado que o C13 no aspecto ROI. Além de também obter ganhos comparado ao estado atual, sendo 18% em *lead time*, 19% de WIP e 30% de distância percorrida. A análise de investimento do C7 está disponível no Apêndice H. Comparando os resultados obtidos pelos Cenários 7 e 13, com as metas definidas inicialmente na Tabela 12, os seguintes resultados são mostrados na Tabela 20.

Ambos os cenários mostraram que trazem ganhos significativos para a operação, a escolha de qual cenário implementar passa a ser uma estratégia organizacional, visto que o C13 obtém maiores ganhos que o C7, porém requer maior investimento. No aspecto relacionado a estratégia da organização, deverá levar em consideração na tomada de decisão, quanto de dinheiro tem disponível para investimento, tempo necessário para efetuar a melhoria Vs produção corrente dos produtos, ciclo de vida dos produtos, mercados emergentes, lucro sobre o produto, oscilações de demanda, entre outros...

Na próxima seção será detalhado sobre a avaliação dos resultados da aplicação do Artefato, no que tange a análise crítica dos critérios escolhidos e segundo o método *Design Science*

Tabela 20: Resultados do Projeto Linha 47

Indicadores	Estado Atual	Ganhos Plan.	Ganhos C13	Ganhos C7
LEAD	6,4	20%	23%	18%
HH/TANQUE	3,1	10%	16%	-
WIP	56	20%	55%	19%
DP	351	20%	38%	30%
Investimento	-	-	R\$ 1,45 M	R\$ 0,15 K
ROI	-	> 5	9,22%	14,05%

Fonte: Elaborado pelo autor

Research.

4.3.6 Avaliação dos Resultados da Aplicação do Artefato

Seguindo os passos propostos por Manson (2006); Dresch, Lacerda e Antunes (2015), após a etapa de desenvolvimento, deve ser realizada a avaliação do Artefato. A seguir estão apresentados os pontos ressaltados na aplicação do método:

- O modelo conceitual do sistema de produção proposto contribuiu para criação de um novo sistema de produção, XPS. Podendo ser "batizado" de Sistema de Produção Bruning (SPB), corroborando com Netland (2013); Netland e Aspelund (2013); Netland e Sanchez (2014); Nunes (2015); Medeiros, Santos e Gohr (2016); Bielec (2017);
- O Artefato preenche uma lacuna relevante na organização em estudo, disponibilizar um processo estruturado para evoluir na direção da Indústria 4.0, reforçado por Sibatrova e Vishnevskiy (2016); Esmailian, Behdad e Wang (2016);
- A junção de Sistemas de Produção e Indústria 4.0 também foi uma contribuição significativa para o meio acadêmico e empresarial, contribuindo aos autores Rüttimann e Stöckli (2016); Sanders, Elangeswaran e Wulfsberg (2016); Leyh, Martin e Schäffer (2017); Sanders et al. (2017);
- Em projetos de melhoria contínua, as etapas de análise e aplicação das melhorias propostas são frequentemente um ciclo de tentativa e erro realizado por experimentação direta. Esse recurso é uma importante fonte de incerteza no dimensionamento de recursos. O estudo de Oliveira Gomes e Trabasso (2016), reforça essa ideia, apresentando uma sequência de atividades que enfatiza a aplicação de recursos de simulação como

uma ferramenta para auxiliar o processo de melhoria contínua na manufatura discreta, no contexto da abordagem *Lean Manufacturing*;

- O método atendeu ao pressuposto uma vez que são utilizadas ferramentas de Mapeamento do Fluxo de Valor (MFV) e simulação computacional, aplicando elementos da Indústria 4.0, visando a melhoria no Mecanismo da Função Produção (MFP), potencializando assim os ganhos financeiros e econômicos, contribuindo com Jaskulski (2018);
- O envolvimento dos profissionais da empresa na aplicação do Artefato contribuiu para descobrir lacunas do mesmo em termos de sua aplicabilidade no ambiente empresarial, indo ao encontro dos autores Anand e Kodali (2009a); Mostafa, Dumrak e Soltan (2013); Stålberg e Fundin (2016);
- A fase da estabilidade, como forma de entendimento, e não aplicada a um produto específico, mas sim ao processo como um todo, permitiu a equipe conhecer por completo todas as operações da área;
- A fase da simulação, apresentou-se como uma etapa importante no processos de melhoria e direcionamento para implementação dos elementos da Indústria 4.0;
- O Artefato mostrou-se importante para aumentar a competitividade da empresa em estudo. Permitiu um alinhamento estratégico no que tange a investimentos;
- A utilização da simulação como uma etapa do Artefato colabora com as pesquisas Anand e Kodali (2009b); Negahban e Smith (2014).

De acordo com o resultados apresentados nesta síntese a utilização de ferramentas tradicionais do sistema de produção em conjunto com tecnologias habilitadoras para a Indústria 4.0, tendem a potencializar os ganhos financeiros e econômicos da organização. A importância do tema em consonância com os avanços industriais, por meio da quarta revolução industrial e também pelas oportunidades de ganhos desse novo sistema de produção, reforça que *Lean Manufacturing* e Indústria 4.0 ainda são pouco explorados no ambiente das corporações, de modo geral. Foram realizadas pesquisas individuais em tecnologias aliadas a Indústria 4.0, porém a aplicação em conjunto com *Lean Manufacturing* e práticas desenvolvidas pela *Hyundai Motor Company* não foram encontradas no levantamento bibliográfico efetuado. Abrindo assim oportunidades de avanços em pesquisas relacionadas a este tema, (LEE; JO, 2007; MILNE; GRAY, 2013; NETLAND, 2013; NETLAND; SANCHEZ, 2014; NUNES; VACCARO; ANTUNES, 2017). Além da análise crítica descrita acima, os seguintes critérios foram observados no que tange ao comparativo efetuado entre antes e depois da simulação, estimado em:

- Tempo de atravessamento (horas): atendido 23% de ganho planejado para o C13 e 18% para C7 (objetivo acima de 20%);
- Horas homem / tanque produzido (hh/tanque): atendido 16% de ganho planejado para o C13 (objetivo acima de 10%);
- *Work In Process (WIP)* (número de tanques): atendido 55% de ganho planejado para o C13 e 19% para C7 (objetivo acima de 20%);
- Distância total percorrida pelos operadores (km/turno): atendido 38% de ganho planejado para o C13 e 30% para C7 (objetivo acima de 20%);
- Retorno do Investimento (ROI): atendido, ROI 9,22% para C13 e 14,05% para C7 (objetivo acima de 5%).

Segundo o Método de Pesquisa *Design Science Research*, a avaliação dos resultados foi feita segundo os sete requisitos de Hevner e Chatterjee (2010):

1. Artefato em si: o Artefato foi construído e aplicado. Seguiu as fases propostas pelo método de trabalho para atingimento dos resultados;
2. Relevância do problema: as etapas que devem ser adotadas pelas empresas para evoluírem na direção da Indústria 4.0 no intuito de obter melhorias em seu processo produtivo, conforme a problemática detalhada no capítulo 1 (Introdução), além da comparação da problemática com o Referencial Teórico (capítulo 2) e também de exemplos e aplicações citadas ao longo da tese;
3. Desempenho do Artefato: a implementação das ações, verificação da evolução dos indicadores e sobretudo a relação custo-benefício final do projeto, mostrado na subseção 4.3.6, apontam a eficácia do desempenho do Artefato. Embora a aplicação do Artefato tenha sido realizada e a avaliação descritiva do mesmo tenha sido realizada, se entende que as melhorias podem ser implementadas. Uma validação mais efetiva do Artefato melhorado poderá ser realizada, sendo para isto necessário sua posterior implantação em outros contextos práticos de empresas;
4. Contribuição da pesquisa: a construção do Artefato apresenta uma maneira eficaz de obter melhorias nos processo produtivo. Foram realizadas pesquisas individuais em tecnologias aliadas a Indústria 4.0. Porém, a aplicação em conjunto com *Lean Manufacturing* e práticas desenvolvidas pela *Hyundai Motor Company* não foram encontradas no levantamento bibliográfico efetuado;

5. Rigor da pesquisa: Devido a avaliação quantitativa, que ainda pode ser enriquecida futuramente por meio da aplicação e implantação em outros contextos práticos de empresas;
6. Processo de pesquisa: a pesquisa seguiu os passos propostos em literatura, com utilização de fontes como: teorias, outras pesquisas e aplicação prática. Contribuindo no debate da aplicação prática de novos conceitos de como implantar os elementos da Indústria 4.0 em Indústria de Autopeças;
7. Comunicação da pesquisa: dando origem a essa tese de doutorado, desdobramento de artigos científicos e contribuição para futuras pesquisas.

Considera-se essa pesquisa relevante na medida em que buscou discutir questões práticas e recorrentes no ambiente empresarial, fazendo uso do processo científico de construção de conhecimento para tentar solucionar um problema de ordem prática e contribuindo para o avanço da teoria. O processo de pesquisa foi conduzido seguindo os passos gerais proposto, no âmbito do método *Design Science Research*, ampliando o debate sobre métodos emergentes de construção de conhecimento no campo da engenharia. Embora algumas oportunidades de melhorias tenham sido identificadas, a pesquisa foi conduzida com rigor metodológico e seus resultados estão sendo comunicados por meio desta tese.

5 CONSIDERAÇÕES FINAIS

Neste capítulo apresentam-se as conclusões da tese, as limitações do trabalho e as recomendações para futuras pesquisas.

5.1 Conclusões

A busca pelo diferencial competitivo, leva as empresas a investirem em tecnologia direcionadas para a Indústria 4.0, que já deve ser considerada uma realidade para as organizações. As tecnologias, que eram vistas como algo distante para a aplicação nos sistemas produtivos, hoje é algo presente em empresas com resultados satisfatórios, mesmo que dependente do tipo de produção. O *Lean Manufacturing* não pode ser desconsiderado ao aplicar elementos da Indústria 4.0. Porém, o sistema de produção como um todo está necessitando de adaptações e incorporações que variam conforme a estratégia de operações de cada empresa.

Há, portanto, uma necessidade de adotar tecnologias conforme necessidades estratégicas que são motivadas por resultados dos indicadores de desempenho. Para facilitar esse processo o objetivo desta tese foi propor um método para implementação de um Sistema de Produção para Indústria de Autopeças com elementos da Indústria 4.0. Para alcançar este objetivo foi utilizada a estrutura metodológica do *Design Science Research*. Como o DSR propõe a construção de um Artefato no seu próprio ambiente de aplicação, o método foi desenvolvido e testado tendo como objeto de estudo a empresa Bruning Tecnometal.

Na busca pelas respostas aos objetivos específicos do trabalho foram identificados e caracterizado por meio da literatura os principais sistema de produção, começando pelo Sistema Fordista, avançando pelo Sistema Toyota, Volvo e finalizando pelo Sistema Hyundai. No que tange a estes sistemas de produção foram identificadas as práticas que permitem desenhar a Indústria 4.0, projetando um novo sistema de produção, mostrando um caminho para as empresas evoluírem na direção da Indústria 4.0. Na caracterização dos elementos da Indústria 4.0 e associação destes com as melhores práticas dos sistemas de produção, realizado também por meio da análise da literatura, auxiliou na definição dos constructos para elaboração do modelo conceitual do XPS. A utilização de elementos dos sistemas de produção citados, em conjunto com tecnologias da Indústria 4.0 e inclusão da simulação de eventos discretos no método mostra as oportunidades de ganhos em tempos reduzidos.

Para sintetizar as análises realizadas, destaca-se que o método proposto contribui para um diferencial competitivo à empresa, visto os resultados obtidos, 23% em *Lead Time*, 16% em HH/Tanque, 55% em *WIP*, 38% em distância total percorrida pelos operadores, além de um

retorno do investimento de 9,22%. Os ganhos tenderão a serem maiores conforme os custos das tecnologias baixarem ainda mais, viabilizando a inclusão de outras tecnologias, além de abranger um conjunto ainda maior de empresas. Essas alterações nos sistemas produtivos repercutem na competitividade da empresa, apresentando um menor tempo de atravessamento, aumento da produtividade, redução dos estoques, redução de custos e garantindo um melhor desempenho de entrega, conforme números mostrados anteriormente.

Do ponto de vista do pesquisador, destacam-se a oportunidade de trabalhar com um método de pesquisa que visa buscar a solução para um problema prático por meio de um Artefato, seguindo um rigor metodológico e gerando conhecimento a partir deste processo, visto a importância do tema em consonância com os avanços industriais, por meio da quarta revolução industrial e, também, pelas oportunidades de ganhos em velocidade, inserido dentro desse novo sistema de produção. Esta abordagem permitiu estabelecer uma relação entre os aspectos teóricos, discutidos e difundidos amplamente na academia, e aspectos práticos, diretamente relacionados as questões cotidianas das empresas industriais, a medida que busca a solução a partir da sinergia entre a teoria e prática.

Em uma perspectiva profissional, estudar o setor automotivo tem forte relação com a evolução tecnológica, visto a forte concorrência entre montadoras. A empresa em estudo auxiliou em todas as fases do método propostos, mostrando interesse na sua aplicação, visto as oportunidades de ganho já relatadas anteriormente.

De forma geral, pode-se concluir que o método contribuiu neste contexto para a ampliação do conhecimento, à medida que a execução de cada fase exigiu um nivelamento conceitual entre os participantes. O desenvolvimento do trabalho reforçou o interesse pelo acompanhamento e gestão dos resultados por meio de indicadores que reflitam, de maneira simples e direta, o comportamento da área industrial. Os indicadores utilizados para a medição dos resultados da aplicação do método, foram satisfatórios. No entanto, o tema dos investimentos e implementação ainda está longe de estar suficientemente equacionado para o novos cenário produtivo.

5.2 Limitações do Trabalho

A experiência de aplicação do método mostrou que a utilização do mesmo é possível, no que se propõe. No entanto, para atingir o máximo potencial de aplicação, o mesmo teria de ser inserido na cultura da empresa e absorvido nos seus processos e métodos internos. O resultado obtido pela implantação do processo citado na aplicação, tendo como ganho a redução de 23% do tempo de atravessamento, mostrando a importância de se continuar o aprimoramento do

método na adoção dessas tecnologias, uma vez que ainda existem barreiras tecnológicas a serem superadas, podendo abranger ainda mais tecnologias voltadas a Indústria 4.0, que não são factíveis de serem simuladas, como *big data analytics*, internet das coisas entre outras.

No modelo conceitual estabelecido, poderia ter sido expandido a visão considerando a metodologia *World Class Manufacturing* (WCM), desenvolvida pela Fiat e seus parceiros. O WCM é, em essência, um programa de excelência operacional, sendo baseado em 10 pilares: 1. Segurança; 2. Desdobramento de custos; 3. Melhoria focada; 4. Manutenção autônoma e Organização do espaço de trabalho; 5. Manutenção profissional; 6. Controle de qualidade; 7. Serviço logístico e de atendimento ao cliente; 8. Gerenciamento dos equipamentos; 9. Desenvolvimento de pessoas; 10. Meio ambiente.

No que tange a simulação, uma variável representativa é o *mix* de produção, que nem sempre é o mesmo simulado, as demandas sofrem oscilações de mercado e refletem nos pedidos recebidos. A não existência de um orçamento previsto, para aplicação imediata também pode ser considerado uma limitação do trabalho. Nesta pesquisa optou-se pelo menor custo possível nos cenários simulados, porém sem um *target* definido. Também os resultados econômico financeiro foram pouco explorados, poderiam ter sido melhor detalhados na apresentação dos resultados.

Por fim pela natureza do DSR, não é possível generalizar esse método para todos os ambientes empresariais. Porém, é possível utilizá-lo como base para adaptações aos diferentes ambientes e mercados de atuação das empresas.

5.3 Recomendações para Futuras Pesquisas

Pode-se relacionar as seguintes recomendações para trabalhos futuros:

- i. Gerar novas aplicações do Artefato, para aprimorá-lo em outros setores industriais;
- ii. Gerar outra versão do Artefato, a partir de avaliação crítica dos resultados em outro caso empírico;
- iii. Inclusão de outros elementos da Indústria 4.0;
- iv. Extensão da pesquisa para fornecedores e clientes;
- v. Abordar sobre a transformação cultural da organização, quando disposta a aplicar o método proposto;
- vi. Incluir a metodologia *World Class Manufacturing* (WCM), na melhoria do XPS;

- vii. Aplicar outras ferramentas de análise financeira, bem como aprofundar no aspecto econômico para inclusão Artefato;
- viii. Abordar a modularização dos *part number* como um pilar do modelo do sistema de produção proposto;
- ix. Inclusão do conceito Teoria das Restrições (TOC);
- x. Avaliar como cada elemento do sistema produtivo impacta em cada critério competitivo (indicadores de desempenho);
- xi. Discutir a influência de outros sistemas de produção modernos.

Finalmente, destaca-se que a inclusão dos elementos da Indústria 4.0 no ambiente produtivo é considerada uma das tendências para o futuro da indústria. Os próximos anos irão trazer novos desafios e oportunidades. Diante disto, as organizações mais bem preparadas para a mudança, construindo as capacidades organizacionais necessárias, estarão em vantagem competitiva e se beneficiarão destas tecnologias.

REFERÊNCIAS

ABEPRO. **Associação Brasileira de Engenharia de Produção**. Acessado em: 03-11-2018, <https://www.abepro.org.br>.

AHLSTRAND, R. Integrative strategy, competitiveness and employment: a case study of the transition at the swedish truck manufacturing company scania during the economic downturn in 2008–2010. **Economic and Industrial Democracy**, v. 36, n. 3, p. 457–477, 2015.

AKEN, J. E. v. Management research based on the paradigm of the design sciences: the quest for field-tested and grounded technological rules. **Journal of Management Studies**, v. 41, n. 2, p. 219–246, 2004.

ALIZON, F.; SHOOTER, S. B.; SIMPSON, T. W. Improving an existing product family based on commonality/diversity, modularity, and cost. **Design Studies**, v. 28, n. 4, p. 387–409, 2007.

ALUKAL, G. Create a lean, mean machine. **Quality Progress**, v. 36, n. 4, p. 29–35, 2003.

ALVES, J. R. X. **Modelo de Gestão da Produção Integrando os Princípios da Manufatura Enxuta e da Sustentabilidade Suportado pela Transformação Cultural da Organização**: aplicação na indústria automotiva. 2015. Tese Instituto Tecnológico de Aeronáutica, 2015.

ANAND, G.; KODALI, R. Development of a framework for implementation of lean manufacturing systems. **International Journal of Management Practice**, v. 4, n. 1, p. 95–116, 2009.

ANAND, G.; KODALI, R. Simulation model for the design of lean manufacturing systems: a case study. **International Journal of Productivity and Quality Management**, v. 4, n. 5-6, p. 691–714, 2009.

ANFAVEA. **Anuário da Indústria Automobilística Brasileira**. Acessado em: 05-05-2019, <http://www.virapagina.com.br/anfavea2019>.

ANTUNES, J.; ALVAREZ, R.; PELLEGRIN, I. d.; KLIPPEL, M.; BORTOLOTTI, P. **Sistemas de Produção**: conceitos e práticas para projetos e gestão da produção enxuta. 1. ed. Bookman, 2008.

ARBIX, G.; SALERNO, M. S.; DE NEGRI, J. A. The impact of internationalization with a focus on technological innovation and brazilian companies exports. **DADOS - Revista de Ciências Sociais**, v. 48, n. 1, p. 395–442, 2005.

ASSAF NETO, A. A dinâmica das decisões financeiras. **Caderno de Estudos**, n. 16, p. 01–17, 1997.

- ATIEH, A. M.; KAYLANI, H.; ALMUHTADY, A.; AL-TAMIMI, O. A value stream mapping and simulation hybrid approach: application to glass industry. **International Journal of Advanced Manufacturing Technology**, v. 84, n. 5-8, p. 1573–1586, 2016.
- BABSON, S. Lean or mean: the mit model and lean production at mazda. **Labor Studies Journal**, v. 18, n. 2, p. 3–24, 1993.
- BANKS, J.; CARSON, J.; NELSON, B.; NICOL, D. **Discrete Event System Simulation**. Prentice Hall, 2010.
- BAUR, C.; WEE, D. **Manufacturing's Next Act. Insights and Publications**. Acessado em: 17-12-2018, <http://www.mckinsey.com/business-functions/operations/our-insights/manufacturings-next-act>.
- BAYAZIT, N. Investigating design: a review of forty years of design research. **Design Issues**, v. 20, n. 1, p. 16–29, 2004.
- BAYLISS, C.; CLARK, K. Managing in an age of modularity. **Harvard Business Review**, p. 46–58, 1997.
- BELLIZIA, P. **A Quarta Revolução Industrial Começou e Vai Impactar Todos Nós**. Acessado em: 05-04-2017, <https://www.linkedin.com/pulse/quarta-revolução-industrial-começou-e-vai-impactar-todos-bellizia>.
- BERGER, A. Continuous improvement and kaizen: standardization and organizational designs. **Integrated Manufacturing Systems**, v. 8, n. 2, p. 110–117, 1997.
- BHAMU, J.; SINGH SANGWAN, K. Lean manufacturing: literature review and research issues. **International Journal of Operations & Production Management**, v. 34, n. 7, p. 876–940, 2014.
- BIELEC, T. **Company-Specific Production System in a Multi-Plant Company-Developing the Framework for Design and Implementation of XPS**. 2017. Dissertação Norwegian University of Science and Technology, 2017.
- BLACK, J. T.; KANNENBERG, G.; PIZZATO, F. **O Projeto da Fábrica com Futuro**. Bookman, 1998.
- BÖSENBERG, D.; METZEN, H. Lean management: vorsprung durch schlanke konzepte. In: CLARKE, C. (Ed.). **Automotive Production Systems and Standardisation: from ford to the case of mercedes-benz**. Springer Science & Business Media, 2005. p. 12.
- BRUNING. **Planejamento Estratégico Bruning Tecnometal 2018 - 2022**. 2018.
- BUER, S.-V.; STRANDHAGEN, J. O.; CHAN, F. T. The link between Industry 4.0 and lean manufacturing: mapping current research and establishing a research agenda. **International Journal of Production Research**, v. 56, n. 8, p. 2924–2940, 2018.

CARDOSO, C. **Indústrias de Autopeças e a Cadeia que Compõe o Mercado Automotivo**. Acessado em: 17-10-2016, <http://www.kitemes.com.br/2012/12/19/industrias-de-autopecas-e-a-cadeia-que-compoe-o-mercado-automotivo/>.

CASOTTI, B. P.; GOLDENSTEIN, M. Panorama do setor automotivo: as mudanças estruturais da indústria e as perspectivas para o Brasil. **BNDES Setorial**, n. 28, p. 147–188, 2008.

CERRA, A. L.; MAIA, J. L.; ALVES, F. A. G. Strategic, structural and relational aspects of three automotive supply chains. **Gestão & Produção**, v. 14, n. 2, p. 253–265, 2007.

CHERRAFI, A.; ELFEZAZI, S.; CHIARINI, A.; MOKHLIS, A.; BENHIDA, K. The integration of lean manufacturing, six sigma and sustainability: a literature review and future research directions for developing a specific model. **Journal of Cleaner Production**, v. 139, p. 828–846, 2016.

CHIARINI, A. Sustainable manufacturing-greening processes using specific lean production tools: an empirical observation from European motorcycle component manufacturers. **Journal of Cleaner Production**, v. 85, p. 226–233, 2014.

CHIARINI, A.; VAGNONI, E. World-class manufacturing by Fiat. Comparison with Toyota production system from a strategic management, management accounting, operations management and performance measurement dimension. **International Journal of Production Research**, v. 53, n. 2, p. 590–606, 2015.

CHUNG, M. K. The way of modularization strategy by Hyundai. **GERPISA**, p. 6–8, 2002.

CLARKE, C. **Automotive Production Systems and Standardisation: from Ford to the case of Mercedes-Benz**. Springer Science & Business, 2005.

CNI. **Desafios para Indústria 4.0 no Brasil**. Brasília: Confederação Nacional da Indústria, 2016.

COAN, J. C. **Manufatura 4.0 e a Quarta Revolução Industrial**. Acessado em: 28-03-2017, <https://www.ibm.com/developerworks/community/blogs/tlcbbr/entry/mp264?lang=en>.

COMM, C. L.; MATHAISEL, D. F. A paradigm for benchmarking lean initiatives for quality improvement. **Benchmarking: An International Journal**, v. 7, n. 2, p. 118–127, 2000.

CUNHA, L. d. O. **Desenvolvimento de um Modelo de Gestão da Produção Integrando os Sistemas de Qualidade e de Manufatura Enxuta de Forma Sustentável: aplicação na indústria aeronáutica**. 2015. Tese Instituto Tecnológico de Aeronáutica, 2015.

DABHILKAR, M.; ÅHLSTRÖM, P. Converging production models: the STS versus lean production debate revisited. **International Journal of Operations & Production Management**, v. 33, n. 8, p. 1019–1039, 2013.

DANKBAAR, B. Lean production: denial, confirmation or extension of sociotechnical systems design? **Human Relations**, v. 50, n. 5, p. 567–583, 1997.

DENNIS, P. **Produção Lean Simplificada**. Bookman, 2009.

DRESCH, A.; LACERDA, D. P.; ANTUNES, J. A. V. **Design Science Research**: método de pesquisa para avanço da ciência e tecnologia. Bookman, 2015.

DYER, J. H.; SINGH, H. The relational view: cooperative strategy and sources of interorganizational competitive advantage. **Academy of Management Review**, v. 23, n. 4, p. 660–679, 1998.

ELLEGARD, K. The creation of a new production system at the Volvo automobile assembly plant in Uddevalla, Sweden. **Enriching Production, Avebury, Aldershot**, p. 37–60, 1995.

ENGSTRÖM, T.; BLOMQUIST, B.; HOLMSTRÖM, O. Reconstructing the history of the main Volvo Tuve plant: some general trends, reasons and consequences for different assembly system designs. **International Journal of Operations & Production Management**, v. 24, n. 8, p. 820–839, 2004.

ENSSLIN, L.; VIANNA, W. B. O design na pesquisa quali-quantitativa em engenharia de produção: questões epistemológicas. **Revista Produção Online**, v. 8, n. 1, p. 1–16, 2008.

ESMAEILIAN, B.; BEHDAD, S.; WANG, B. The evolution and future of manufacturing: a review. **Journal of Manufacturing Systems**, v. 39, p. 79–100, 2016.

EXAME. **Melhores e Maiores Exame – As 1.000 Maiores Empresas do Brasil**. Acessado em: 02-04-2017, <http://exame.abril.com.br/edicoes/111602/>.

FALLER, C.; FELDMÜLLER, D. Industry 4.0 learning factory for regional SMEs. **Procedia CIRP**, v. 32, p. 88–91, 2015.

FARO. **Laser Scanner**: instrumentos perfeitos para documentação 3d. Acessado em: 21-03-2017, <http://www.faro.com>.

FERRO, R. **Proposta de um Método para Melhoria de Sistemas de Produção Baseada na Simulação de Eventos Discretos e Manufatura Enxuta**. 2014. Tese Universidade Metodista de Piracicaba, Santa Bárbara d'oeste, 2014.

FINE, C. H.; HAX, A. C. Manufacturing strategy: a methodology and an illustration. **Interfaces**, v. 5, n. 6, p. 28–46, 1985.

FISCHER, T. **A Análise de Patentes da Fraunhofer IAO Mostra a Vantagem da China na Indústria 4.0**. Acessado em: 08-04-2017, <http://www.iao.fraunhofer.de/lang-de/ueber-uns/presse-und-medien/1585-industrie-4-0-china-auf-der-ueberholspur.html>.

FREITAS FILHO, P. J. **Introdução à Modelagem e Simulação de Sistemas**: com aplicações em arena. 2. ed. Visual Books, 2008.

GARO JR, W.; GUIMARÃES, M. R. N. Competitive priorities and strategic alignment as mediators in the relationship between companies in the Brazilian automotive supply chain. **South African Journal of Industrial Engineering**, v. 29, n. 1, p. 184–194, 2018.

GHINATO, P. Produção & competitividade: aplicações e inovações. **UFPE**, 2000.

GIL, A. C. **Como Elaborar Projetos de Pesquisa**. 5. ed. Atlas, 2010.

GILCHRIST, A. **Industry 4.0**. 1. ed. Apress, 2016.

GOTTFREDSON, M.; ASPINALL, K. Innovation versus complexity. **Harvard Business Review**, p. 62–71, 2005.

GRAÇA, L. O caso da fábrica de automóveis da Volvo em Uddevalla (Suécia): parte one. **Volvo Automobile Assembly Plant at Uddevalla, Sweden**, 2002.

GRAZIADIO, T.; ZILBOVICIUS, M. Exploring the reasons for different roles of module suppliers in a car assembly plant. **GERPISA**, p. 11–13, 2003.

HABEKOST, A. F. **Diretrizes para Introdução dos Conceitos da Indústria 4.0 no Segmento de Manufatura de Veículos Linha Leve**. 2019. Dissertação Universidade do Vale do Rio dos Sinos, 2019.

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.

HAYES; PISANO. Pursuing the competitive edge. **Production and Operations Management**, v. 5, n. 1, p. 360, 2005.

HAYES, R. H.; PISANO, G. P. Beyond world-class: the new manufacturing strategy. **Harvard Business Review**, v. 72, n. 1, p. 77–86, 1994.

HEVNER, A.; CHATTERJEE, S. **Design Research in Information Systems: theory and practice**. Springer Science & Business Media, 2010. v. 22.

HOWELL, L. J.; HSU, J. C. Globalization within the auto industry. **Research-Technology Management**, v. 45, n. 4, p. 43–49, 2002.

HWANG, C.-L.; MASUD, A. S. M. **Multiple Objective Decision Making—Methods and Applications: a state-of-the-art survey**. Springer Science & Business Media, 2012. v. 164.

IBGE, I. B. d. G. e. E. **Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística**. Acessado em: 26-05-2019, <https://cidades.ibge.gov.br/brasil/rs/panambi/panorama>.

INGENSAND, H.; RYF, A.; SCHULZ, T. **Performances and Experiences in Terrestrial Laserscanning**. Measurement Techniques VI, Grün/Kahmen, 2003.

- ISERMANN, R. Mechatronic systems-innovative products with embedded control. **Control Engineering Practice**, v. 16, n. 1, p. 14–29, 2008.
- JACOBS, F. R.; CHASE, R. B.; AQUILANO, N. Operations management for competitive advantage. **Mc-Graw Hill**, v. 64, p. 70, 2004.
- JASKULSKI, L. **Método de Diagnóstico e Implantação Processual dos Elementos da Indústria 4.0 no Setor Metalmeccânico Brasileiro**. 2018. Tese Universidade do Vale do Rio dos Sinos, 2018.
- JO, H. J. The Hyundai way: the evolution of a production model. **Global Asia**, v. 5, n. 2, p. 102–107, 2010.
- JONSSON, D.; MEDBO, L.; ENGSTRÖM, T. Some considerations relating to the reintroduction of assembly lines in the Swedish automotive industry. **International Journal of Operations & Production Management**, v. 24, n. 8, p. 754–772, 2004.
- JUNIOR, F. R. L.; CARPINETTI, L. C. R. Uma comparação entre os métodos TOPSIS e Fuzzy-TOPSIS no apoio à tomada de decisão multicritério para seleção de fornecedores. **Gestão & Produção**, v. 22, n. 1, p. 17–34, 2015.
- KAGERMANN, H.; HELBIG, J.; HELLINGER, A.; WAHLSTER, W. **Recommendations for Implementing the Strategic Initiative Industrie 4.0: securing the future of german manufacturing industry; final report of the industrie 4.0 working group**. Forschungsunion, 2013.
- KAHRAMAN, C. **Fuzzy multi-criteria decision making: theory and applications with recent developments**. Springer Science & Business Media, 2008. v. 16.
- KANG, J.-Y. New trend of parts supply system in Korean automobile industry: the case of the modular production system at hyundai motor company. **5th Korea-Russia International Symposium on Science and Technology**, v. 2, n. 1, p. 314–317, 2001.
- KELTON, W. D.; SALDOWSKI, D. A. **Simulation Whith Arena**. 6. ed. Mc-Graw Hill, 2014.
- KOLBERG, D.; ZÜHLKE, D. Lean automation enabled by industry 4.0 technologies. **IFAC**, v. 48, n. 3, p. 1870–1875, 2015.
- KOSAKA, G. **Fluxo Contínuo**. Acessado em: 20-10-2018, <https://www.lean.org.br/artigos/366/fluxo-contínuo.aspx>.
- KOSAKA, G. **Estabilidade**. Acessado em: 20-01-2019, <https://www.lean.org.br/artigos/340/estabilidade.aspx>.
- KRAFCIK, J. F. Triumph of the lean production system. **MIT Sloan Management Review**, v. 30, n. 1, p. 41, 1988.

KUECHLER, B.; VAISHNAVI, V. Promoting relevance in IS research: an informing system for design science research. **International Journal of an Emerging Transdiscipline**, v. 14, n. 1, p. 125–138, 2011.

KURDVE, M.; ZACKRISSON, M.; WIKTORSSON, M.; HARLIN, U. Lean and green integration into production system models—experiences from Swedish industry. **Journal of Cleaner Production**, v. 85, p. 180–190, 2014.

LANSBURY, R. D.; SUH, C.-S.; KWON, S.-H. **A Estratégia Global da Hyundai: a evolução da indústria coreana de automóveis**. 1. ed. Bookman, 2016.

LASI, H.; FETTKE, P.; KEMPER, H.-G.; FELD, T.; HOFFMANN, M. Industry 4.0. **Business & Information Systems Engineering**, v. 6, n. 4, p. 239, 2014.

LAW AVERILL, M.; DAVID, K. W. **Simulation Modeling and Analysis**. 5. ed. Mc-Graw Hill, 2014.

LEE, B.-H.; JO, H.-J. The mutation of the Toyota production system: adapting the tps at hyundai motor company. **International Journal of Production Research**, v. 45, n. 16, p. 3.665–3.679, 2007.

LEE, J. Industry 4.0 in big data environment. **German Harting Magazine**, p. 8–10, 2013.

LEYH, C.; MARTIN, S.; SCHÄFFER, T. **Industry 4.0 and Lean Production: a matching relationship? an analysis of selected industry 4.0 models**. 1. ed. IEEE, 2017.

LIKER, J. K. **Las Claves del Éxito de Toyota: 14 principios de gestión del fabricante más grande del mundo**. Gestión 2000, 2010.

LONG, F.; ZEILER, P.; BERTSCHE, B. Modelling the production systems in industry 4.0 and their availability with high-level Petri nets. **IFAC**, v. 49, n. 12, p. 145–150, 2016.

LUGERT, A.; BATZ, A.; WINKLER, H. Empirical assessment of the future adequacy of value stream mapping in manufacturing industries. **Journal of Manufacturing Technology Management**, v. 29, n. 5, p. 886–906, 2018.

MACDUFFIE, J. P. Modularity-as-property, modularization-as-process, and ‘modularity’-as-frame: lessons from product architecture initiatives in the global automotive industry. **Global Strategy Journal**, v. 3, n. 1, p. 8–40, 2013.

MAGUIRE, K. **Lean and IT Working Together? An exploratory study of the potential conflicts between Lean Thinking and the use of information technology in organisations today**. Springer, 2016.

MANSON, N. Is operations research really research? **Orion**, v. 22, n. 2, p. 155–180, 2006.

MARCH, S. T.; SMITH, G. F. Design and natural science research on information technology. **Decision Support Systems**, v. 15, n. 4, p. 251–266, 1995.

- MARODIN, G. A.; SAURIN, T. A. Classification and relationships between risks that affect lean production implementation: a study in southern brazil. **Journal of Manufacturing Technology Management**, v. 26, n. 1, p. 57–79, 2015.
- MARTIN, X.; MITCHELL, W.; SWAMINATHAN, A. Beyond mass production: the japanese system and its transfer to the united states. **Academy of Management Review**, v. 19, n. 3, p. 600, 1994.
- MATION, L. F. Comparações internacionais de produtividade e impactos do ambiente de negócios. **Produtividade no Brasil: Desempenho e Determinantes**, v. 1, p. 173–199, 2014.
- MAXIMIANO, A. C. A. **Introdução à Administração**. 8. ed. Atlas, 2011.
- MAYS, N.; POPE, C. **Qualitative Research in Health Care**. 3. ed. Wiley Blackwell, 2016.
- MEDEIROS, N. C.; SANTOS, L. C.; GOHR, C. F. Implementação e adaptação de práticas enxutas em um sistema específico de gestão da produção (XPS): um estudo em uma empresa de eletrônicos. **Encontro Nacional de Engenharia de Produção**, v. 36, 2016.
- MELÃO, N.; PIDD, M. A conceptual framework for understanding business processes and business process modelling. **Information Systems Journal**, v. 10, n. 2, p. 105–129, 2000.
- MIGUEL, P. A. C. et al. Estudo de caso na engenharia de produção: estruturação e recomendações para sua condução. **Revista Produção**, v. 17, n. 1, p. 216–229, 2007.
- MILNE, M. J.; GRAY, R. W(h)ither ecology? The triple bottom line, the global reporting initiative, and corporate sustainability reporting. **Journal of Business Ethics**, v. 118, n. 1, p. 13–29, 2013.
- MIYAGI, P. E. **Introdução a Simulação Discreta**. Escola Politécnica da USP, 2006.
- MOSTAFA, S.; DUMRAK, J.; SOLTAN, H. A framework for lean manufacturing implementation. **Production & Manufacturing Research**, v. 1, n. 1, p. 44–64, 2013.
- NAGANO, M. S.; STEFANOVITZ, J. P.; VICK, T. E. Innovation management processes, their internal organizational elements and contextual factors: an investigation in brazil. **Journal of Engineering and Technology Management**, v. 33, p. 63–92, 2014.
- NAYLOR, J. B.; NAIM, M. M.; BERRY, D. Leagility: integrating the lean and agile manufacturing paradigms in the total supply chain. **International Journal of Production Economics**, v. 62, n. 1, p. 107–118, 1999.
- NEGAHBAN, A.; SMITH, J. S. Simulation for manufacturing system design and operation: literature review and analysis. **Journal of Manufacturing Systems**, v. 33, n. 2, p. 241–261, 2014.
- NEGRI, F.; CAVALCANTE, L. R. **Os Dilemas e os Desafios da Produtividade no Brasil**. Produtividade no Brasil: desempenho e determinantes. Brasília: ABDI: IPEA, 2014. 15–51 p. v. 1.

NETLAND, T. Exploring the phenomenon of company-specific production systems: one-best-way or own-best-way? **International Journal of Production Research**, v. 51, n. 4, p. 1084–1097, 2013.

NETLAND, T.; ASPELUND, A. Company-specific production systems and competitive advantage: a resource-based view on the volvo production system. **International Journal of Operations & Production Management**, v. 33, n. 11/12, p. 1511–1531, 2013.

NETLAND, T.; SANCHEZ, E. Effects of a production improvement programme on global quality performance: the case of the volvo production system. **TQM Journal**, v. 26, n. 2, p. 188–201, 2014.

NEUGEBAUER, R.; HIPPMANN, S.; LEIS, M.; LANDHERR, M. Industrie 4.0-from the perspective of applied research. **Procedia CIRP**, 2016.

NOF, S. Y. Research advances in manufacturing with service-oriented e-work and production. **IFAC**, v. 46, n. 7, p. 251–256, 2013.

NUNES, F. d. L. **Sistema Hyundai de Produção**: uma proposição de modelo conceitual. 2015. Dissertação Universidade do Vale do Rio dos Sinos, 2015.

NUNES, F. d. L.; MENEZES, F. M. Sistema Hyundai de Produção e Sistema Toyota de Produção: suas interações e diferenças. **Revista Acadêmica São Marcos**, v. 4, n. 2, p. 101–120, 2015.

NUNES, F.; VACCARO, G. L. R.; ANTUNES, J. A. V. The development of the Hyundai production system: the historical evolution. **Journal of Manufacturing Systems**, v. 43, n. 1, p. 47–57, 2017.

OHNO, T. **O Sistema Toyota de Produção Além da Produção**. 1. ed. Bookman, 1997.

OLIVEIRA GOMES, V. E. de; DE BARBA JR, D. J.; OLIVEIRA GOMES, J. de; GROTE, K.-H.; BEYER, C. Sustainable layout planning requirements by integration of discrete event simulation analysis (DES) with life cycle assessment (LCA). **IFIP International Conference on Advances in Production Management Systems**, p. 232–239, 2012.

OLIVEIRA GOMES, V. E. de; TRABASSO, L. G. A Proposal Simulation Method towards Continuous Improvement in Discrete Manufacturing. **Procedia CIRP**, v. 57, p. 270–275, 2016.

OUDHUIS, M. The birth of the individualised team: the individual and collective in a team based production organisation at the volvo bus plant. **International Journal of Operations & Production Management**, v. 24, n. 8, p. 787–800, 2004.

PADILHA, A. **Significado de ROI**. Acessado em: 17-12-2018, <https://www.significados.com.br/roi/>.

- PAIVA, E. L.; CARVALHO JR, J. M. de; FENSTERSEIFER, J. E. **Estratégia de Produção e de Operações**: conceitos, melhores práticas, visão de futuro. 2. ed. Bookman, 2009.
- PASHAEI, S.; OLHAGER, J. Product architecture and supply chain design: a systematic review and research agenda. **Supply Chain Management: An International Journal**, v. 20, n. 1, p. 98–112, 2015.
- PELLEGRIN, I.; ANTUNES, J. **Sistema Produttore de Produção – SPP**: a produção como arma para alavancar a competitividade das empresas brasileiras. Acessado em: 12-10-2016, <http://www.produttore.com.br/artigos.php?titulo=Sistema-PRODUTTORE-de-Producao—SPP-A-producao-como-arma-competitiva-para-alavancar-a-competitividade-das-empresas-brasileiras->.
- PEREIRA, A. P. A. **Simulação de Sistemas de Produção Lean**. 2009. Tese Universidade do Porto, 2009.
- POINTCAB. **PointCab Software is Compatible With All Current CAD Systems**. Acessado em: 17-12-2018, <https://www.pointcab-software.com/en/>.
- PORTER, M. E.; HEPPELMANN, J. E. How smart, connected products are transforming companies. **Harvard Business Review**, v. 93, n. 10, p. 96–114, 2015.
- PORTER, M.; HEPPELMANN, J. How smart connected products are transforming competition. **Harvard Business Review**, v. 92, n. 11, p. 64–88, 2014.
- PRINZ, C.; MORLOCK, F.; FREITH, S.; KREGGENFELD, N.; KREIMEIER, D.; KUHLENKÖTTER, B. Learning factory modules for smart factories in Industrie 4.0. **Procedia CIRP**, v. 54, p. 113–118, 2016.
- PUTNIK, G. D.; 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.
- QIN, J.; LIU, Y.; GROSVENOR, R. A categorical framework of manufacturing for industry 4.0 and beyond. **Procedia CIRP**, v. 52, p. 173–178, 2016.
- RAUCH, E. **Konzept Eines Wandlungsfähigen und Modularen Produktionssystems Für Franchising-Modelle**. 2013. Dissertação University of Stuttgart, 2013.
- RODRIGUES, L. H.; AGOSTINHO, O. L. Proposal for a model for competitiveness analysis in environmental sustainability in automotive segment companies. **Gestão da Produção**, v. 13, n. 2, p. 132–160, 2018.
- RODRIGUES, M. V. **Entendendo, Aprendendo e Desenvolvendo Sistemas de Produção Lean Manufacturing**. 2. ed. Elsevier, 2015.
- ROESCH, S. M. A. **Projetos de Estágio e de Pesquisa em Administração**. 3. ed. Atlas, 2009.

ROH, J.; HONG, P.; MIN, H. Implementation of a responsive supply chain strategy in global complexity: the case of manufacturing firms. **International Journal of Production Economics**, v. 147, p. 198–210, 2014.

ROMBERG, A. **Industry 4.0 and Lean**. Staufen, 2015.

RÜTTIMANN, B. G.; STÖCKLI, M. T. Lean and Industry 4.0 — Twins, Partners, or Contenders? A due clarification regarding the supposed clash of two production systems. **Journal of Service Science and Management**, v. 9, n. 06, p. 485, 2016.

SAMUEL, D.; FOUND, P.; WILLIAMS, S. J. How did the publication of the book the machine that changed the world change management thinking? Exploring 25 years of lean literature. **International Journal of Operations & Production Management**, v. 35, n. 10, p. 1.386–1.407, 2015.

SANDERS, A.; ELANGESWARAN, C.; WULFSBERG, J. Industry 4.0 implies lean manufacturing: research activities in industry 4.0 function as enablers for lean manufacturing. **Journal of Industrial Engineering and Management**, v. 9, n. 3, p. 811–833, 2016.

SANDERS, A.; SUBRAMANIAN, K. R.; REDLICH, T.; WULFSBERG, J. P. **Industry 4.0 and Lean Management—Synergy or Contradiction?** Springer, 2017.

SCHEER, A. Industry 4.0: from vision to implementation. **RFID Journal**, n. 9, 2015.

SCHMIDT, F. C. **Estudo dos Principais Fatores Associados aos Acidentes de Trabalho em uma Empresa de Grande Porte do Ramo Metal Mecânico**. 2014. Dissertação Universidade Federal de Santa Maria, 2014.

SCHMIDT, F.; ZANINI, R.; KORZENOWSKI, A.; SCHMIDT JUNIOR, R.; NASCIMENTO, K. Xavier do. Evaluation of sustainability practices in small and medium-sized manufacturing enterprises in Southern Brazil. **Sustainability**, v. 10, n. 7, p. 2460, 2018.

SCHMIDT JUNIOR, R.; SILVA TEIXEIRA, G. da; RIBEIRO, F. G.; NETO, G. B. Is there a trade-off between supervision and wage? Evidence from a metal mechanical firm in southern Brazil. **Economia Aplicada**, v. 21, n. 1, p. 111–130, 2017.

SCHUMPETER, J. A. Capitalism, socialism and democracy (1942). **J. Econ. Literature**, v. 20, p. 1463, 1976.

SCHWAB, K. **The Fourth Industrial Revolution**. 1. ed. Crown Business, 2017.

SEELY, B. E. The rational factory: architecture, technology, and work in america's age of mass production. **Technology and Culture**, v. 40, n. 3, p. 677–679, 1999.

SENAI. **Relatório Sobre a Linha 47**: estudo de melhorias do processo de manufatura e viabilidade de sensoriamento. 2018.

- SHARMA, A.; MOODY, P. E. **A Máquina Perfeita**: como vencer na nova economia produzindo com menos recursos. Pearson Education do Brasil, 2003.
- SHINGO, S. **Sistema de Produção com Stock Zero**: o sistema shingo para melhorias contínuas. 1. ed. Bookman, 1996.
- SHINGO, S. **O Sistema Toyota de Produção**. Bookman Editora, 1996.
- SIANI, P. **Setor Automobilístico Pode Desacelerar Ainda Mais em 2016**. Acessado em: 07-10-2018, <http://g1.globo.com/jornal-da-globo/noticia/2016/01/setor-automobilistico-pode-desacelerar-ainda-mais-em-2016.html>.
- SIBATROVA, S.; VISHNEVSKIY, K. **Present and Future of the Production**: integrating lean management into corporate foresight. National Research University Higher School of Economics, 2016.
- SILVA, J. C.; TARALLI, C. H.; MELZ, S. P. Tecnologias, dispositivos e recursos do escaneamento tridimensional no raciocínio projetual. **Encuentro Latinoamericano de Buenos Aires**, v. 20, p. 172–173, 2015.
- SILVA, W. A. **Otimização de Parâmetros da Gestão Baseada em Atividades Aplicada em uma Célula de Manufatura**. 2005. Dissertação Universidade Federal de Itajubá, 2005.
- SIMPSON, D. F.; POWER, D. J. Use the supply relationship to develop lean and green suppliers. **Supply Chain Management**, v. 10, n. 1, p. 60–68, 2005.
- SINGH, H.; MAHMOOD, R. Manufacturing strategy and export performance of small and medium enterprises in Malaysia: moderating role of external environment. **International Journal of Business and Commerce**, v. 3, n. 5, p. 37–52, 2014.
- SKINNER, W. The focused factory. **Harvard Business Review**, p. 113–121, 1974.
- SKINNER, W. Three yards and a cloud of dust: industrial management at century end. **Production and Operations Management**, v. 5, n. 1, p. 15–24, 1996.
- SLACK, N. **The Manufacturing Advantage**: achieving competitive manufacturing operations. Mercury Business Books, 1992.
- SMITH, J. S. Survey on the use of simulation for manufacturing system design and operation. **Journal of Manufacturing Systems**, v. 22, n. 2, p. 157–171, 2003.
- SONY, M. Industry 4.0 and lean management: a proposed integration model and research propositions. **Production & Manufacturing Research**, v. 6, n. 1, p. 416–432, 2018.
- STÅLBERG, L.; FUNDIN, A. Exploring a holistic perspective on production system improvement. **International Journal of Quality & Reliability Management**, v. 33, n. 2, p. 267–283, 2016.

STÅLBERG, L.; FUNDIN, A. Lean production integration adaptable to dynamic conditions. **Journal of Manufacturing Technology Management**, v. 29, n. 8, p. 1358–1375, 2018.

STRAUSS, A.; CORBIN, J. **Basics of Qualitative Research**: techniques and procedures for developing grounded theory. 3. ed. SAGE, 2007.

TEIXEIRA, R.; LACERDA, D. P.; ANTUNES, J.; DOUGLAS, V. **Estratégia de Produção: 20 artigos clássicos para aumentar a competitividade da empresa**. 1. ed. Bookman, 2014.

TIMMER, M. P.; VRIES, G. J. de. Structural change and growth accelerations in Asia and Latin America: a new sectoral data set. **Cliometrica**, v. 3, n. 2, p. 165–190, 2009.

TONELLI, F.; DEMARTINI, M.; LOLEO, A.; TESTA, C. A novel methodology for manufacturing firms value modeling and mapping to improve operational performance in the Industry 4.0 era. **Procedia CIRP**, v. 57, p. 122–127, 2016.

TORTORELLA, G. L.; FETTERMANN, D. Implementation of Industry 4.0 and lean production in Brazilian manufacturing companies. **International Journal of Production Research**, v. 56, n. 8, p. 2975–2987, 2018.

VANALLE, R. M.; SALLES, J. A. A. Relationship between assemblers and suppliers: theoretical models and case studies in the brazilian auto industry. **Gestão & Produção**, v. 18, n. 2, p. 237–250, 2011.

VESELOVSKÁ, L.; KOŽAROVA, M.; ZAVADSKY, J. Relationship between information sharing and flexibility in management of enterprises in automotive industry: an empirical study. **Serbian Journal of Management**, v. 13, n. 2, p. 381–393, 2018.

VEZA, I.; MLADINEO, M.; GJELDUM, N. Selection of the basic lean tools for development of croatian model of innovative smart enterprise. **Tehnički Vjesnik**, v. 23, n. 5, p. 1317–1324, 2016.

VOLVO. **Annual and Sustainability Report 2016**. Acessado em: 06-04-2017, <http://www.volvogroup.com/en-en/events/2017/mar/annual-and-sustainability-report-2016.html>.

WAHLSTER, W. From industry 1.0 to industry 4.0: towards the 4th industrial revolution. **European Summit on Future Internet Towards Future Internet International, Finland**, v. 31, 2012.

WALLACE, T. Innovation and hybridization: managing the introduction of lean production into volvo do brazil. **International Journal of Operations & Production Management**, v. 24, n. 8, p. 801–819, 2004.

WESTKÄMPER, E.; SPATH, D.; CONSTANTINESCU, C.; LENTES, J. **Digitale Produktion**. Springer, 2013.

WHEEL WRIGHT, S. C. Manufacturing strategy: defining the missing link. **Strategic Management Journal**, v. 5, n. 1, p. 77–91, 1984.

WOMACK, J. P.; JONES, D. T. **Lean Thinking**: banish waste and create wealth in your organisation. 1. ed. Free Press, 1996.

WOMACK, J. P.; JONES, D. T. **A Máquina que Mudou o Mundo**. 5. ed. Elsevier, 2004.

WOMACK, J. P.; JONES, D. T.; ROOS, D. **The Machine that Changed the World**. Free Press, 1990.

WOOD JR, T. Fordismo, toyotismo e volvismo: os caminhos da indústria em busca do tempo perdido. **Revista de Administração de Empresas**, v. 32, n. 4, p. 6–18, 1992.

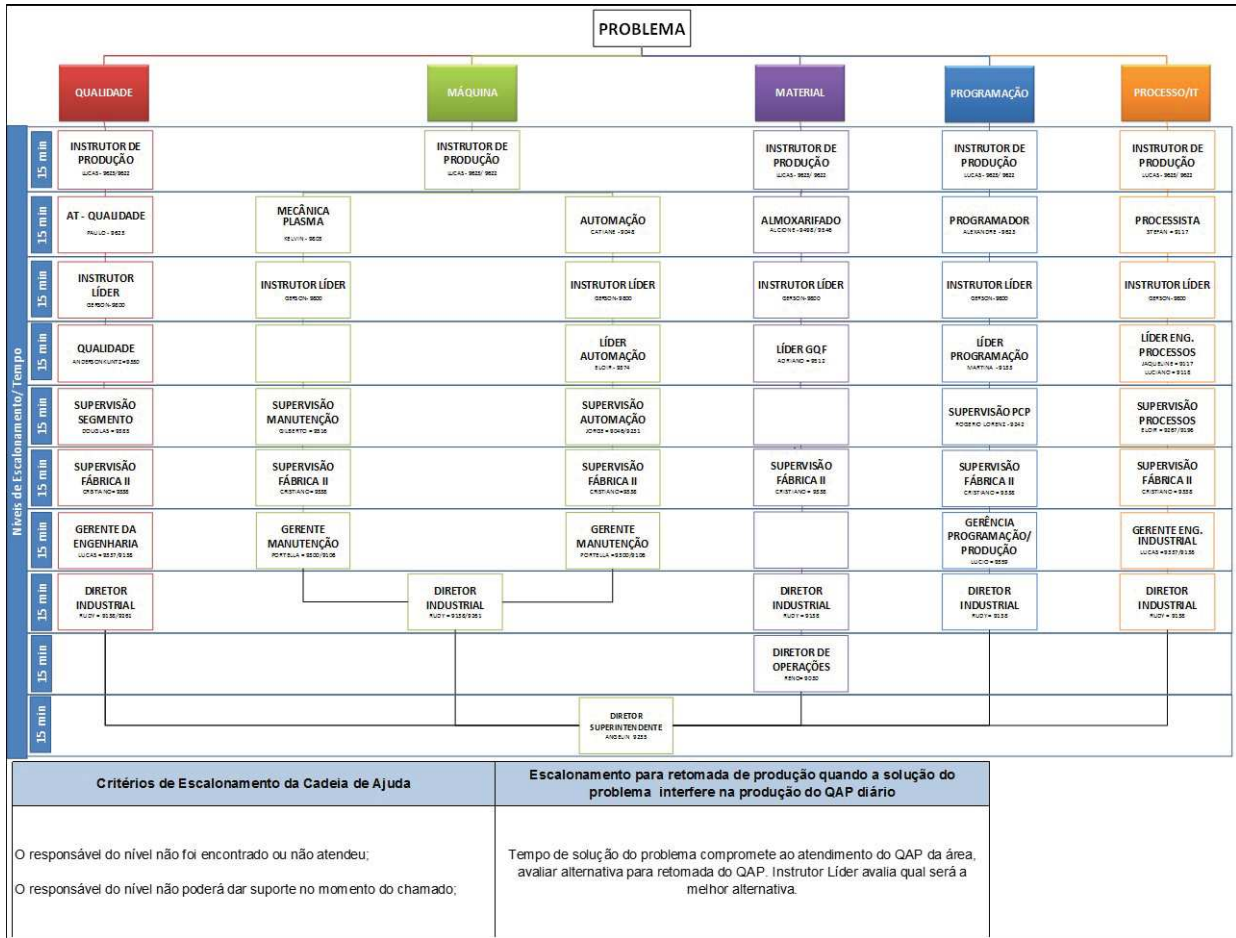
WUTKE, J. D. Métodos para avaliação de um sistema laser scanner terrestre. **Boletim de Ciências Geodésicas**, v. 12, n. 1, 2006.

XU, L. D.; XU, E. L.; LI, L. Industry 4.0: state of the art and future trends. **International Journal of Production Research**, v. 56, n. 8, p. 2941–2962, 2018.

APÊNDICE A CICLO DAS FASES DO ARTEFATO

APÊNDICE B TIME DO PROJETO NA APRESENTAÇÃO DO A3

APÊNDICE C CADEIA DE AJUDA

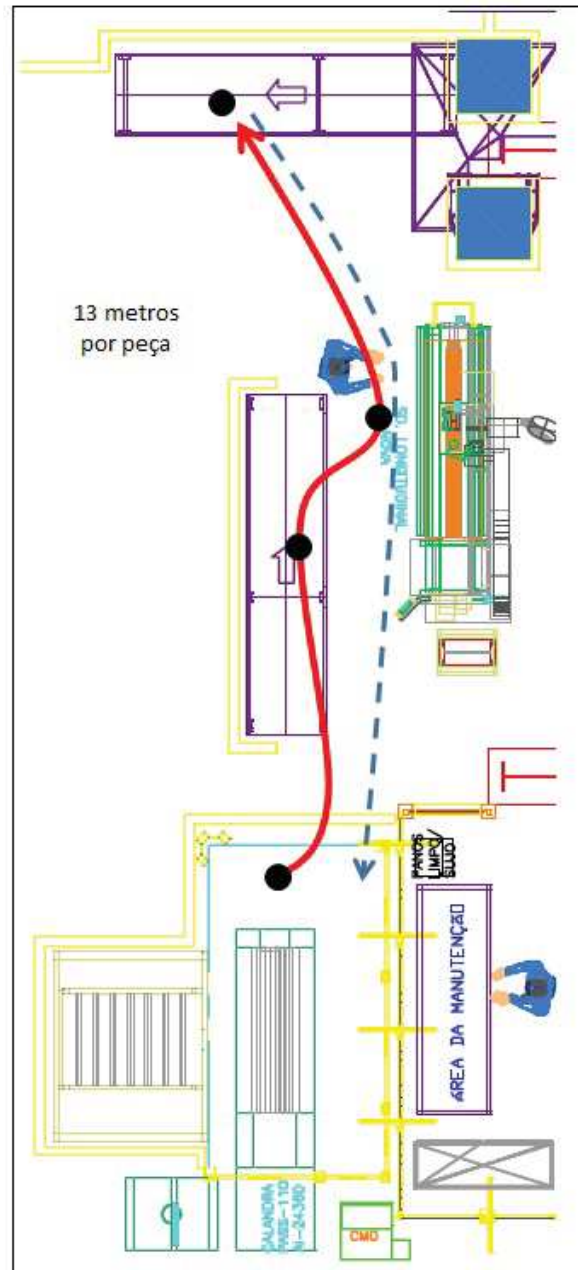


APÊNDICE D QUADRO DE ANÁLISE DA PRODUÇÃO (QAP)

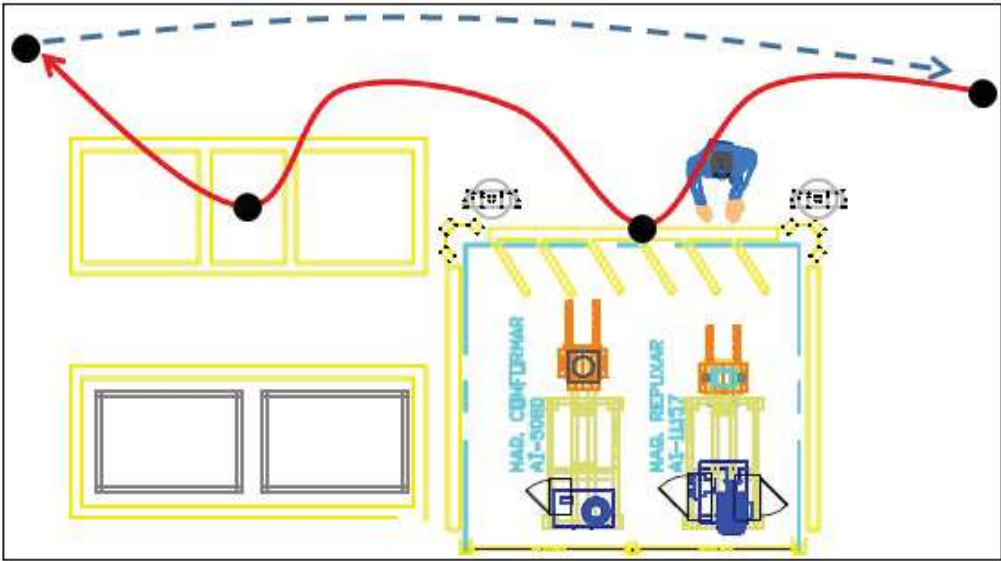
QAP					
Horário	Planejado	Planejado Acumulado	Realizado	Realizado Acumulado	Causas do Não Atendimento do Planejado
05:00 - 06:00					
06:00 - 07:00					
07:00 - 08:00					
08:00 - 09:00					
09:00 - 10:00					
10:00 - 11:00					
11:00 - 11:25					
11:25 - 12:25	Intervalo				
12:40 - 13:00					
13:00 - 14:00					
14:00 - 15:00					
15:00 - 15:48					
15:48 - 16:00					
16:00 - 17:00					
17:00 - 18:00					
18:00 - 19:00					
19:00 - 20:00					
20:00 - 20:20					
20:20 - 21:20	Intervalo				
21:35 - 22:00					
22:00 - 23:00					
23:00 - 24:00					
24:00 - 01:00					
01:00 - 01:12					
01:12 - 02:12					
Total					
Linha 47 - Tanque de Combustível			Takt Time: 170 Segundos/Peça	Responsável:	

APÊNDICE E DIAGRAMAS ESPAGUETE DOS PROCESSOS INICIAIS DA LINHA 47 (CONTINUAÇÃO)

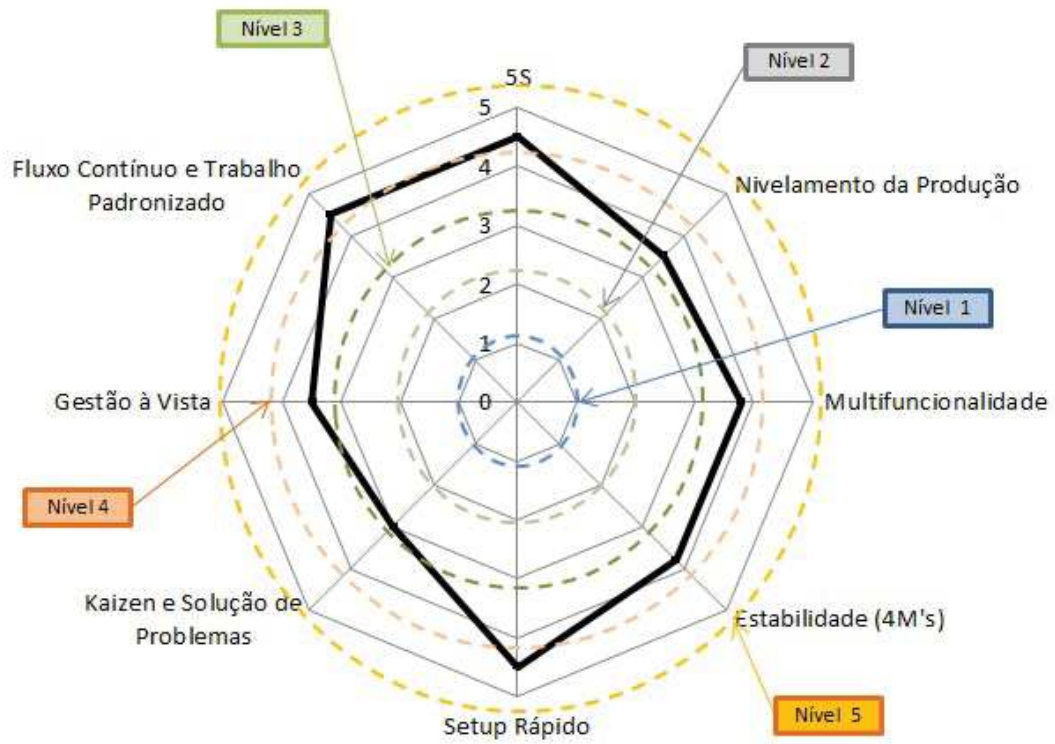
Processo de Calandra e Solda Longitudinal



Processo de Grampeamento e Embutimento das Divisórias

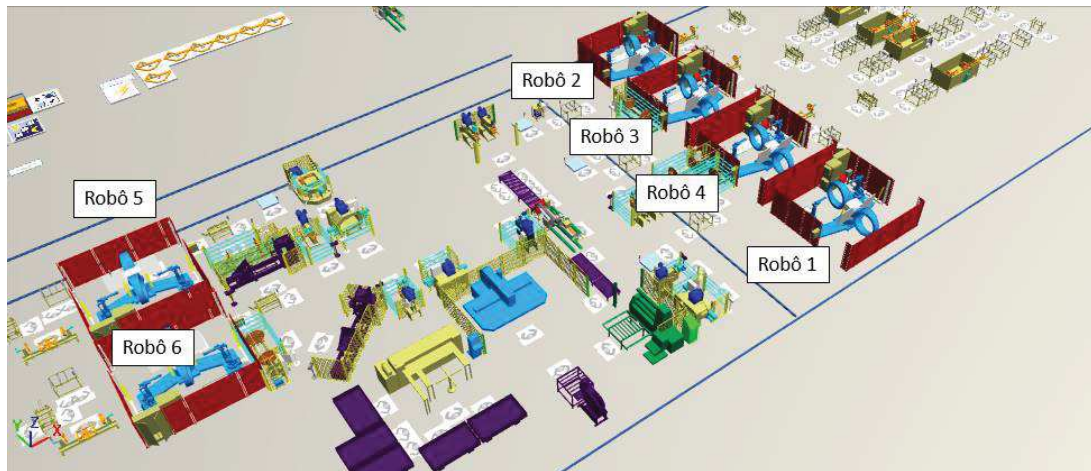


APÊNDICE F SEGUNDA APLICAÇÃO DO ASSESSMENT NA LINHA 47



APÊNDICE G CENÁRIOS SIMULADOS

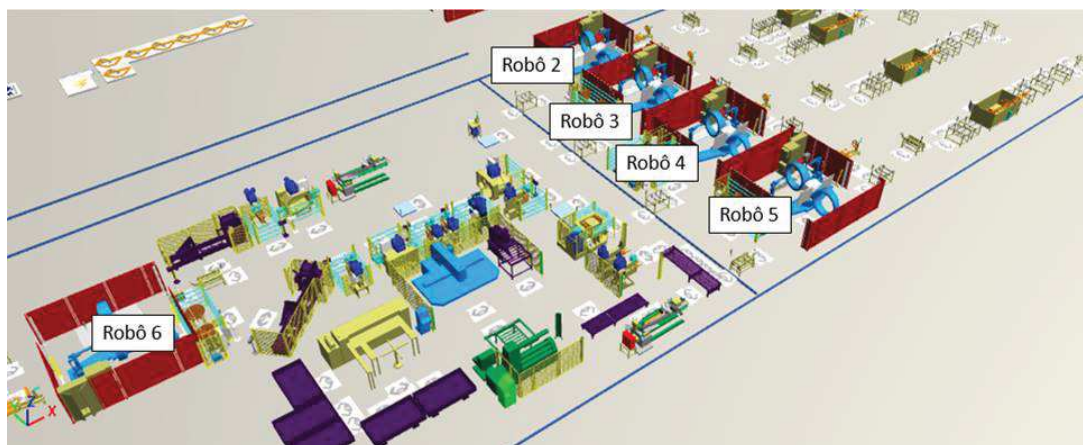
Cenário 0: Estado atual



Cenário 1: Estado atual otimizado



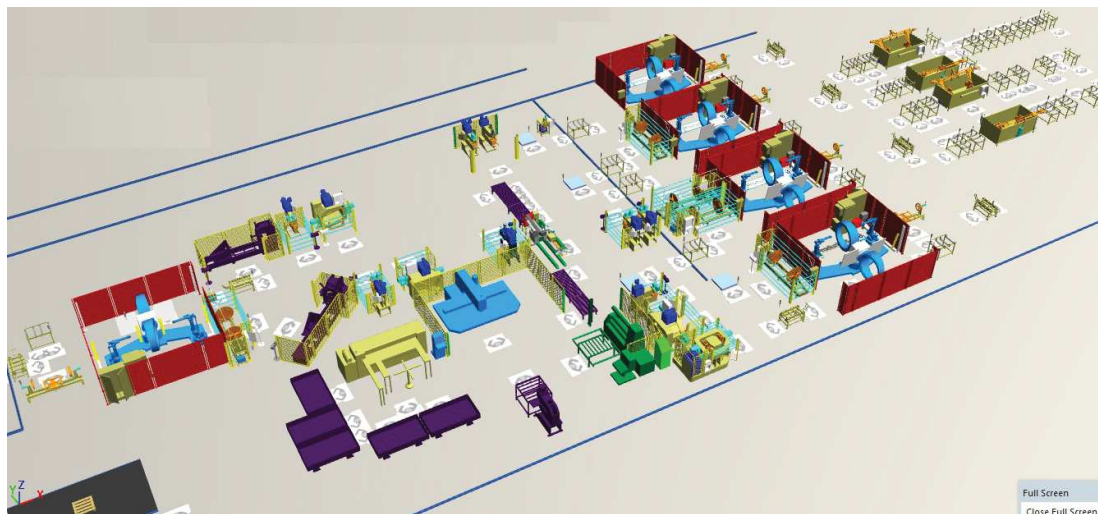
Cenário 2: Alteração de posicionamento dos robôs



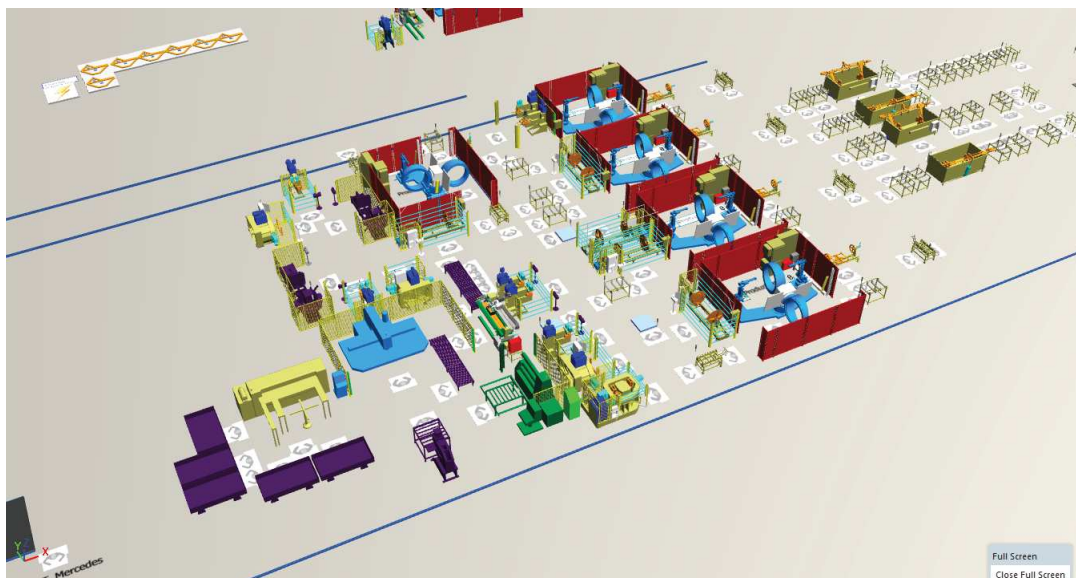
Cenário 3: Alterações sugeridas pelos colaboradores da Linha 47



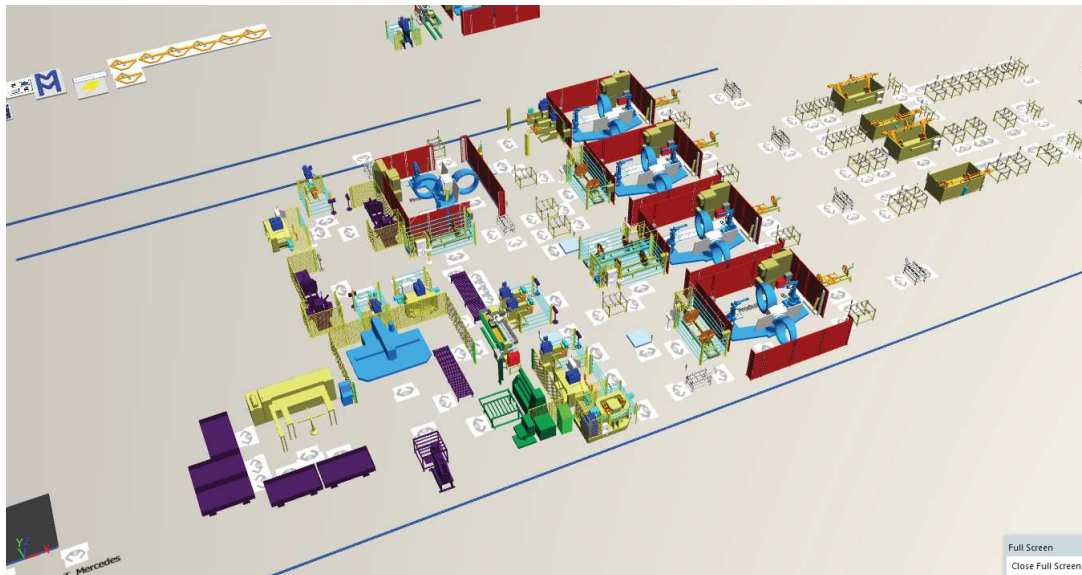
Cenário 4: Junção dos cenários 2 e 3



Cenário 6: Cenário 4 com todos os robôs agrupados



Cenário 7: Cenário 6 com menos operadores



Cenário 8: Cenário 1 com menor tempo de *setup* (estimado)



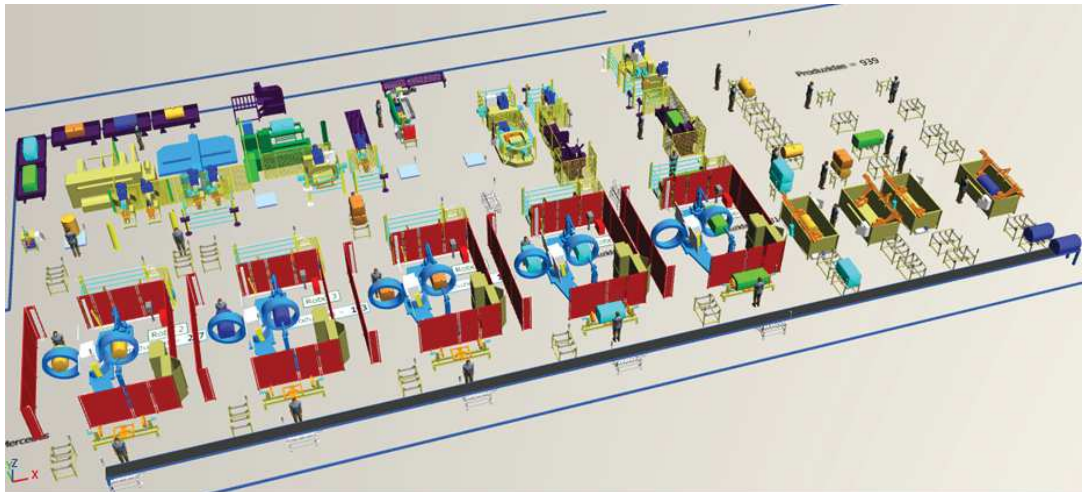
Cenário 9: Cenário com todos os robôs em paralelo



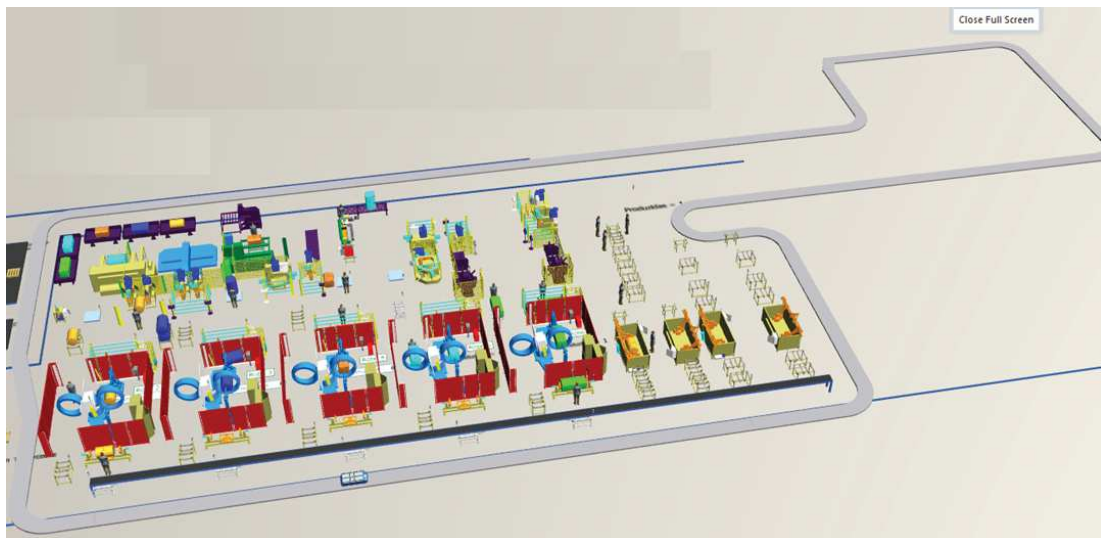
Cenário 10: Cenário 9 mais a redução dos tempos de *setup* do cenário 8



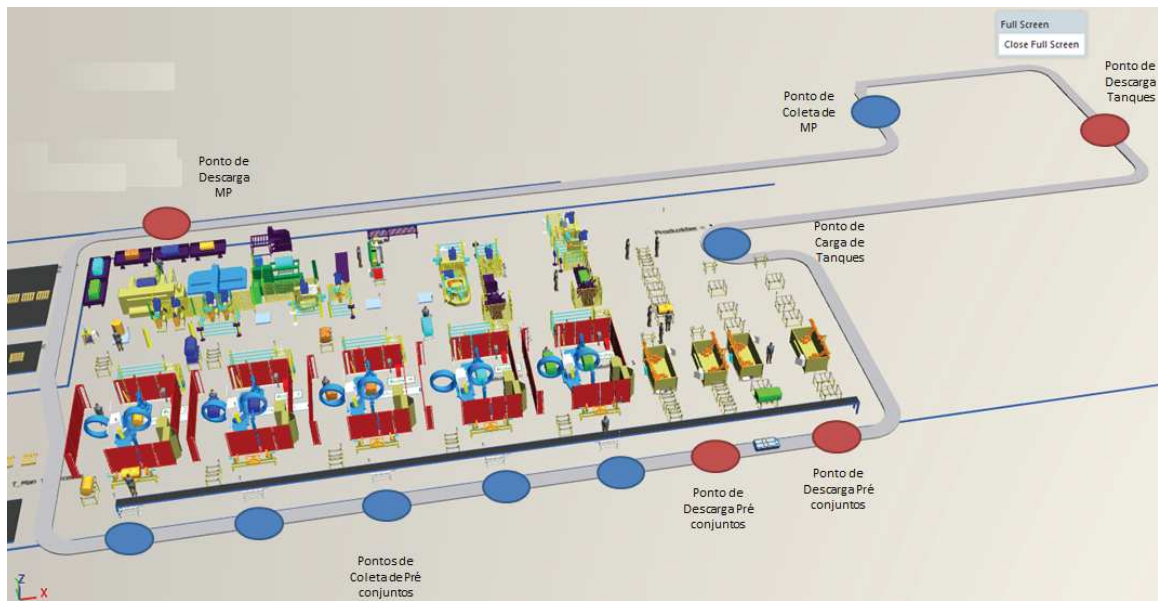
Cenário 11: Cenário 10 com inclusão de robôs colaborativos



Cenário 12: Cenário 10 com inclusão de AGVs para logística dos materiais



Cenário 13: União dos Cenários 10, 11 e 12



APÊNDICE H ANÁLISE DE INVESTIMENTO DO CENÁRIO 7

Análise de Investimento				
Nome do Projeto:	Projeto de Melhoria na Linha 47 - Cenário 7			
Responsável:	Fabricio Schmidt			
Data Realização:	Dezembro/2018			
ROI - Cálculo por Fluxo de Caixa				
	Ano Implementação	Ano 1	Ano 2	Ano 3
Investimento	R\$ 251.000,00			
Retorno	R\$ 80.980,00	R\$ 97.176,00	R\$ 97.176,00	R\$ 48.588,00
Fluxo de Caixa	R\$ 170.020,00	R\$ 98.347,00	R\$ 15.923,05	-R\$ 30.276,49
Taxa de Juros (custo Capital)		15,00%		
ROI = soma do fluxo de caixa / soma dos investimentos				
ROI	➔	14,05%		
* A utilização deste cálculo é quando o meu retorno vem ao longo dos anos.				

ANEXO A 8º CONGRESSO BRASILEIRO DE INOVAÇÃO NA INDÚSTRIA

A Bruning esteve presente no 8º Congresso Brasileiro de Inovação na Indústria, ocorrido nos dias 10 e 11/06/19. No evento, foi apresentado o *Case* realizado em parceria com o Instituto Senai de Inovação de São Leopoldo/RS, sobre a Aplicação de Conceitos de Indústria 4.0 em Projeto *Kaizen*. Fabricio Carlos Schmidt, Gerente da Qualidade e TI, representou a Bruning Tecnometal recebendo a Menção Honrosa pelo Compromisso com a Inovação e Competitividade.



Figura 53: Menção Honrosa pelo Compromisso com a Inovação e Competitividade

Fonte: <https://www.linkedin.com/feed/update/urn:li:activity:6549239277316825088>