

**UNIVERSIDADE DO VALE DO RIO DOS SINOS - UNISINOS  
UNIDADE ACADÊMICA DE PESQUISA E PÓS-GRADUAÇÃO  
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM GESTÃO E NEGÓCIOS  
NÍVEL MESTRADO**

**LEANDRO JASKULSKI**

**Método de Diagnóstico e Implantação Processual dos Elementos da Indústria  
4.0 no Setor Metalmeccânico Brasileiro**

**PORTO ALEGRE  
2018**

Leandro Jaskulski

MÉTODO DE DIAGNÓSTICO E IMPLANTAÇÃO PROCESSUAL DOS ELEMENTOS  
DA INDÚSTRIA 4.0 NO SETOR METALMECÂNICO BRASILEIRO

Dissertação ou Tese apresentada como  
requisito parcial para obtenção do título de  
Mestre em Administração, pelo Programa  
de Pós-Graduação em Gestão e Negócios  
da Universidade do Vale do Rio dos Sinos  
- UNISINOS

Orientador(a): Prof. Dr. José Antônio Valle Antunes Júnior

Porto Alegre

2018

J39m Jaskulski, Leandro  
Método de diagnóstico e implantação processual dos  
elementos da indústria 4.0 no setor metalmeccânico brasileiro  
/ por Leandro Jaskulski. – 2018.  
154 f. : il., 30 cm.

Dissertação (mestrado) — Universidade do Vale do Rio  
dos Sinos, Programa de Pós-Graduação em Gestão e  
Negócios, 2018.

Orientação: Prof. Dr. José Antônio Valle Antunes Júnior.

1. Indústria 4.0. 2. Quarta Revolução Industrial. 3. Indústria  
brasileira. I. Título.

CDU 338.45(81)

Catálogo na Fonte:

Bibliotecária Vanessa Borges Nunes - CRB 10/1556

Leandro Jaskulski

MÉTODO DE DIAGNÓSTICO E IMPLANTAÇÃO PROCESSUAL DOS ELEMENTOS  
DA INDÚSTRIA 4.0 NO SETOR METALMECÂNICO BRASILEIRO

Dissertação ou Tese apresentada como  
requisito parcial para a obtenção do título  
de Mestre, pelo Programa de Pós-  
Graduação em Gestão e Negócios da  
Universidade do Vale do Rio dos Sinos -  
UNISINOS

Aprovado em (dia) (mês) (ano)

BANCA EXAMINADORA

---

Prof. Dr. Guilherme Tortorella – Universidade Federal de Santa Catarina

---

Prof. Dr. Luis Felipe Maldaner – Universidade do Vale do Rio dos Sinos

---

Prof. Dr. Oscar Kronmeyer – Universidade do Vale do Rio dos Sinos

Dedico este trabalho a minha esposa Laura Suzana Sacchet Jaskulski e a  
minha filha Bibiana Sacchet Jaskulski, estrelas guias de minha vida.

## AGRADECIMENTOS

Quero registrar um especial agradecimento ao meu orientador, professor Dr. José Antônio Valle Antunes Júnior, também conhecido como professor 'Junico', pelo seu apoio e encorajamento motivacional, atuando como um incansável desafiador do desenvolvimento intelectual científico e prático, no ambiente universitário e empresarial brasileiro. Sem sua orientação, este trabalho não teria sido realizado.

Outro agradecimento necessário é aos profissionais participantes do grupo NEMA – Núcleo de Estudos de Manufatura Avançada da Unisinos, que constituíram o seletivo grupo de *experts*, oportunizando o ajuste do artefato para responder a questão de pesquisa, via técnica de grupo focal e valiosas conversas e trocas de informações relevantes sobre o tema, citados aqui em ordem alfabética: MSc. Alexandre Balestrim Corrêa, Dr. Alexandre Baroni, MSc. Alexandre Garcia, MBA Alexandre Gewehr, Dr. Aziz Eduardo Calzolaio, MSc. Cristina Orsolin Klingenberg, Eng. Flávio Pizzato, MBA. Ingomar R. Goltz, Dr. Ivan De Pellegrin e MSc. Marco Siqueira Campos.

Também é importante agradecer a Empresa Metalmecânica (em sigilo por questões de acordo de confidencialidade) seu diretor e profissionais envolvidos na aplicação do modelo proposto na prática, que oportunizaram a avaliação e consequente revisão e conclusão final desta dissertação.

Por último, quero registrar meu agradecimento aos professores constituintes da banca de avaliação final deste trabalho, que contribuíram de forma positiva e agregadora, ressaltando importantes pontos de ajuste, elevando o nível desta dissertação e do debate do tema em discussão – Professor Dr. Guilherme Tortorella, Professor Dr. Luis Felipe Maldaner e Professor Dr. Oscar Kronmeyer.

Muito obrigado a todos!

## RESUMO

Esta dissertação trata da aplicação dos elementos da Indústria 4.0, na realidade do setor industrial metalmeccânico brasileiro de 2018. O conceito da Indústria 4.0 foi elaborado objetivando a melhoria de produtividade e da qualidade através da aplicação de recursos digitais, economicamente viáveis nos sistemas empresariais. O Brasil, que neste momento passa por um processo de desindustrialização, pode abordar esta nova realidade de duas formas: abrir mão desta nova tendência, de maneira passiva, devido a sua condição econômica e estrutural; ou, por outro lado, ativamente adaptar os recursos viáveis de maneira a coletar o melhor retorno sobre investimento da digitalização na indústria.

A metodologia utilizada para realização do trabalho foi a *Design Science Reseach*. Na busca do equacionamento do problema de pesquisa, criou-se um método para realizar um diagnóstico da situação atual da empresa estudada, e formatar um plano de implementação dos elementos da Indústria 4.0 viáveis, que priorize os melhores retornos sobre investimento na condição situacional, levando-se em conta o atual ambiente interno e externo da fábrica estudada.

Para construção da proposta inicial do método, versão M0, foi feito um amplo levantamento bibliográfico. Uma vez sugerido, o M0 foi ajustado utilizando-se de especialistas em um grupo focal, gerando o método a ser aplicado em uma empresa pertencente à indústria metalmeccânica brasileira.

Ao final da aplicação M0, foi elaborado um plano de implementação processual dos elementos da Indústria 4.0 adaptado a realidade da empresa em questão. Realizou-se então uma avaliação crítica desta aplicação, para medir a validade do Modelo e seus pontos de melhoria, visando enriquecer e gerar uma versão final intitulada de M1.

**Palavras-chave:** Indústria 4.0; Quarta Revolução Industrial; Indústria Brasileira.

## **ABSTRACT**

This master thesis presents the application of Industry 4.0 elements into 2018 reality of Brazilian metalworking industry. Industry 4.0 concept was created targeting productivity and quality improvements, through digital resources, economically feasible in corporate systems. Brazil, that is under a deindustrialization process, can face this new reality in two ways: given up of new tendency, being passive due to its economic and structural condition; or, by the other hand, adapting in an active way its feasible resources, to collect the digital best return on investments in the industry.

The methodology applied was the Design Science Research. To answer the research problem, a diagnosis and implementation plan method were arranged, to apply viable Industry 4.0 elements, prioritizing the best return of investments of factual internal and external ambient of situated factory.

To build up the M0 version method, it was made a wide bibliographic study. Once suggested, M0 was adjusted by specialists into a focal group generating the method to be applied into a Brazilian metalworking industry company.

By the end of M0 application, a processual action plan was raised, shaped to the studied company atmosphere. Then, an evaluation analysis of this application was made, to validate the model and its improvement points, to generate a final version termed M1.

**Key-words:** Industry 4.0; Fourth Industrial Revolution; Brazilian Industry.

## LISTA DE FIGURAS

Figura 1: Evolução humana.....	13
Figura 2: As Quatro Revoluções Industriais .....	16
Figura 3: Foco de Implementação da Indústria 4.0 .....	25
Figura 4: Modelo Y do Sistema Integrado de Informações .....	30
Figura 5: Modelo Y de Sheer para Indústria 4.0.....	36
Figura 6: Níveis de Capacidades dos Produtos Inteligentes .....	38
Figura 7: Estratégia de Implementação da Indústria 4.0 segundo Scheer .....	40
Figura 8: Compasso Digital - Ajuda Empresas a Focar suas Necessidades.....	43
Figura 9: Avaliação preliminar em relação a Indústria 4.0.....	48
Figura 10: Níveis de implementação da Indústria 4.0 .....	49
Figura 11: Relação entre o Sistema de Manufatura e o Sistema de Produção.....	55
Figura 12 - Estrutura da Produção .....	56
Figura 13: Saídas da Design Science Research.....	75
Figura 14: Método de trabalho .....	77
Figura 15: Esquema de Implantação dos elementos da Indústria 4.0 ambientalizada .....	85
Figura 16: Fases de Implementação da Proposta de Artefato .....	86
Figura 17: Passos de cada Fase de Implementação da Indústria 4.0.....	87
Figura 18: VSM4.0 .....	99
Figura 19: Mapeamento dos Dados do VSM4.0 com Níveis de Inteligência de processamento, Agregados pelo Autor .....	102
Figura 20 – VSM Geral da Célula Piloto.....	118
Figura 21: VSM da Célula Piloto estado Atual.....	119
Figura 22: Levantamento de Dados do VSM estado Atual.....	121
Figura 23: Mapeamento do Dados do VSM4.0 Visando o Desenho do Estado Futuro .....	123
Figura 24: VSM da Célula Piloto Estado Futuro .....	125
Figura 25: Esquema de Implantação dos Elementos da Indústria 4.0 conforme Artefato M1 .....	131

## LISTA DE QUADROS

Quadro 1 – Linha Histórica da Indústria: Tecnologia Física X Tecnologia Social.....	52
Quadro 2: Descrição dos Artefatos de um Estudo de <i>Design Science Research</i> .....	74
Quadro 3: Proposta M0 apresentada no Grupo Focal.....	91
Quadro 4: Questionário Semiestruturado .....	92
Quadro 5: Resumo de fases implementação dos métodos adotados pela PWC, Bosch e Acatech .....	94
Quadro 6: Exemplo fictício da ferramenta de Análise da maturidade X elementos da Indústria 4.0 X objetivos estratégicos.....	95
Quadro 7: Exemplo fictício da ferramenta de Análise da Estratégia da Indústria 4.0	96
Quadro 8: Estratégia da Empresa .....	108
Quadro 9: Indicadores Operacionais Alinhados com a Estratégia .....	109
Quadro 10: Elementos Habilitadores da Indústria 4.0 e os Indicadores dos Objetivos Estratégicos da empresa.....	110
Quadro 11: Correlação entre Indicadores X Habilitadores da Indústria 4.0 .....	111
Quadro 12: Nível de Maturidade da Empresa Y nas Tecnologias da Indústria 4.0 .	112
Quadro 13: Nível de Atendimento dos Objetivos Estratégicos da Empresa Y .....	113
Quadro 14: Nível de Investimento relativo para implementação das Tecnologias da Indústria 4.0.....	114
Quadro 15: Priorização de Ações da Estratégia da Indústria 4.0 da Empresa Y ....	115
Quadro 16: Síntese das diferentes contribuições para a consolidação do Método M1 .....	136
Quadro 17: Termos de busca e resultados .....	147
Quadro 18: Referências após Critério de Inclusão e método Bola de Neve .....	150

## LISTA DE SIGLAS

ABDI	Agência Brasileira de Desenvolvimento Industrial
BDA	<i>Big Data Analytics</i>
BOO	<i>Build Own Operate</i>
CA	<i>Computer Aided</i>
CAD	<i>Computer Aided Design</i>
CAE	<i>Computer Aided Engineering</i>
CIM	<i>Computer Integrated Manufacturing</i>
CLP	Controlador Lógico Programável
CNI	Confederação Nacional da Indústria
CPS	<i>Cyber Physical Systems</i>
DS	<i>Design Science</i>
DSR	<i>Design Science Research</i>
ERP	<i>Enterprise Resource Planning</i>
ERP	<i>Enterprise Resource Planning</i>
FCS	Fatores Chave de Sucesso
FIFO	<i>First In – First Out</i>
FIRJAN	Federação das Indústrias do Estado do Rio de Janeiro
FMT	Força Minimizada de Trabalho
GGF	Gastos Gerais de Fábrica
IoT	<i>Internet of Things</i> – Internet das Coisas
IPV4	<i>Internet Protocol Version 4</i>
IPV6	<i>Internet Protocol Version 6</i>
IROG	Índice de Rendimento Operacional Global
JIT	<i>Just-in-Time</i>
JV	<i>Joint-Venture</i>
MES	<i>Manufacturing Execution System</i>
MFP	Mecanismo da Função-Processo
MRP	<i>Material Resource Planning</i>
OEE	<i>Overall Efficiency Equipment</i>
PA	Plano de Ação
PDCA	<i>Plan Do Check Action</i>

PE	Planejamento Estratégico
PIB	Produto Interno Bruto
PPCPM	Planejamento Programação e Controle da Produção e Materiais
PPM	<i>Parts per Million</i>
RFID	<i>Radio-Frequency Identification</i>
SMLC	<i>Smart Manufacturing Leadership Coalition</i>
STP	Sistema Toyota de Produção
TI	Tecnologia da Informação
TPM	<i>Total Productive Maintenance</i>
TRF	Troca Rápida de Ferramentas
UNIDO	<i>United Nations Industrial Development Organization</i>
VDMA	Associação Alemã Fabricação Máquinas e Instalações Industriais
VSM	<i>Value Stream Mapping</i>

## SUMÁRIO

<b>1 INTRODUÇÃO</b> .....	<b>13</b>
1.1 Considerações Iniciais.....	13
1.2 Importância/Relevância do Tema.....	18
1.3 Problematização .....	21
1.4 Tema .....	26
1.5 Objetivos .....	26
1.5.1 Objetivo Geral .....	26
1.5.2 Objetivos Específicos .....	26
1.6 Delimitações da Pesquisa .....	27
1.7 Estrutura do Trabalho .....	28
<b>2 FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA</b> .....	<b>29</b>
2.1 Tecnologias Habilitadoras.....	31
2.2 Conceitos e propostas de Indústria 4.0.....	36
2.3 Gestão da Produção Clássica e a Indústria 4.0 .....	50
2.3.1 Os Princípios Gerais nos Sistemas de Produção .....	53
2.4 A Modularização e a Indústria 4.0.....	68
<b>3 METODOLOGIA</b> .....	<b>71</b>
3.1 Pesquisa Científica .....	71
3.2 Método de Pesquisa – <i>Design Science Research</i> .....	73
3.3 Método de Trabalho .....	76
3.3.1 Conhecimento do Problema .....	77
3.3.2 Sugestão .....	78
3.3.3 Desenvolvimento .....	79
3.3.3.1. Revisão da Literatura .....	79
3.3.3.2 Conceitualização da Coleta de Dados – Grupo Focal.....	81
3.3.4 Avaliação.....	84
3.3.5 Conclusão .....	84
<b>4 CONSTRUÇÃO DO MÉTODO M0</b> .....	<b>85</b>
4.1. Proposta de Artefato M0 para validação do Painel de Experts .....	85
4.2 Validação de M0 por um painel de <i>experts</i> .....	89
4.2.1 Execução da Avaliação pelo Grupo Focal.....	90
4.2.2 Ajuste do M0 – propostas do Grupo Focal .....	93

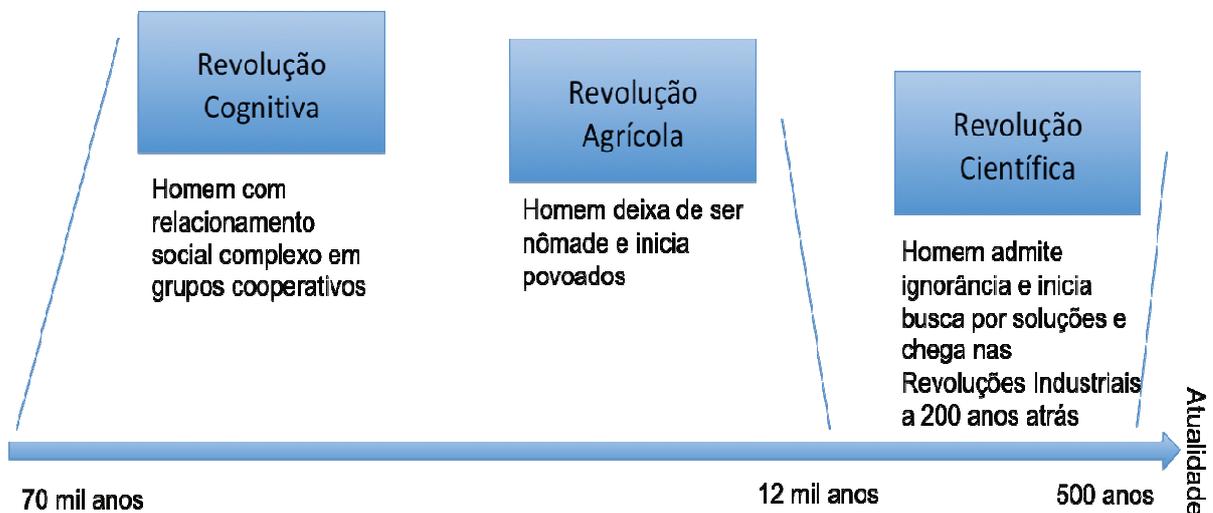
<b>5 AVALIAÇÃO: APLICAÇÃO DO MÉTODO M0 EM UMA EMPRESA DO RAMO METALMECÂNICO</b> .....	105
<b>5.1 Apresentação da empresa</b> .....	105
<b>5.2 A Empresa Y e a Indústria 4.0: Breve Histórico</b> .....	106
<b>5.3 Aplicação do método</b> .....	107
5.3.1 Fase 1 – Mapear a Estratégia da Indústria 4.0.....	107
5.3.2 Fase 2 – Criar Projeto Piloto da Indústria 4.0.....	117
<b>5.4 Avaliação dos resultados da aplicação do método versão M0</b> .....	128
<b>5.5 Construção do Método Versão M1</b> .....	131
<b>5.6 Avaliação dos resultados segundo o Método de Pesquisa <i>Design Science Research</i></b> .....	134
<b>6 CONCLUSÕES, LIMITAÇÕES E RECOMENDAÇÕES PARA TRABALHOS FUTUROS</b> .....	135
<b>6.1 Conclusões da dissertação</b> .....	135
<b>6.2 Limitações do Trabalho</b> .....	138
<b>6.3 Recomendações para Futuras Pesquisas</b> .....	139
<b>REFERÊNCIAS</b> .....	140
<b>APÊNDICE A – TERMOS DE BUSCA E RESULTADOS</b> .....	147
<b>APÊNDICE B – REFERÊNCIAS APÓS CRITÉRIO DE INCLUSÃO E MÉTODO BOLA DE NEVE</b> .....	150
<b>APÊNDICE C – LISTA DE PROFISSIONAIS DO GRUPO NEMA - PARTICIPANTES DO PAINEL DE EXPERTS VIA GRUPO FOCAL</b> .....	152

# 1 INTRODUÇÃO

## 1.1 Considerações Iniciais

Os termos Quarta Revolução Industrial e Indústria 4.0 são utilizados recentemente na denominação de uma nova tendência tecnológica, caracterizada 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.

Conforme Harari (2017), o homem evoluiu ao longo do tempo graças a três principais revoluções evolutivas, que o diferenciaram dos outros animais, a saber: i) a Revolução Cognitiva; ii) a Revolução Agrícola; iii) a Revolução Científica - Figura 1:



Fonte: Elaborado pelo Autor a partir de Harari (2017)

Figura 1: Evolução humana

A Revolução Cognitiva – a primeira revolução que possibilitou a diferenciação entre o homem e os outros animais. - ocorreu à 70 mil anos, com o surgimento da linguagem e, sobretudo, a capacidade humana de se relacionar socialmente,

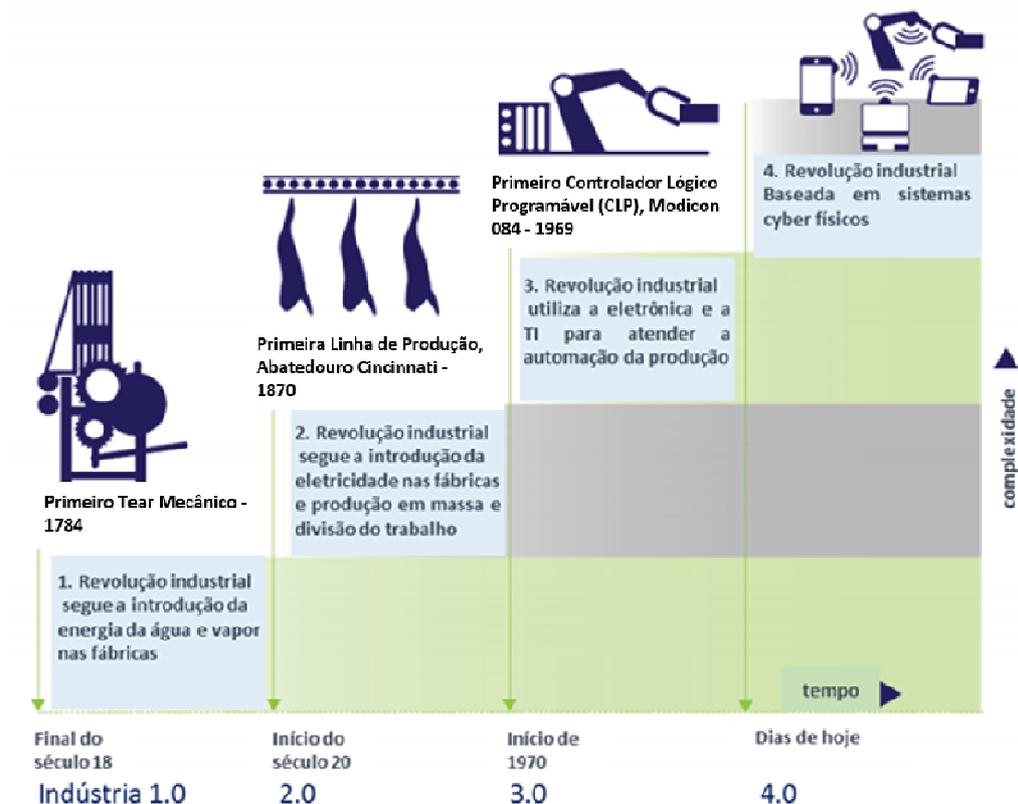
exercitando, não somente a troca de informações, bem como a complexa comunicação sobre impressões, medos, confiança, riscos, intensidade. Graças a esta qualidade o homem podia saber quem era digno de confiança no grupo e desenvolver tipos de cooperação sofisticados que alavancaram sua supremacia perante os outros animais. Outra significativa característica cognitiva foi a crença no imaginário, em coisas que não existiam de fato como deuses e cultos. A esta época, o Homo Sapiens se espalha no mundo a partir da África como grupos cooperativos nômades, coletores e caçadores. Neste tempo, o foco do homem era o tempo presente, buscando recursos para sobrevivência dia após dia, sem pensar no futuro.

A Revolução Agrícola – ocorreu à 12 mil anos. Iniciou com o assentamento do homem através da domesticação de plantas e animais. Ao longo do tempo o homem foi aprendendo que o trigo nascia onde restos de sementes eram esquecidas e que bodes podiam ser criados e domesticados. Houve então o assentamento dos grupos e famílias ao lado de plantações e criações. Casas permanentes foram erguidas e a necessidade de produção e aquisição de maior número de utensílios e ferramentas foi sendo requerida e desenvolvida. O homem passa a pensar no futuro, vendo como abastecer os celeiros durante a colheita para sobreviver no período de inverno. Com isso, inevitavelmente passa a trabalhar e pensar mais em soluções para os problemas enfrentados. Especialidades foram desenvolvidas na medida em que um plantador de trigo necessitava de outros produtos e os obtinha pela troca. Nasce o comércio de troca, que posteriormente evolui com a criação do dinheiro. A população cresce muito e começam os pequenos povoados e cooperações sociais mais complexas. Surgem os primeiros reinos e a escrita e três fatores de aceleração das relações humanas no mundo conhecido: i) o Dinheiro – possibilitava e instigava a intercâmbio comercial entre povos de diferentes regiões e sobretudo o valor da confiança atribuído à moeda; ii) o Império – conquistava povos subjugados e imprimia nova cultura e civilização; iii) a Religião – motivo divino de regras, leis, reinados, cultura e ordens que organizavam grandes sociedades e povoados;

A Revolução Científica – ocorrida a 500 anos atrás foi iniciada através de uma quebra de paradigma do pensamento humano, que começou a admitir sua ignorância e a partir daí, a formular questionamentos e buscar respostas. Até então, o homem pensava que sabia o que deveria saber e o resto era de ordem e competência divina.

Antes disso, na Grécia antiga, de maneira pontual, a humanidade começa a exercitar o pensamento científico por meio da filosofia, mas só a 500 anos atrás, o homem rompeu na Europa esta barreira de maneira a impactar o mundo, e começou a revolução científica que conquistou os oceanos, as Américas e o planeta inteiro se torna um palco histórico unificado. A partir desta revolução científica, vieram as subsequentes Revoluções Industriais, alimentadas pelo pensamento que admite a ignorância e parte em busca de melhores tecnologias, para o aumento de produtividade e subsistência humana através de conseqüente barateamento e oferta de produtos mais acessíveis.

A industrialização teve um impulso essencial no final do século 18 com a introdução do equipamento mecânico de manufatura, revolucionando a forma de produção com a introdução da energia da água e do vapor nas fábricas. Os teares mecânicos foram os precursores desta primeira revolução industrial a partir de 1784. A segunda revolução ocorreu tendo a eletricidade como fonte principal de energia no início do século 20, envolvendo a produção em massa com base na Divisão do Trabalho, tendo como a primeira linha de produção, um abatedouro de Cincinnati, EUA em 1870. No início dos anos 1970 surgiu a terceira revolução industrial, com emprego da eletrônica e da Tecnologia da Informação (TI) na automação da produção. O primeiro Controlador Lógico Programável (CLP) - Modicon 084 - surgiu em 1969. As máquinas então começaram a substituir os trabalhos de lógica e inteligência além dos trabalhos físicos e braçais. Atualmente a internet das coisas e dos serviços está manifestando possibilidades industriais que se revelam como a Quarta Revolução Industrial, também conhecida como Indústria 4.0. As Fábricas Inteligentes (*Smart Factories*) empregam uma nova proposta de produção conectando máquinas, armazéns, e o negócio como um todo interligado, formando Sistemas *Cyber Físicos* (*Cyber Physical Systems* - CPS). Com isso, a Indústria 4.0 tende a possibilitar o atendimento dos requisitos de cliente individual de forma rentável, otimizando as decisões de última hora e aumentando a flexibilidade de resposta. Isto resulta em uma nova forma de criar valor e em um novo modelo de negócio. A Figura 2 representa graficamente as quatro revoluções industriais, que aconteceram ao longo do tempo de forma incremental e evolucionária, agregando proporcionalmente um aumento no nível de complexidade (KAGERMANN et al, 2013).



Fonte: Adaptado de *Recommendations for implementing the strategic initiative INDUSTRIE 4.0, Final report of the industry 4.0 Working Group*, Abril 2013 – DFKI (2011)

Figura 2: As Quatro Revoluções Industriais

Os termos Indústria 4.0 ou Quarta Revolução Industrial foram cunhados na Alemanha em 2011. Na época o Ministério de Educação e Pesquisa da Alemanha formou um grupo de pesquisa e aliança, liderado pelos Prof. Dr. Henning Kagermann, Prof. Dr. Wolfgang Wahlster e Prof. Dr. Wolf-Dieter Lukase, com mais representantes das empresas, comunidade e pesquisa, entre eles o Prof. Dr. August-Wilhelm Scheer, com objetivo de desenvolver as diretrizes para estratégia de alta tecnologia do governo federal alemão. Dentro de um ambiente de envelhecimento populacional, redução da população economicamente ativa, aumento dos custos de pessoal e busca por soluções econômica, social e ambientalmente sustentáveis a Alemanha começava a pensar sua atuação com base no diferencial tecnológico. Estavam preocupados em traçar uma estratégia

competitiva para os próximos anos e focar os pontos de suporte necessários de serem construídos pelo governo, indústria e universidades (SCHEER, 2015).

Em 2016, a quarta revolução industrial foi escolhida como tema para o fórum econômico mundial, liderado pelo seu presidente Klaus Schwab, com o intuito de nivelar e discutir os impactos desta na economia global.

Schwab (2016) relatou a preocupação quanto ao direcionamento que a humanidade dará à esta revolução. Como toda revolução esta tende a trazer benefícios e perdas. E neste sentido, cabem aos gestores, sejam eles técnicos, políticos e sociais, o devido direcionamento desta ruptura de conceitos e métodos para que se maximizem os benefícios e se minimizem os impactos negativos, fazendo com que a revolução seja bem usufruída de forma eficaz por toda humanidade.

Conforme Schwab (2016), a segunda revolução industrial ainda precisa ser vivida por 17% da população mundial, que não possui acesso à eletricidade. Mais da metade da população mundial, 4 bilhões de pessoas, vivem em países em desenvolvimento sem acesso à internet, considerada o gatilho da quarta revolução industrial. Por outro lado, o mundo está mais rápido, pelo advento da tecnologia das comunicações. O tear mecanizado, sendo uma das marcas da primeira revolução industrial, levou 120 anos para se espalhar fora da Europa. Em contraste, a internet se espalhou pelo mundo em menos de uma década.

De acordo com Harari (2017) um dos grandes responsáveis pelo crescimento econômico no Período de Revolução Científica foi a melhor e maior utilização do crédito na economia moderna. Isto se deu devido ao aumento de confiança no futuro e no progresso, o que acaba por financiar mais pesquisas científicas, que trazem mais progresso e retorno financeiro, que aumentam a confiança e este ciclo segue dinamicamente. Esta abordagem embasa o pequeno lastro necessário às instituições financeiras atuais. Estas podem financiar até 10 vezes mais do que possuem em papel moeda físico, mirando o valor futuro a ser gerado. Acontece que desde a crise mundial de 2008, os bancos têm lançado mais e mais crédito barato no sistema, imprimindo dinheiro e apostando literalmente todas as moedas na recuperação do crescimento econômico. A aposta é que os engenheiros, técnicos e cientistas consigam elaborar soluções grandiosas de desenvolvimento e progresso com a criação de indústrias novas e disruptivas através das novas descobertas em áreas tecnológicas. Se isto não vier a acontecer, o crédito barato e sem lastro

realizado poderá acarretar na formação de uma bolha, com risco de explosão e a vinda de tempos economicamente muito difíceis.

Isto explica a atitude necessária para alavancar os resultados benéficos perante aos acontecimentos. As três revoluções anteriores foram diagnosticadas após terem se consolidado, com mais tempo para instituições, governos, empresas e sociedade se adaptarem. E ainda assim, apesar de trazerem ganhos de produtividade e barateamentos de produtos e serviços, tiveram seus impactos negativos em termos de cortes e extinções de empregos ao mesmo tempo que se criaram novas exigências e qualificações necessárias para os novos empregados. O tema da Indústria 4.0, portanto, necessita ser tratado nas dimensões econômica, social e ambiental (SCHWAB, 2016).

## 1.2 Importância/Relevância do Tema

Em abril de 2016, foi lançado um estudo pela Federação das Indústrias do Estado do Rio de Janeiro, Sistema FIRJAN, fazendo uma análise de tendências globais da Indústria 4.0 e sua importância na estratégia industrial de diversos países, terminando em uma avaliação da indústria Brasileira, chamado de Panorama da Inovação – Indústria 4.0: Internet das Coisas. Os principais pontos a considerar são:

- Na Alemanha, país precursor no assunto, em 2011 foi iniciado estudo de recomendações e estratégias digitais para o futuro, realizado por um comitê de especialistas, para aumento da produtividade com base em alta tecnologia. O foco é na interligação entre ferramentas, máquinas, produtos e logística aumentando a flexibilidade e produtividade na produção e entrega do produto final.
- Os Estados Unidos da América, estão trabalhando na Indústria 4.0 em linha com o ganho de produtividade pela aplicação das tecnologias digitais na fábrica. A coligação de líderes da manufatura inteligente (*Smart Manufacturing Leadership Coalition – SMLC*), é um grupo de profissionais, pesquisadores de Universidades e Centros Tecnológicos e Agentes do Governo que estão trabalhando de maneira colaborativa para a aplicação da quarta revolução industrial. Adicionalmente existem outras iniciativas privadas como IBM e GE. A GE por exemplo,

redefiniu sua estratégia corporativa mirando a indústria digital, investindo recursos significativos em um Centro de Desenvolvimento de uma plataforma aberta de aplicações de integração industrial chamada PREDIX (LOHR, 2016).

- No Japão, outro exemplo de país de primeiro mundo, existe um consórcio de empresas que estão trabalhando em padrões de comunicação para conectar as fábricas e somar esforços para internacionalizar este padrão. De forma similar a outros países industrializados, existe uma política agressiva de ciência, política e inovação com foco na geração de empregos em alta tecnologia.
- No Reino Unido, seguindo a tendência Alemã, o governo lançou um estudo em 2014 identificando as oportunidades de internet das coisas com recomendações propostas para potencializar o valor econômico da ferramenta, além de alto investimento em pesquisa industrial. Além disso existem iniciativas privadas, a moda dos Estados Unidos, com grandes empresas investindo em inovação na área da internet das coisas como Virgin Media e BBC.
- Na Coreia do Sul, com alto desenvolvimento industrial tecnológico e capacidade produtiva, a Indústria 4.0 é encarada como fonte de produtividade e geração de emprego com alto valor agregado. Como estratégia a Coreia trabalha com altos investimentos no Ministério da Ciência e Tecnologia da Informação e Comunicação do Planejamento Futuro, deixando claro sua abordagem proativa na competitividade mundial.
- Na China, o governo vem focando sua política econômica na internet das coisas como ponto de alavancagem de sua estratégia industrial. O plano tem foco em investimento em controle e automação industrial com base nas tecnologias digitais, com altos investimentos envolvidos.
- A Índia, assim como o Brasil e a China, possui um alto potencial de mercado como atratividade para novas empresas se estabelecerem. O governo instituiu o programa Digital Índia, com recomendações e Planos de Ação para incentivar o desenvolvimento industrial no país. O

programa cobre desde infraestrutura necessária até treinamentos em TI entre outros.

- No Brasil, que passa por uma crise política e econômica desde 2015, impactando diretamente o cenário industrial, conta com algumas leis de incentivos fiscais à expansão de infraestrutura, pesquisa e desenvolvimento, bem como outras regulamentações concernentes a competitividade empresarial. Porém, ao contrário dos países citados anteriormente, somente agora no final de 2017, o governo brasileiro esboçou o início de uma política direcionada a internet das coisas ou indústria 4.0, a partir de um estudo publicado pela Agência Brasileira de Desenvolvimento Industrial (ABDI) – Inovação, Manufatura Avançada e o Futuro da Indústria - Uma Contribuição Ao Debate Sobre As Políticas De Desenvolvimento Produtivo, 2017. Adicionado a isso, a fabricação de *hardware* caiu em decorrência da importação da China, desde 2006 ao mesmo tempo que o setor de *software* cresceu, mas focado em micro e pequenas empresas atuando em nichos diversos. Em termos de infraestrutura de conexão, o acesso em todo território ainda é um desafio atendendo somente 1/3 da população atual. E existem outros desafios como a preparação do pessoal com cursos e treinamentos de formação e a transição de protocolo IPv4 para o IPv6<sup>1</sup> antes da chegada em massa dos produtos conectados.

O tema da Indústria 4.0 apresenta iniciativas em todo o mundo, como alternativa moderna na busca da melhoria da produtividade. Apresenta elementos facilitadores como a utilização de tecnologias e infraestrutura, foco dos incentivos dos países industrializados na vanguarda da estratégia competitiva. Por outro lado, os diferentes preços dos distintos fatores apresentados, sobretudo por países com menor índice de industrialização, são elementos dificultadores do processo de transformação da Indústria 4.0, e serão abordados no próximo item desta dissertação que consiste no tópico da problematização da pesquisa.

---

<sup>1</sup> *Internet Protocol Version 6 (IPv6)* lançado em 2012 com 128 bits, substituindo o *Internet Protocol Version 4 (IPv4)* com 32 bits, aumentou o número de endereços disponíveis na internet de 4,3 bilhões para 340 sextilhões (KAGERMANN et al, 2013).

### 1.3 Problematização

A Indústria 4.0 já está transformando o mundo, com ações estratégicas percebidas nos países industrializados, focados na inovação, na busca contínua da produtividade e da competitividade. No Brasil esta transformação ainda é embrionária nas vertentes social, tecnológica e de infraestrutura. Os fatores que guiarão este tema no Brasil são a evolução tecnológica em todos os setores e a integração da produção com novos sistemas de negócio. E o ponto focal, de acordo com FIRJAN (2016, p. 33) consiste no fato de que “o potencial de curto prazo está na integração de tecnologias e modelos de negócios adaptados às nossas realidades e padrões de consumo”.

O contexto evolutivo da administração empresarial começa no final do século XIX, segundo Alfred Chandler (1998), quando surge a grande indústria americana, incentivada pelo aumento de consumo urbano graças a expansão para o oeste e os canais de transporte fluviais e ferroviários, financiada primeiramente pelos grandes oligarcas e logo após pelo mercado financeiro. Esta grande indústria surge e cresce rapidamente, com a necessidade de sólidas estruturas administrativas que são criadas com base na departamentalização burocrática e segmentada. Neste tempo de grandes oceanos azuis, com a demanda maior que a oferta, a gestão departamentalizada e sem a visão do todo atendia a necessidade. Era uma estruturação organizacional rígida, com alta burocracia para dar conta da administração da grande empresa, onde os departamentos eram vistos como pequenas corporações e onde os empregados dificilmente enxergavam o todo da empresa, salvo o mais alto gestor ou diretor de cada departamento. Grandes escritórios de contabilidade, departamentos de compras, linhas de produção, canais de distribuição empregavam funcionários que tendiam a não enxergar os conceitos de valor agregado ao cliente final. Não havia interação entre os setores a não ser pelas entradas e saídas processadas, sem análise e preocupação de eficiência operacional ou diferenciação no valor agregado.

A esta época, Henry Ford, um visionário, que enxergava toda a cadeia de valor e sua relação em custo e valor agregado ao produto final, equacionava suas dificuldades e diferenças filosóficas internalizando várias etapas de seu processo de produção. Ele alimentava profunda divergências com sua cadeia de fornecedores,

em relação a controle de eficiência e custo, além da digna remuneração e valorização dos funcionários para agregação do valor de mobilidade acessível ao seu produto final. Para resolver estas questões chegou ao ponto de adquirir indústrias fornecedoras para trabalhar em melhoria da eficiência destas, obtendo assim um produto final mais barato (FORD, 1927).

Após o primeiro ciclo de globalização e fartura dos grandes países desenvolvidos, veio a primeira guerra mundial com impactos catastróficos na economia mundial seguida pela segunda guerra mundial em que os Estados Unidos da América assumem a posição de líderes financiadores da recuperação mundial, exigindo medidas de controle da liberação do comércio para evitar nova crise geopolítica (CHANDLER, 1998; LORENZO, 2013).

O mercado americano pós primeira guerra começa a amadurecer e se segmentar demandando, na ponta de cima produtos diferenciados (modelos e cores) e na ponta de baixo um produto de entrada. Desta forma a General Motors revolucionou o mercado de automóveis através da variedade de modelos de carros – cores, preços – criando o mercado de veículos segmentado, do Premium de alto valor, ao modelo de entrada de baixo valor. E foi mais além, com a criação do mercado de carros usados e o financiamento bancário para venda de veículos para quem não tivesse como comprar um, mas pudesse contar com crédito (SLOAN, 2001).

Na década de cinquenta, surge no ambiente pós-segunda guerra no Japão, o Sistema Toyota de Produção (STP). O Sistema Toyota de Produção se desenvolveu com foco na redução de desperdícios e otimização da eficiência. O STP surge definindo que a Engenharia de Produção Lucrativa (Mureku) - redução dos gastos e potencialização dos lucros (OHNO, 1997) - deve levar em consideração o contexto em que a empresa se insere e as condições ambientais existentes como demanda, capacidade e distribuição de custos entre outros, trabalhando assim com projetos de sistemas de produção distintos de acordo com a realidade econômica-financeira de cada situação (ANTUNES, 2008).

Os tempos de fartura se extinguíram e na década de 70 surge a crise do petróleo aumentando a complexidade econômica mundial. A era dos oceanos azuis acabou e a concorrência mercadológica é a nova realidade que exige das grandes corporações pensar em suas estratégias de mercado e como se diferenciar aumentando o valor agregado ao cliente, buscando ser um valor diferenciado ou, ao

extremo ideal - um valor único - e controlar seus custos para aumento do resultado através de eficiência operacional (ANTUNES et al, 2008). A Gestão estratégica é diferente da gestão da operação, mas ambas são vitais e devem ser integradas buscando, aumentar o valor oferecido ao cliente com alta eficiência e baixo custo. (KAPLAN E NORTON, 2008). Além disso, a operação de manufatura não pode seguir uma abordagem de baixo pra cima, seguindo abordagem 'Tayloriana' de análise das operações e sim, de cima para baixo, projetando a manufatura para atender e servir como arma competitiva para as empresas (SKINNER, 1969 apud TEIXEIRA, 2014).

Neste ambiente o STP se sobressai como tecnologia de gestão operacional da produção lucrativa. Dentro do contexto global atual, existem diferenças consideráveis entre as condições competitivas enfrentadas pelas empresas de diferentes países. Fatores externos a empresa, associados ao ambiente econômico e institucional são essenciais para constituir uma estratégia competitiva como a escala e diversidade de produção e seus custos relativos (ANTUNES et al, 2008).

Ao comparar as condições do Brasil com a de países de primeiro mundo como Alemanha, Estados Unidos da América e Japão pode-se sintetizar que a indústria brasileira (ANTUNES et al, 2008):

- Opera em escalas de produção significativamente menores em relação as economias centrais;
- Apresenta baixa taxa de crescimento relativo nos últimos anos;
- A oferta é maior que a demanda na maior parte das Indústrias;
- Alta complexidade e variedade de produtos nos diferentes setores;
- Baixos custos relativos de pessoal;
- Altos custos para obtenção de capital;
- Lógica de gestão tende a maximizar a utilização de pessoal – recurso abundante, e minimizar a utilização de capital para investimento – recurso escasso;
- Altas taxas de juros – aumentando a importância na redução de estoques e aumento na taxa de utilização de ativos;

Conforme Placeres (2017), Diretor de Engenharia de Manufatura da Volkswagen do Brasil, o Brasil caiu no ranking global de industrialização do sétimo lugar em 2005 para o nono em 2009, denotando o impacto da desindustrialização observada na última década de acordo com *United Nations Industrial Development Organization* (UNIDO). A taxa de ocupação da indústria automotiva, que sempre foi referência econômica industrial no país, baixou de 81%, em 1996, para 39% em 2016 devido ao aumento no número de montadoras, aumentando a complexidade do mercado local, e a recente diminuição da demanda agregada do local. O país está atualmente colocado na décima sétima posição de competitividade entre o grupo de dezoito países emergentes, ficando à frente somente da Argentina (CNI, 2016). O Produto Interno Bruto (PIB) vem apresentando queda na taxa de crescimento anual desde 2010, apresentando valores negativos em 2015 e 2016. No atual cenário, a sobrevivência da Indústria nacional está condicionada a produção de riquezas associando inovação, produtividade e competitividade.

No atual momento econômico-financeiro do país, a Indústria 4.0 surge como um potencial alavancador de soluções para a melhoria da produtividade, qualidade e competitividade com base na evolução da alta tecnologia. Mas é necessário pensar e projetar soluções com viés de análise crítica da ótica da viabilidade técnico-econômica, tendo como pano de fundo o real contexto do ambiente local. Isto se torna mais evidente quando se trata de ambientes fabris já constituídos e em plena produção a pleno em locais com fatores de produção diferentes dos países mais industrializados.

Schwab (2016) cita que é necessário pensar no desenvolvimento de lideranças em todas as esferas, com elevada compreensão para gerenciar a difusão das inovações e dirimir as rupturas sociais e econômicas, comuns a todas as outras 3 revoluções industriais vivenciadas. É preciso gerar narrativas coerentes e positivas para alavancar os benefícios à uma parte significativa da população e atenuar as rupturas deste processo. Não se pode esperar a mudança de contexto dos diferentes ambientes, mas sim adaptar-se a ele e começar a trilhar este caminho da quarta revolução de forma positiva e adequada, levando-se em conta o contexto da realidade em que se situa, neste caso, o contexto brasileiro.

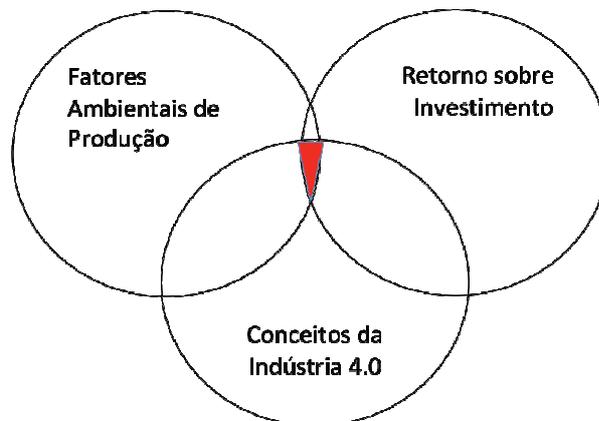
Scheer (2015) coloca que, dependendo das condições do ambiente a ser implementado, a estratégia deve partir do zero, ou seja, da simples solução de problemas antigos com a nova tecnologia através do efetivo monitoramento, com

baixo investimento e ir evoluindo ao longo de implementação de sistemas mais complexos visando controle, otimização e autonomia. Esta concepção incremental e realista da ótica econômico-financeira é uma condição diferencial da melhoria da produtividade e competitividade com auxílio das melhores tecnologias disponíveis no mercado. Existe um significativo potencial de melhorias com ações que exigem baixo investimento, 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).

Partindo de uma concepção correlata, Porter e Heppelman (2014) sugerem uma escala crescente de capacidade dos produtos inteligentes, no âmbito da Internet das Coisas, do básico ao mais complexo, um fundamentando o outro, como o caminho a ser traçado para se chegar ao nível de sistemas inteligentes e autônomos.

A maior parte das tecnologias digitais responsáveis pela quarta Revolução Industrial, está sendo depurada já a 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 e WEE, 2015).

E é neste contexto que os conceitos da Indústria 4.0 necessitam ser moldados com a finalidade de obter os melhores resultados, localizando a tecnologia de maneira eficaz, dado a combinação da utilização dos diferentes fatores de produção – Figura 3.



Fonte: Elaborado pelo Autor

Figura 3: Foco de Implementação da Indústria 4.0

Na Figura 3 é representado foco geral de implementação da Indústria 4.0 O caminho então deve iniciar com as transformações que trazem os maiores retornos sobre investimento e vai seguindo até o ponto limite em que o retorno sobre o investimento é muito pequeno ou nulo, evidenciando o melhor estado de evolução possível - estado de Indústria 4.0 ambientalizada - adequado à realidade econômico-financeira em que está inserida.

#### **1.4 Tema**

O problema de pesquisa pode ser explicitado da seguinte forma: ‘Como elaborar um artefato de diagnóstico e implementação dos conceitos da Indústria 4.0 em empresas da indústria metalmeccânica brasileira, que leve em consideração a combinação da utilização dos diferentes custos dos fatores de produção visando a obtenção dos melhores resultados econômico-financeiros?’

#### **1.5 Objetivos**

São os seguintes os objetivos gerais e específicos da dissertação:

##### **1.5.1 Objetivo Geral**

O objetivo geral consiste em elaborar um artefato de diagnóstico e implantação processual dos conceitos da Indústria 4.0 em empresas da indústria metalmeccânica brasileira, levando-se em conta as características do ambiente econômico tendo em vista a obtenção dos melhores resultados econômico-financeiros para as empresas.

##### **1.5.2 Objetivos Específicos**

São os seguintes objetivos específicos desta dissertação:

- a) Elaborar um método de diagnóstico para aplicação dos conceitos da Indústria 4.0 na realidade das empresas da indústria metalmeccânica brasileira;

- b) Elaborar um método de implantação processual dos conceitos da Indústria 4.0 na realidade das empresas da indústria metalmeccânica brasileira;
- c) Aplicar o método de diagnóstico e implantação processual dos conceitos da Indústria 4.0 em uma empresa da indústria metalmeccânica brasileira;
- d) Avaliar os resultados da aplicação do método de diagnóstico e implantação processual dos conceitos da Indústria 4.0 em uma empresa da indústria metalmeccânica brasileira, visando aprimorar o método proposto.

## 1.6 Delimitações da Pesquisa

O método de diagnóstico e implementação leva em consideração os conceitos da Indústria 4.0, cunhados na Alemanha no ano de 2011, com foco no ganho de produtividade e competitividade através da evolução tecnológica, por meio da transformação da indústria em fábricas inteligentes (*smart factories*) com base na internet das coisas e serviços e a integração dos Sistemas *Cyber* Físicos (KAGERMANN et al, 2013).

Conforme estudo apresentado em 2016 por Mckinsey&Company e VDMA (Associação dos fabricantes de máquinas e equipamentos da Alemanha) - *How to succeed: Strategic options for European machinery*, a atividade chave da digitalização é a utilização estratégica dos dados onde possam criar valor em novos negócios e com novas tecnologias nos processos fundamentais da empresa e na experiência do cliente. Apresenta assim duas dimensões da digitalização: melhoria operacional dos processos internos e novos modelos de negócio.

De acordo com VDMA (2015), a Indústria 4.0 pode ser classificada em seis áreas principais, sendo elas pertencentes a dimensão interna ou externa da empresa como: Estratégia e Organização, Fábrica Inteligente, Operações Inteligentes, Produtos Inteligentes, Serviços liderados por dados e Funcionários. Assim, a aplicação das tecnologias digitais pode agregar valor de duas maneiras. Internamente ajuda na redução de custos da produção e externamente pode contribuir no aumento de vendas por meio do aumento do valor agregado ao produto.

Neste contexto, o foco desta dissertação é na aplicação de elementos da Indústria 4.0 na melhoria dos Processos Internos de uma empresa focados na área

operacional de Fábrica Inteligente, levando-se em conta os seus custos de fatores de produção locais.

## 1.7 Estrutura do Trabalho

O primeiro capítulo que finda agora, apresenta a introdução desta dissertação começando com considerações iniciais, passando à relevância do assunto, à problematização, à definição do tema e problema de pesquisa, o objetivo geral e os específicos, às delimitações e finaliza com a apresentação da estrutura desta pesquisa.

O segundo capítulo apresenta a fundamentação teórica do trabalho. Parte-se de alguns autores relevantes que tratam do tema da pesquisa, ressaltando sua história, conceitos e teorias apresentados sobre a Indústria 4.0, bem como as tecnologias centrais desta revolução e sua implementação processual.

O terceiro capítulo relata a metodologia a ser utilizada para realização do trabalho a fim de equacionar o problema de pesquisa. A metodologia escolhida *Design Science Research* (DSR) e sua justificativa de sua escolha são apresentadas neste capítulo, finalmente, é apresentado o método de trabalho a ser aplicado com seus passos processuais para chegar aos objetivos propostos na dissertação.

O quarto capítulo desta dissertação apresenta a construção do método versão M0 para responder à questão de pesquisa.

O quinto capítulo apresenta a avaliação do método, versão M0, aplicado à uma empresa do ramo metalmeccânico brasileira, sua devida descrição e análise dos resultados encontrados e discussão destes relativos aos objetivos traçados inicialmente para esta dissertação, finalizando com a formatação da versão M1.

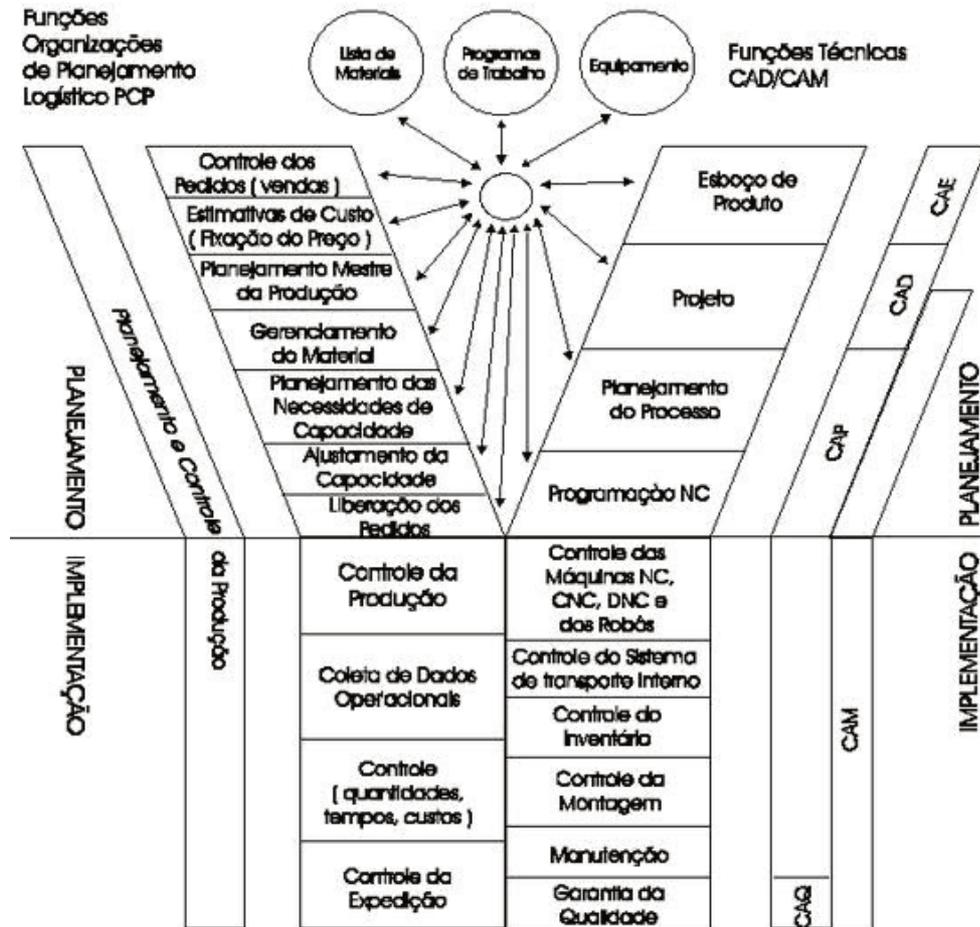
O sexto e último capítulo relata a conclusão da dissertação, ressaltando as principais conclusões da dissertação, bem como suas limitações e sugestões para as próximas pesquisas nesta área.

## 2 FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA

Neste capítulo é apresentado o Referencial Teórico que sustenta a presente dissertação descrevendo a trajetória da Indústria 4.0, sua definição, objetivos, tecnologias habilitadoras e dificuldades, os princípios teóricos de diagnóstico e implementação nas empresas bem como a base idealmente necessária para tal.

O conceito de integração tecnológica da manufatura já era debatido desde a década de 70 e 80, com advento do computador. Em 1993, August-Wilhelm Scheer abordou o assunto de forma mais ampla com seu livro CIM – Evoluindo para a Fábrica do Futuro.

A Produção Integrada por Computador (CIM – *Computer Integrated Manufacturing*) é o processamento integrado da informação de processos técnicos e operacionais de uma indústria. Os processos operacionais se referem ao sistema de Planejamento, Programação e Controle da Produção e Materiais (PPCPM) gerenciando os pedidos, representada no lado esquerdo do Y da Figura 3. Os processos técnicos se apresentam pelos diversos conceitos *Computer Aided (CA)*, suportando a definição do produto e recursos de produção, do lado direito do Y da Figura 4 (SCHEER, 1993).



Fonte: Scheer, August-Wilhelm, CIM – Evoluindo para a Fábrica do Futuro (1993)

Figura 4: Modelo Y do Sistema Integrado de Informações

Este sistema Integrado de Informações apresenta uma manufatura alinhada por computador, com uma base de dados única. Porém, ainda com decisões centralizadas acontecendo em lotes, dependendo da análise e intervenção do homem. Além deste fator, Scheer (2015) explicitou que os problemas de implantação do CIM estavam relacionados ao seu alto custo e complexidade impossibilitando sua implementação completa. Desta forma, os resultados e benefícios alcançados foram limitados frente a expectativa da evolução da tecnologia da informação da época.

Hoje a quarta revolução industrial está sendo alavancada pela Internet das Coisas e Serviços, aplicada na manufatura. No futuro os negócios serão formados por cadeias de valor com redes de trabalho globais, incorporando máquinas, sistemas de armazéns e plantas de produção no formato de Sistemas *Cyber* Físicos (*Cyber-Physical Systems* – CPS). No ambiente de manufatura estes CPS são

compostos por máquinas inteligentes, sistemas de estoque e plantas de produção capazes de troca autônoma de informação, possibilitando o controle descentralizado de decisões de forma independente entre as partes. Isto proporciona melhorias fundamentais no processo industrial envolvendo manufatura, engenharia, utilização de material e cadeia de suprimentos e no gerenciamento do ciclo de vida.

## 2.1 Tecnologias Habilitadoras

Um ponto importante a focar são as tecnologias habilitadoras da Indústria 4.0. As fábricas inteligentes que já começam a aparecer empregam um novo estilo de produção. A Internet das Coisas e Serviços está entrando no ambiente de manufatura. Em sua essência, a Indústria 4.0 envolve a integração técnica dos CPS na manufatura e logística e o uso da Internet das Coisas e Serviços (IoT) nos processos industriais. Isto acarreta implicações na criação de valor, modelos de negócio, serviços ao cliente e organização do trabalho. Outra tecnologia considerada central para Indústria 4.0, além dos CPS, é a IoT (KAGERMANN et al, 2013).

Aliada a CPS e a IoT, agrega-se de maneira central para a revolução disruptiva da Indústria 4.0, o *Big Data Analytics* (BDA) (KAGERMANN et al, 2013; KANG et al, 2016). O BDA é considerado recurso chave de vantagem competitiva (PORTER e HEPPELMANN, 2014), possibilitando por meio de algoritmos de análise atingir melhores patamares de eficiência energética, aumento de vida útil, economia em manutenção preventiva e melhores configurações de planejamento de produção de uma fábrica por exemplo.

Assim, é possível sugerir as seguintes tecnologias centrais e habilitadoras da Quarta Revolução Industrial (KLINGENBERG, 2017), classificadas como Categoria Digital (SCHWAB, 2016):

- Internet das Coisas (IoT) – é relativo à conexão de objetos na rede, cada um mantendo sua identidade única estando conectado permanente ou intermitentemente (GARTNER, 2011; HERMANN et al., 2014). O termo IoT foi apresentado pela primeira vez em 2002 em uma reportagem da Forbes Magazine e começou a ser utilizado ampla e rapidamente (MATTERN e FLOERKMEIER, 2010). Porém muito antes disso, em 1909, Nicholas Tesla, um grande inventor no campo da mecânica e eletrotécnica, publicou no *New*

*Your Times*, o artigo *Wireless of the future*. Neste artigo ele apresenta uma previsão de que no futuro as pessoas poderiam carregar um instrumento barato, não muito maior que o relógio, que permitiria ouvir qualquer lugar da terra, em longas distâncias (CNI, 2017).

A Internet apresentou em 2016 cerca de 3,7 bilhões de usuários no mundo todo, mostrando um crescimento de 918,3% de 2000 a 2016, num intervalo de 15 anos (internetworldstats.com, 2016). Foi criada como uma forma de troca de pacotes de dados, entre os nós da rede e o número de endereços no IPv4 (32 bits) disponíveis, que vem caindo de forma significativa (ATZORI et al., 2010). Com o Internet Protocol Version 6 (IPv6), oficializado em 2012, o número de endereços na web aumentou de 4,3 bilhões para 340 sextilhões, aumentando sua disponibilidade (KAGERMANN et al., 2013). Essa inovação tornou possível a inserção de bilhões de produtos e componentes na rede.

A IoT pode ser aplicada nos mais diversos setores, como por exemplo na manufatura. Sua aplicação permite que máquinas se comuniquem entre si e que os produtos se comuniquem com as máquinas (ATZORI et al., 2010), e que máquinas e produtos se comuniquem com as pessoas. As “coisas” conectadas permitem diversas possibilidades que mudam a forma das empresas se relacionarem com os participantes da cadeia de suprimentos (SCHUH et al., 2014).

- *Cyber-Physical Systems* (CPS) - termo cunhado em 2006 por Helen Gill - Diretora do Programa de Sistemas Embarcados e Híbridos da Fundação Nacional de Ciências dos Estados Unidos - significa a combinação de sistemas físicos e sistemas cibernéticos (LEE, 2015). Os dois sistemas – físico e virtual – agem como um sistema, de maneira que tudo o que acontece com físico impacta no virtual e vice-versa (LEE, 2010). Os CPS envolvem a interação de três elementos: sistemas embarcados, redes de comunicação e conexão pela internet e pessoas (HELLINGER e SEEGER, 2011). Pesquisas com CPS em 2016 ainda estão em estágio inicial e focam nos conceitos, arquitetura e modelagem e ainda mostram poucos casos reais de aplicação (KANG, 2016).

Assim como IoT o CPS pode ser utilizado nos mais diversos setores (HELLINGER e SEEGER, 2011; LEE, 2015). Na manufatura, engloba os

elementos físicos – máquinas, peças e produtos – que possuem uma representação virtual nos sistemas de produção (KAGERMANN et al., 2013). O CPS é citado como o principal elemento das mudanças disruptivas da Indústria 4.0 (LEE, 2015), possibilitando o desenvolvimento de processos autônomos, que embasados na dupla representação se tornam inteligentes: através da comunicação e de algoritmos de decisão, os componentes passam a ter a capacidade de decisão a respeito da sua configuração e seu consequente caminho na linha de produção (LEE et al., 2015).

A aplicação do CPS confere uma descentralização de decisões. Isto permite que estas decisões ocorram agora ao longo do processo, conferindo maior estabilidade e flexibilidade de produção, como por exemplo frente a alterações de pedido, disponibilidade de materiais, máquinas, homem etc. Uma decisão pode ser tomada no chão de fábrica no tempo zero, com rapidez e agilidade sem necessitar de uma análise central e com resposta demorada.

- *Big Data Analytics* (BDA) – A chegada da Internet e a redução do preço dos sensores permitem que cada vez mais produtos, peças, componentes e máquinas sejam monitorados, gerando grande quantidade de dados adquiridos e disponíveis para a análise (PROVOST e FAWCETT, 2013). Com a grande quantidade de dados gerados, adquiridos e analisados atualmente não faz sentido tomar decisões embasadas somente na intuição e conhecimento humano, pois a inteligência artificial amplia a capacidade de solução de problemas (MCAFEE e BRYNJOLFSSON, 2012). Por isso o BDA é considerado hoje um recurso chave da vantagem competitiva (PORTER e HEPPELMANN, 2015). O BDA pode hoje agregar valor com informações e velocidades impossíveis de atingir via observação e experiência (GANDOMI e HAIDER, 2015).

Desta forma o BDA é o aglutinador de informações coletadas durante o ciclo de vida do produto em toda a cadeia de fornecimento e sistema de produção. Ele é o real responsável por processar e interpretar as informações gerando uma resposta lógica de atuação eficaz, eficiente e sobretudo rápida. Através do BDA, trabalhando com dados coletados é possível melhorar a eficiência de diversos processos como alimentar a área de projeto com informações do

produto em sua aplicação, prever a demanda para melhor planejar e programar a produção, prever paradas de manutenção necessárias antes da quebra, diminuição de refugo e retrabalho otimizando parâmetros de processo, ajudando na solução de problemas, etc.

Além destas tecnologias centrais, categorizadas como tecnologias digitais, a Quarta Revolução Industrial conta também com outras tecnologias consideradas impulsionadoras categorizadas como Físicas e Biológicas (SCHWAB, 2016):

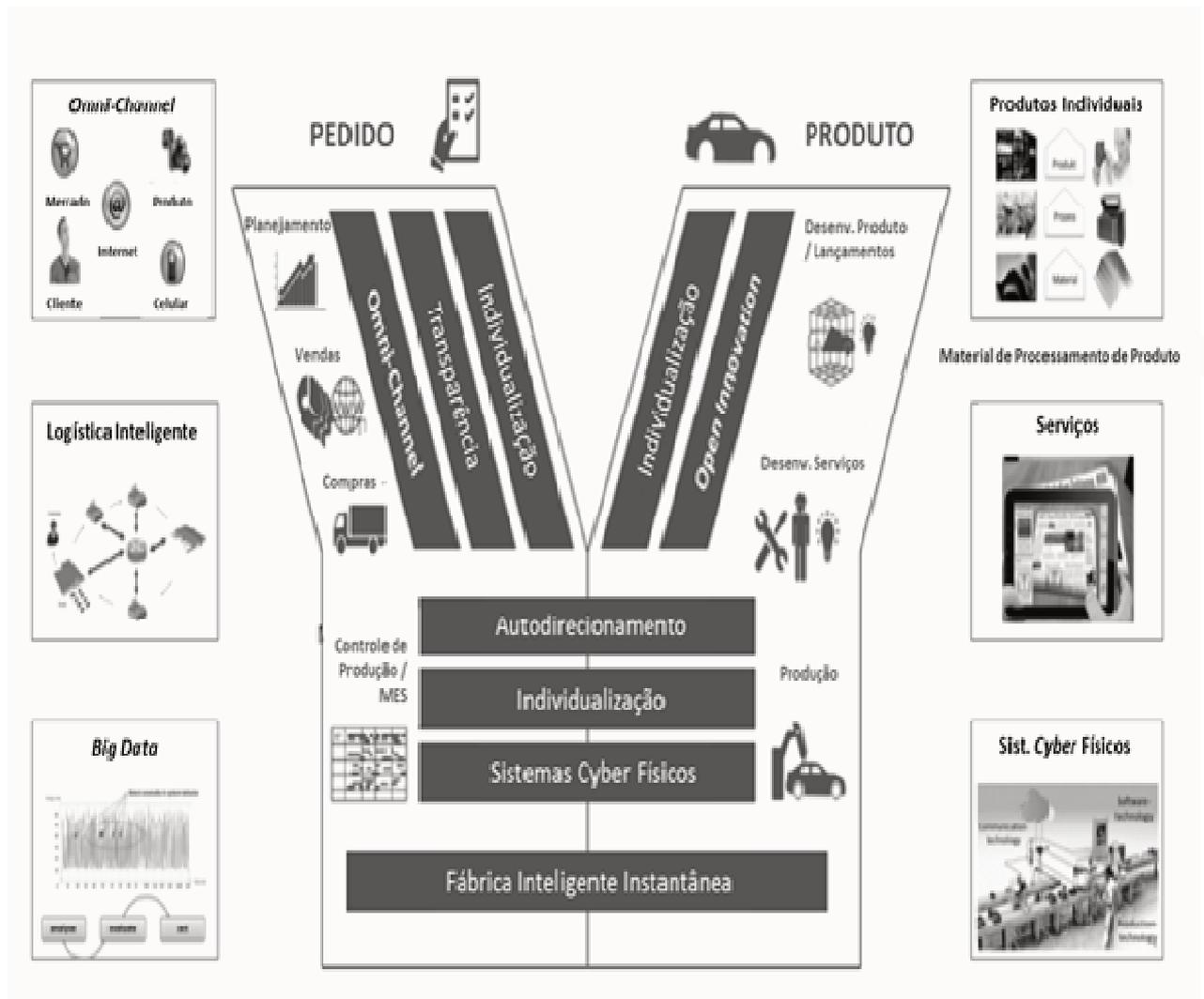
- Categoria Física – tendências tecnológicas fáceis de ver pela sua natureza tangível:
  - Veículos Autônomos – carros sem motorista, caminhões, drones, aviões e barcos que através de tecnologias como sensores e inteligência artificial apresentam capacidades autônomas aumentando a produtividade onde aplicadas. Os drones, por exemplo, são capazes de executar tarefas de inspeção de redes elétricas, entrega de remédios em zonas de difícil acesso ou aplicação precisa de adubos na agricultura de forma barata, produtiva e com diminuição dos riscos envolvidos.
  - Impressão 3D ou Manufatura Aditiva – o processo é o oposto da fabricação subtrativa, onde a peça ou modelo é concebido através da impressão camada por camada de material em 3D, podendo ser personalizado ao contrário dos processos de manufatura em massa. Esta tecnologia apresenta um amplo leque de aplicações como grandes peças de turbinas eólicas à pequenas peças de implantes médicos. Atualmente sua aplicação limita-se a indústria automotiva, aeroespacial e médicas.
  - Robótica Avançada – atualmente os robôs são utilizados cada vez mais em tarefas colaborativas entre seres humanos e máquinas. Estão se tornando mais flexíveis com uma concepção baseada em estruturas biológicas complexas com base no processo biomimetismo que busca padrões da natureza como estratégia de operação.

- Novos Materiais - Novos materiais vêm surgindo no mercado com características inimagináveis no passado. São mais leves, flexíveis, fortes, recicláveis e adaptáveis. Já existem materiais com propriedades inteligentes de autorreparação e autolimpeza. Existem metais com memória de formas e cerâmicas e cristais que geram energia a partir da pressão.
- Categoria Biológica - inovações tecnológicas no campo da biologia resultaram na redução dos custos e maior facilidade do sequenciamento genético e na ativação ou edição de genes. Hoje a evolução propiciada pelo projeto genoma permite que cientistas trabalhem mais precisamente em pesquisas de variações genéticas que geram doenças, o que antes era feito na base da tentativa e erro. O próximo estágio é a biologia sintética, que permitirá a criação de organismos com seu DNA especificamente projetado significando avanços e impacto nas áreas da medicina, agricultura e de biocombustíveis.

Além destas tecnologias digitais habilitadoras da Indústria 4.0, cabe mencionar e discutir a tecnologia de segurança cibernética (*cyber security*) e sua importância no contexto atual, dado ao aumento da exposição dos dados e informações das empresas. Segurança cibernética então, aparece não como uma tecnologia habilitadora da Indústria 4.0, mas como uma tecnologia necessária para assegurar a integridade dos dados digitais disponíveis. Conforme Schuh et al (2017), quando os funcionários de uma empresa lidam frequentemente com sistemas de TI e dados confidenciais, é essencial estarem alertas sobre a importância da segurança da TI. É importante que estes profissionais sejam treinados e estejam alertas ao risco de vazamento de informações e suas consequências. Devido ao crescimento da popularidade das mídias sociais e ferramentas colaborativas, novas regras devem ser desenvolvidas e aplicadas no controle de comunicações internas e externas a empresa. Ao passo que o acesso a um grande banco de dados ajuda a tomar decisões, parte destes dados podem fazer parte da propriedade intelectual da empresa e não podem ser compartilhados com terceiros. Normas e padrões devem ser desenvolvidos e seguidos para garantir a segurança da propriedade intelectual da empresa na realidade digital.

## 2.2 Conceitos e propostas de Indústria 4.0

Revisando o conceito do CIM, Scheer (2015), apresenta o artigo *Industry 4.0: From vision to Implementation*, que aborda um modelo Y de integração atualizada com a entrada das tecnologias centrais da Quarta Revolução Industrial. É apresentado o processo organizacional de um lado, o técnico de outro e na base a manufatura, analogamente ao modelo do CIM proposto por Scheer em 1993. Porém, agora com significativa diferença envolvendo decisões descentralizadas e sem depender necessariamente do homem, possibilitando pedido, projeto e produção de forma individual e instantânea - Figura 5.



Fonte: Scheer, August-Wilhelm, *Industry 4.0: From Vision to Implementation* (2015)

Figura 5: Modelo Y de Sheer para Indústria 4.0

As barras do modelo Y representam as forças diretivas da Indústria 4.0. As tecnologias associadas são apresentadas fora do modelo. A parte superior do modelo Y mostra as atividades de planejamento enquanto as seções da parte inferior explicam o controle de curto prazo e a camada de realização.

A parte esquerda representa o processo do pedido de negócio na indústria. Pedidos de compras para o material e recursos necessários e ordens de produção para os itens a serem manufaturados para atendimento dos pedidos do cliente. O Planejamento e Controle destes pedidos são operacionalizados pela logística. A logística externa operacionalizando a relação com os clientes e fornecedores e a logística interna operacionalizando as tarefas de processamento.

A parte direita representa o processamento necessário para fabricação do produto. Através da utilização do CAD/CAE (*Computer Aided Design / Computer Aid Engineering*) a Pesquisa e Desenvolvimento (P&D) na parte superior direita é definida a especificação do produto e processo através dos planos de trabalho. Os recursos de máquina solicitados são definidos pelo planejamento de produção. Os processos de logística e produto são fortemente conectados na fábrica. Itens a serem produzidos são direcionados pelas regras de manufatura para os recursos de acordo com tipo, quantidade, tempo e qualidade para produção controlada e os resultados são computados. Os produtos prontos são, então, passados para o departamento de expedição e entrega ao cliente. Os departamentos financeiro e de controle acompanham a operação do ponto de vista de valor, mas não possuem atuação direta no produto ou seu valor agregado.

Na mesma linha de integração de sistemas e produtos por meio das tecnologias digitais e centrais da Indústria 4.0 (CPS, IoT e BDA), Porter e Heppelmann (2014), sugerem uma escala processual de capacidade dos produtos inteligentes, do básico ao mais complexo: Monitoramento, Controle, Otimização e Autonomia - Figura 6.



Figura 6: Níveis de Capacidades dos Produtos Inteligentes

Esta escala processual gradativa pode ser extrapolada para o ambiente de manufatura, uma vez que as máquinas ou células de produção podem ser tratadas como produtos inteligentes, entregando sua função de fabricação de peças de forma integrada entre si e entre sua cadeia de valor, formando uma *smart factory*.<sup>PS</sup>

O Monitoramento da condição de operação e ambiente externo do produto pode ser realizado por sensores e fontes externas de dados permitindo acompanhamento do histórico e características operacionais, permitindo uma intervenção antes de uma situação crítica de uso.

<sup>PS</sup> Uma máquina de produção pode ser tratada como produto, a partir do momento em que é adquirida de um fornecedor produtor de máquinas, para que cumpra uma função entregando o valor esperado pelo cliente Indústria. Assim, uma máquina adequada à Indústria 4.0 pode ser considerada um produto inteligente conectado, com capacidade de interação com outras máquinas, produtos e pessoas.

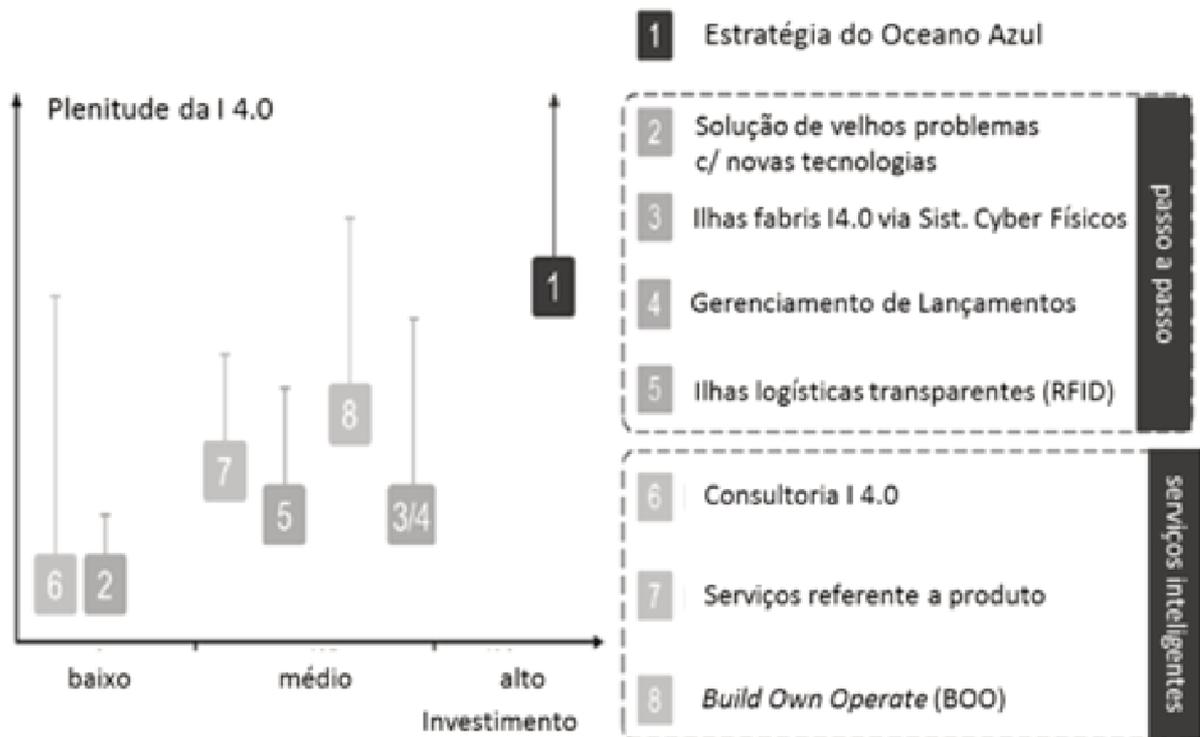
O Controle permite o ligar e desligar de uma função ou regular a intensidade de uma função remotamente, ou por meio de algoritmos de programação dado um sinal medido pelo Monitoramento.

A Otimização é a melhoria do desempenho da função através do fluxo de dados de monitoramento, melhorando a eficiência com base nos dados coletados. Com isso é possível ajustar os parâmetros que prolonguem a vida útil do componente, ou para apresentar melhor eficiência energética, e também, como uma forma de melhorar a manutenção preventiva com a troca do componente na exata iminência de quebra – nem antes e nem depois.

A Autonomia é atingida pelas capacidades somadas do Monitoramento, Controle e Otimização gerando capacidade dos componentes possuírem inteligência de adaptação às suas necessidades de serviço dado o ambiente de utilização via processamento de informações do BDA.

Ou seja, necessariamente um produto, uma máquina, um sistema ou um processo necessita passar por esta escalada processual, de 1 a 4, para chegar a ser autônomo, como objetivo fim da Indústria 4.0 atingindo o ponto máximo na busca pela produtividade. Um passo constitui-se na base para o próximo e assim sucessivamente. Isto tende a oferecer um caminho relevante a ser seguido para implementação da Indústria 4.0.

Nesta mesma linha de evolução processual, Scheer (2015) apresenta uma estratégia de implementação mais detalhada da Indústria 4.0, levando em consideração o investimento aplicado em termos de recursos financeiros e tempo, em relação aos diferentes passos implementados até sua completa abrangência - Figura 7.



Fonte: Scheer, August-Wilhelm, *Industry 4.0: From vision to Implementation* (2015)

Figura 7: Estratégia de Implementação da Indústria 4.0 segundo Scheer

- 1- Estratégia do Oceano Azul significa a transformação total da empresa na criação de um novo modelo de negócio com base em inovação disruptiva da Indústria 4.0.

Em muitos casos nota-se que empresas Alemãs estão evoluindo no caminho à Industria 4.0 de forma processual gradativa, adotando uma lógica do tipo processual, passo a passo.

A solução de Velhos Problemas com Novas Tecnologias seria o primeiro passo, com baixo investimento e retorno à problemas com soluções insatisfatórias até então, que podem ser revistas através de novas tecnologias. Como exemplo temos otimizações de logística interna de *milk run* para solicitação digital, evitando viagens sem carga ou em vazio; otimização de sinais de *kanban*; utilização de etiquetas RFID (*Radio-Frequency Identification*) para controle do inventário entre outras. Conforme Placeres (2017), o ponto mais importante destes experimentos iniciais, com as novas tecnologias aplicadas, é a oportunidade de aprendizagem e o amadurecimento do conhecimento aplicado.

- 2- Ilhas Fabris de Indústria 4.0, via Sistemas *Cyber* Físicos seria o próximo passo no sentido da implementação através de uma célula de produção piloto, com máquinas operando conectadas via sensores e materiais com etiquetas RFID, permitindo um controle de operação e manutenção preditiva em tempo real em uma fábrica. A empresa utilizaria este piloto como teste e aprendizado antes da implementação em toda a fábrica.
- 3- Gerenciamento de Lançamentos e Inovação Aberta seriam as próximas iniciativas de medidas indicando uma nova arquitetura de sistemas de informação para empresa. O foco na criação e administração de dados relativos ao produto contendo a tendência na direção de grande variação de produtos e individualização. As funções de logística, vendas e compras bem como planejamento da produção se tornam aplicações avaliando o banco de dados do produto e não mais necessitam uma administração do atual sistema de ERP (*Enterprise Resource Planning*).
- 4- Ilhas Logísticas Transparentes seria o quinto passo, com a reorganização da gestão da cadeia de suprimentos envolvendo clientes e fornecedores. O aumento na flexibilidade e na redução de custos pode ser atingida por meio da integração dos fornecedores e clientes diretos bem como sistemas de transporte. A aplicação de etiquetas com tecnologia RFID em toda cadeia facilita o monitoramento instantâneo do transporte fornecendo informações do tempo de viagem, janela de entrega, tipo, medida e quantidade do conteúdo, além do controle apurado do inventário.

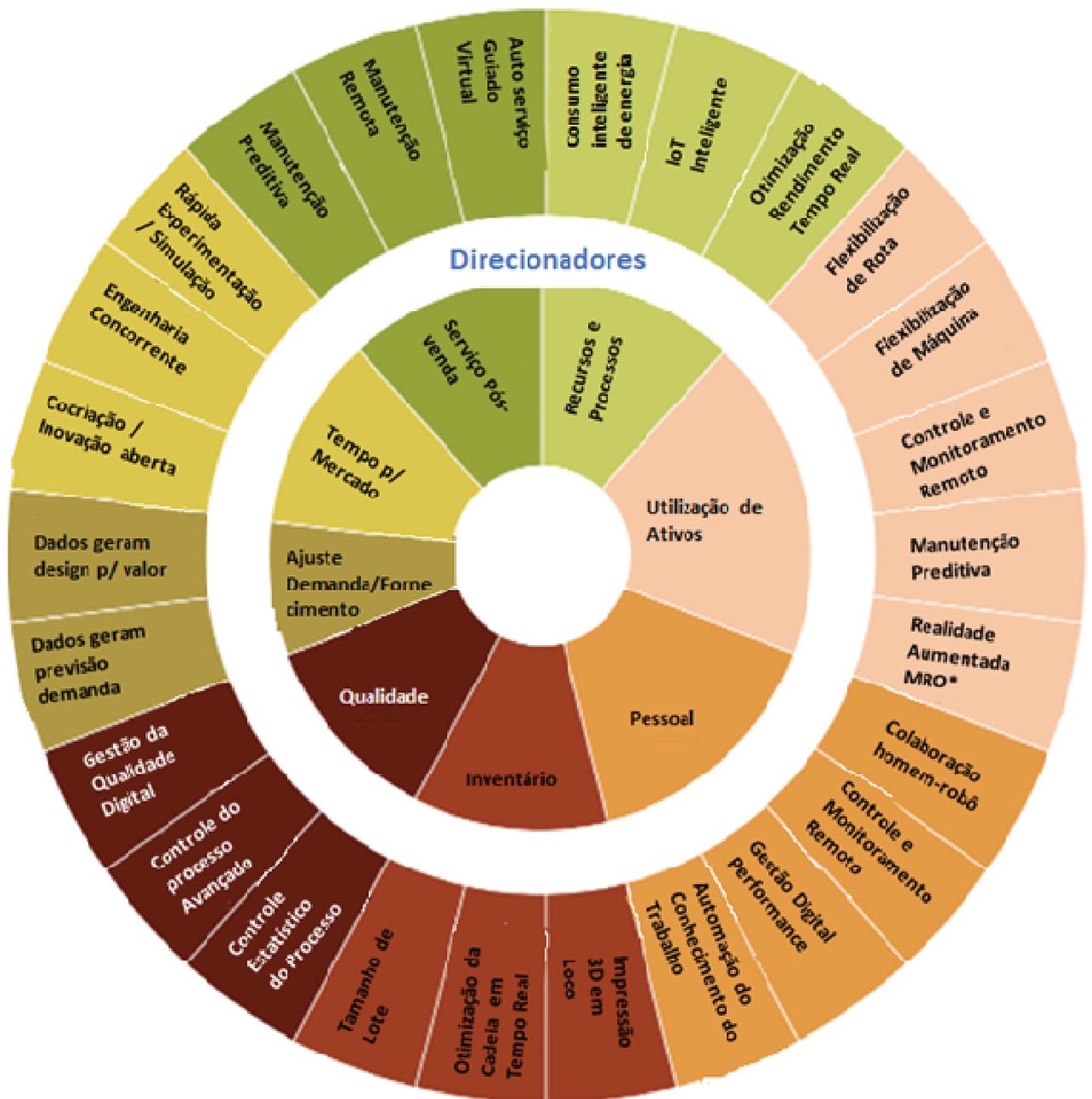
Os Serviços Inteligentes são outra possibilidade do potencial estratégico da Indústria 4.0, aumentando o valor agregado do produto entregue ao cliente final através de novos tipos de serviços. As indústrias passam a ser provedoras de serviços relativos a utilização de seus produtos.

- 5- Consultoria de Indústria 4.0 é o sexto passo no amadurecimento das empresas precursoras neste caminho revolucionário, contando com a sua própria experiência e aprendizado, potencializando a prestação deste tipo de serviço à empresas que desejam iniciar a mesma trajetória.
- 6- Serviços referente ao Produto é o próximo passo potencializado com a informação de milhares de produtos em utilização sob diversas condições de uso oportunizando a oferta do serviço de manutenção por exemplo.

7- Por último, o serviço *Build Own Operate* (BOO) é a modalidade oportunizada de não mais apenas vender o produto, mas vender sua função valorizada pelo cliente, como, por exemplo o *leasing* de máquinas monitoradas e controladas para entrega de uma função específica.

De acordo com Baur e Wee (2015), com a alta disponibilidade de tecnologias digitais e BDA, os executivos agora se perguntam: como iniciar seu processo de atualização? Qual dado ou caminho uma vez implementado trará o maior benefício? Quais as perdas que estão causando o maior dano a empresa? Quais tecnologias entregarão maior retorno sobre investimento para a empresa, dado suas circunstâncias únicas? A gama de opções pode ser dada por um compasso digital elaborado para alinhar os Direcionadores de valor da Indústria 4.0 com os diversos Níveis da Indústria 4.0 - Figura 8.

## Níveis da Indústria 4.0



Detalhando este compasso tem-se os seguintes campos de melhoria, de acordo com McKinsey&Company (2015):

- Recursos e Processos – Melhoria do processo em relação a velocidade, consumo de material ou rendimento/eficiência – em primeira instância atacando via diminuição do custo de material e, em seguida através do aumento de produção e vendas. Um exemplo é a eficiência otimizada *real-time*, como implementada em um forno pela

empresa ABB, empresa Suíça de tecnologia de energia e automação. Um sistema computadorizado foi implantado para controle, estabilização e otimização das variáveis de processo neste forno. Este sistema simula os parâmetros de processo para atingir objetivos específicos otimizados. De acordo com as medidas reais e atuais, o processo é ajustado de imediato de acordo com o calculado pelo sistema e aplicado ao controle do forno automaticamente. De forma geral a otimização de processo, em *real-time*, resultou em uma melhoria de até 5% na eficiência do processo.

- Utilização de Ativos – A melhoria na utilização de ativos pela empresa. Isto agrega mais valor em indústrias pesadas, com máquinas caras - especialmente se forem restrições ou gargalos produtivos - que a cada minuto de produção parada, acarreta uma perda de *payback* e faturamento. Neste caso a Indústria 4.0 pode, através da manutenção preditiva, diminuir paradas planejadas e não planejadas ou ainda contribuir para redução do tempo de troca de ferramenta. Como exemplo, a empresa GE, gigante americana do ramo elétrico, oferece manutenção preventiva através da coleta de dados das máquinas por sensores conectados. Com base nos dados reportados, problemas são detectados em seu estágio inicial e corrigidos a um custo mínimo, com otimização dos recursos da manutenção via priorização das atuações, aumentando assim a disponibilidade de máquinas. De forma geral, a manutenção preditiva diminui a quebra de máquinas em trono de 30% a 50% e aumenta a vida útil de 20% a 40%.
- Pessoal – Na medida em que o custo de pessoal é um custo importante em muitas indústrias, a melhoria na produtividade pode agregar significativamente na melhoria da operação. Isto pode ser obtido via redução do tempo de espera, ou a redução do tempo de ciclo e complexidade de tarefas executadas pelos trabalhadores. Etalex, um produtor de móveis Canadense, introduziu a utilização de robôs colaborativos na melhoria de sua produtividade para resolver dois problemas: ergonomia – carregamento de peças pesadas na prensa; e espaço – limitação de área para máquinas grandes automatizadas. A empresa então aplicou a utilização colaborativa

homem-robô, de maneira segura preservando integridade dos trabalhadores. Através de um controle de força integrado, os robôs reduzem a velocidade ou até param os movimentos frente a eventual contato com o homem. Como resultado, a Etalex aumentou em 40% a produção e venda com o mesmo efetivo de trabalhadores.

- Inventário – O excesso de inventário empata o fluxo de capital, aumentando seu custo. A redução do fornecimento excessivo ao estoque pode diminuir este impacto. Os níveis de Indústria 4.0 atuam de várias formas na busca da redução de inventário, como na acuracidade dos números do estoque, planejamento de demanda com erros que necessitam de estoque de segurança e superprodução. Por exemplo, a empresa Wurth's Ibins, empresa de serviços industriais alemã, utiliza tecnologia de câmera inteligente para verificar o nível de material em uma caixa de fornecimento que está armazenada nas prateleiras ou está sendo utilizada na linha de produção. A caixa é conectada via *wireless* e gera ordens automáticas de fornecimento de acordo com o seu nível de material. Através desta otimização *real-time* de fornecimento, a Indústria 4.0 pode reduzir custos de inventário ao redor de 20% a 50%.
- Qualidade – A melhoria na qualidade se dá a partir do controle e redução da sucata e retrabalho de produtos que eleva o custo de produção. Estas ineficiências de qualidade são causadas por processos instáveis de manufatura, embalagens deficientes na cadeia de fornecimento e distribuição ou instalações inapropriadas. A eliminação destes eventos pode acontecer durante o desenvolvimento do processo através dos níveis de Indústria 4.0 como Controle Estatístico do Processo, Controle Avançado do Processo e Gestão da Qualidade Digital. A Toyota, por exemplo, utiliza análise avançada para solução de problemas *real-time* no processo de produção. A análise de dados a *real-time* e o Controle Avançado de Processo habilita a correção de erros imediatos para diminuir níveis de retrabalho e a sucata. É comum ver redução de custos relativos a qualidade de 10% a 20% através da aplicação dos níveis da Qualidade da Indústria 4.0.

- Ajuste Demanda/Fornecimento – Somente um perfeito entendimento da demanda do cliente – quantidade e características dos produtos que os clientes querem comprar – maximiza o valor de mercado. Desta forma a otimização do fornecimento relativo à real demanda é o potencial valor dos níveis da Indústria 4.0. A previsão de consumo, baseada em análise de dados, pode por exemplo aumentar a acuracidade da demanda semanal em mais de 85%. Um fornecedor de peças automotivas utiliza o nível de Geração de Demandas, por dados coletados via configurador *online* em sua página da internet e dados de compra real para identificar as opções de produto que os clientes estão dispostos a pagar um preço diferenciado. Como resultado a oferta de opções de produto pode ser limitada, diminuindo consideravelmente o tempo de desenvolvimento e custos de produção.
- Tempo para o mercado (*Time To Market*) – Atender o mercado com um produto novo em menos tempo agrega valor adicional através do aumento de vendas além da vantagem do pioneirismo no lançamento. Desta forma qualquer nível da Indústria 4.0 que acelere o processo de desenvolvimento como a Engenharia Concorrente, a Rápida Experimentação ou Prototipagem (como exemplo a impressão 3D), ou a Inovação Aberta, vão agregar valor neste sentido. Um exemplo extremo é a Local Motors que produz carros quase que totalmente em impressão 3D, com a técnica de Cocriação (*Design Crowd Sourced*) através de uma comunidade *online*. Assim eles se habilitam a reduzir o tempo de desenvolvimento de seis a sete anos para um ano e alavancar uma enorme redução de custos. Outras empresas automotivas, como por exemplo, a Vauxhall (inglesa) e a GM (americana), também utilizam impressão em 3D e Rápida Prototipagem em seus processos de desenvolvimento automotivo. Os níveis da Indústria 4.0 aplicados neste sentido podem reduzir o tempo para o mercado em 30% a 50%.
- Serviço e Pós-venda – Ainda que os custos de operação são relativos a custos de serviço (exemplo: manutenção e reparo) e paradas de máquina (exemplo: incidentes inesperados), a oferta destas soluções para o cliente pode ser um potencial de valor a ser agregado. Um

destes níveis de serviço é a Manutenção Remota. A empresa Secomea, dinamarquesa, por exemplo oferece soluções de *softwares* que permite a conexão remota de técnicos com máquinas industriais, para realização de diagnóstico sem necessitar visitar a fábrica. Um cliente comenta que 50% dos problemas que normalmente necessitavam de visita na fábrica puderam ser resolvidos remotamente. Usualmente, pode-se ter uma redução de custos de manutenção de 10% a 40 % através da manutenção preditiva e remota.

Assim detalhado, o compasso digital serve como uma orientação entre os direcionadores da Indústria 4.0 e as possíveis áreas de atuação e benefícios potenciais, conforme os exemplos detalhados.

Para aproveitar o melhor das tecnologias da Indústria 4.0 as empresas devem se preparar para a transformação digital. Segundo os autores, as empresas necessitam iniciar hoje sua busca pelo melhor desta tecnologia e organizar sua estrutura para uma organização digital (BAUR e WEE, 2015).

Um dos primeiros passos para análise de implementação de uma ou mais tecnologias pode ser a realização de um diagnóstico, para a avaliação do estado atual do sistema a ser melhorado. Schumacher et al (2016) apresentam um modelo de diagnóstico de maturidade para avaliação de empresas de manufatura visando a implementação das tecnologias da Indústria 4.0. O modelo avalia a maturidade da empresa em nove dimensões: estratégia, liderança, clientes, produtos, operações, cultura, pessoas, governança e tecnologia. A avaliação é feita por meio de um questionário, avaliando cada dimensão de forma a entregar um mapa da maturidade da empresa para implementação das novas tecnologias digitais de forma integrada, formando um caminho de implementação da Indústria 4.0. O modelo é aplicado por meio de *workshops*, com o cuidado de nivelar o conhecimento dos novos conceitos para garantir uma avaliação fidedigna com a realidade da empresa. No final o modelo apresenta um mapa da maturidade da empresa servindo de base estratégica para a implementação dos elementos da Indústria 4.0.

Como iniciativa de agregar um diagnóstico e a confecção de um mapa de estágios de desenvolvimento da Indústria 4.0, a VDMA apresenta uma ferramenta para realização de um *workshop* aplicado, porém sem definir uma clara estratégia de aplicação (ABERSFELDER et al, 2016). Este método apresenta uma avaliação

preliminar da empresa, de 0 a 5, em 6 áreas como Estratégia e Organização, Fábrica Inteligente, Operações Inteligentes, Produtos Inteligentes, Serviços liderados por Dados e Funcionários – Figura 9.

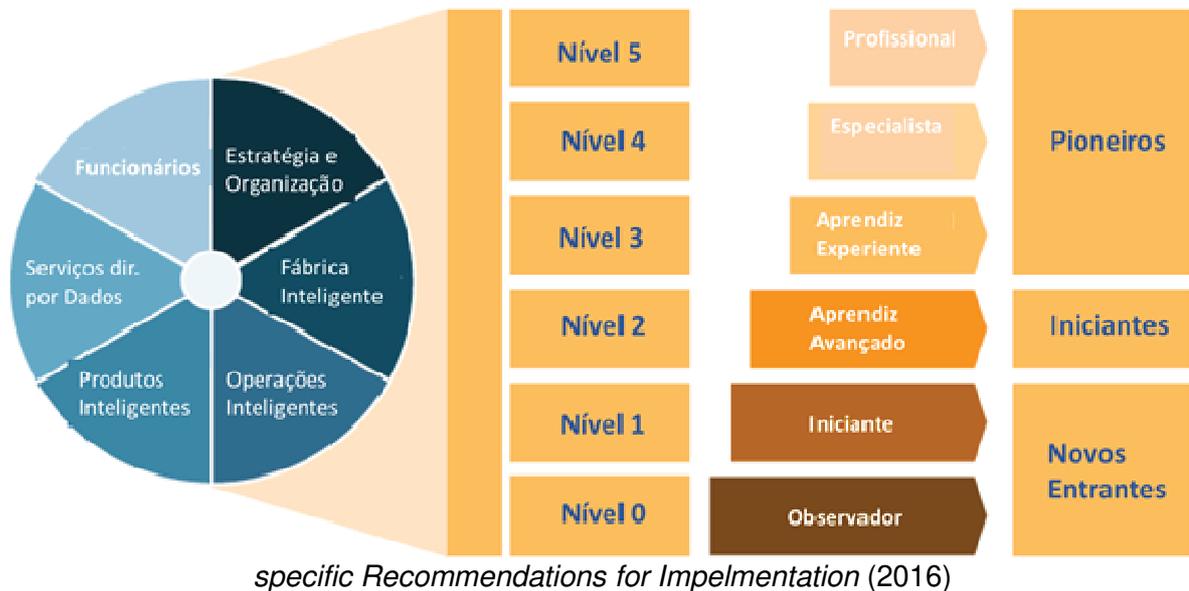
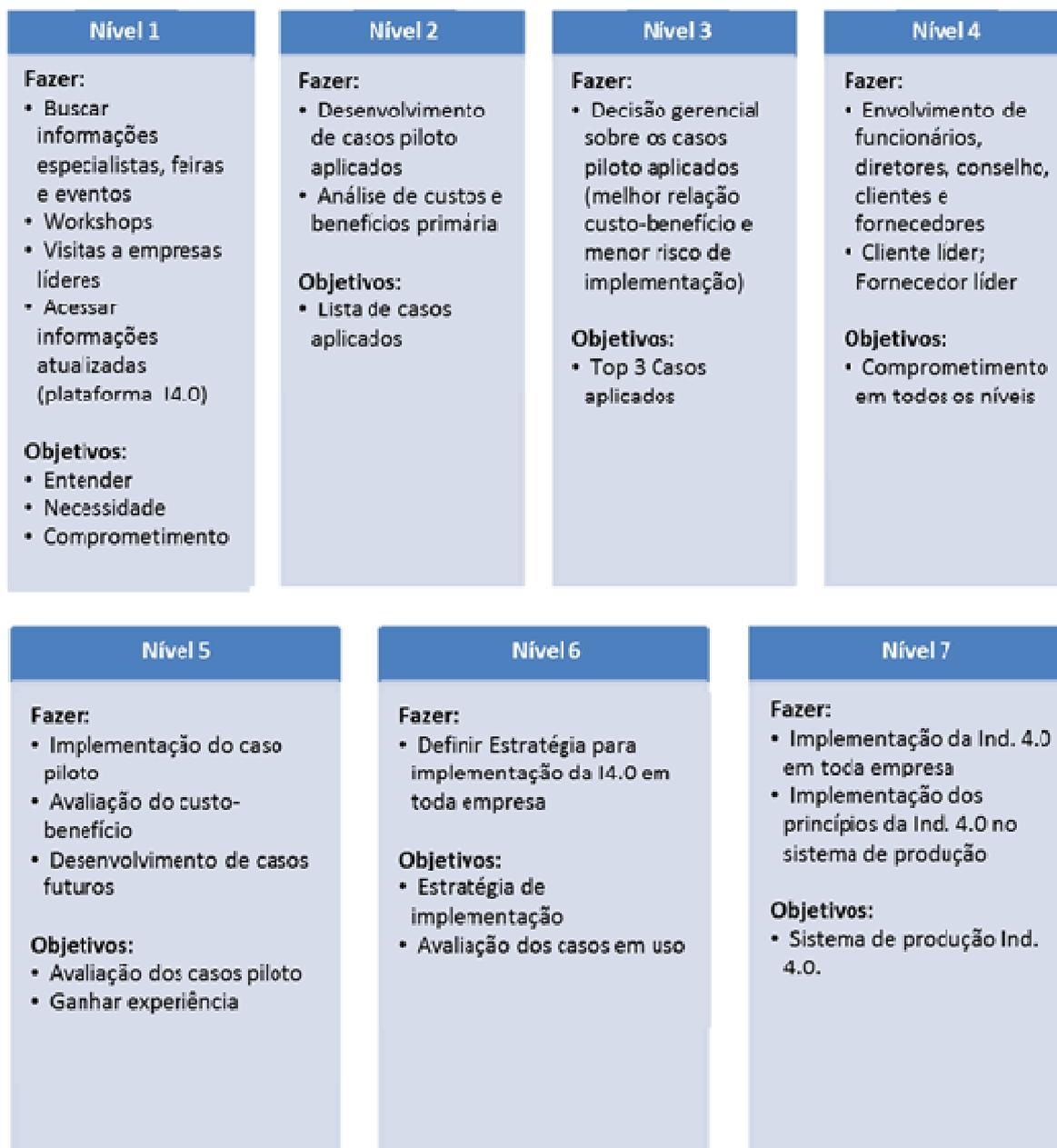


Figura 9: Avaliação preliminar em relação a Indústria 4.0

Este método também apresenta uma ferramenta pelo guia *Guideline Industrie 4.0* (VDMA, 2015) para avaliação e implementação dos elementos da Indústria 4.0 por meio de 5 fases, a seguir: i) Preparação; ii) Análise; iii) Criatividade; iv) Avaliação; v) Implementação, com a realização de *workshops* e utilização de ferramentas desenvolvidas para tal.

Outra iniciativa abordada de caminho de implementação é apresentada no livro *Industrie 4.0 in Produktion, Automatisierung und Logistik - Anwendung · Technologien · Migration*, de BAUERNHANSLS et al (2014). Nesta abordagem os autores sugerem uma escala de 1 a 7 dos entrantes na Indústria 4.0, com ações e objetivos a cada passo a serem alcançados por meio de *workshops* com especialistas e visitas a empresas líderes nos processos a serem melhorados (BILDSTEIN & SEIDELMANN, 2014 apud SIROTEK, 2016) – Figura 10.



Todos estes modelos expostos abordam o tema da Indústria 4.0 sob a perspectiva de implantação das tecnologias digitais para revolucionar a forma de produzir, e toda sua cadeia de valor agregada criando oportunidades de ganhos de produtividade e, inclusive a criação de novos negócios. Porém, todas as técnicas abordadas tendem a tratar com superficialidade a avaliação dos custos envolvidos, os benefícios em termos de resultado econômico-financeiros – objetivo fim de qualquer empresa - o alinhamento estratégico da organização e a avaliação e aplicação em termos de fluxo de valor ou mecanismo da Função-Processo, potencializando seu real valor agregado à empresa.

Desta forma, é apresentado as seguir a Fundamentação Teórica para conectar os elementos e processos de implantação da Indústria 4.0 à função básica da engenharia da produção – potencializar o resultado econômico-financeiro, e assim agregar este elo perdido ao tema e adaptando-o às condições industriais brasileiras, sendo este o tema desta dissertação.

### **2.3 Gestão da Produção Clássica e a Indústria 4.0**

Sheer (2015) cita que, embora a Indústria 4.0 seja impulsionada por novas tecnologias de produção, os conceitos centrais da organização e dos Sistemas de Produção continuam importantes. Apesar de técnicas avançadas de automação industrial, a gestão da produção enxuta, a formação de equipes de trabalho e o emocional dos empregados continuam a se constituírem em Fatores Chave de Sucesso (FCS). O objetivo da Indústria 4.0 não é uma fábrica desprovida de pessoas, mas a utilização das tecnologias de informação adicionadas às formas clássicas de gestão da organização centrada em pessoas.

Apesar da popularidade de ambos os temas – Indústria 4.0 e STP – existem poucos estudos que fazem uma análise das relações entre eles de maneira contundente e agregadora. Em sua maioria abordam o tema STP de forma simplificada pelo viés Ocidental, especialmente americano, do *Just-in-time* e *Lean Manufacturing* (ANTUNES et al, 2008). A título de exemplo pode-se citar os seguintes artigos e abordagens:

- O artigo *Industry 4.0 the End Lean Management*, MARTINEZ et al (2016) questiona se o movimento da Indústria 4.0 vem a substituir o STP, apresentando fraca correlação entre os artigos de Industria 4.0 e Lean.
- O artigo *Industry 4.0 Implies Lean Manufacturing: Research Activities in Industry 4.0 Function as Enablers for Lean Manufacturing*, SANDERS et al (2016) aborda as novas tecnologias digitais como soluções de descomplicação de entraves para a implementação do STP.
- *Industry 4.0 and Lean Management – Synergy or Contradiction?* SANDERS et al (2017); *Lean Automation enabled by Industry 4.0 Technologies*, KOLBERG & ZUHLKE (2015) apresentam a Indústria 4.0 como possível solução para limitação do STP em situações onde tem-se produtos de vida curta ou demandas unitárias de mercados futuros.

- *Systems Integration in the Lean Manufacturing Systems Value Chain to Meet Industry 4.0 Requirements*, DHO et al (2016); *Lean Six Sigma Approach for Global Supply Chain Management using Industry 4.0 and IoT*, JAYARAM (2016); *Lean and Industry 4.0 — Twins, Partners, or Contenders? A Due Clarification Regarding the Supposed Clash of Two Production Systems*, Rüttimann & Stöckli (2016), mostram as relações existentes entre os temas, mas com uma abordagem superficial dos pressupostos do STP.

Estas abordagens não tratam em profundidade as raízes dos princípios STP. Tendem a abordar superficialmente o *Just-in-time* e o *Lean Manufacturing*, sem estudo profundo dos autores seminais do tema. As raízes do STP remontam dos autores Taiichi OHNO (1996, 1997) e Shigeo SHINGO (1996) e podem ser aplicados independentemente do sistema e tecnologia de manufatura empregado, seja na realidade de uma unidade de manufatura de hambúrgueres ou no chão de fábrica de carros de alta tecnologia. Entende-se que uma análise das tecnologias da I4.0 frente aos princípios do STP, considerados como a base de gestão de um sistema de produção, é relevante para a construção dos sistemas de produção competitivos.

Conforme Tortorella e Fettermann (2017), o *Lean Manufacturing* e a Indústria 4.0 estão relacionados diretamente e independentemente do tamanho da empresa, conforme ampla pesquisa realizada com 110 indústrias de diferentes tamanhos e setores. Mostrando, desta forma, que os sistemas se complementam, e não competem entre si.

A evolução histórica da manufatura pode ser traçada em duas linhas de análise, com ampla influência e inter-relação, mas de natureza independentes: a linha da tecnologia das máquinas, energia aplicada, produtos e soluções de comunicação e a linha da tecnologia da organização, gestão e administração. A primeira pode ser denominada de tecnologia física e a segunda de tecnologia social. As revoluções tecnológicas físicas alavancaram e continuam contribuindo para o aumento da produtividade através das conhecidas quatro revoluções industriais. Em paralelo, a evolução administrativa, seguiu seu próprio caminho contribuindo também diretamente para o aumento da produtividade através de uma nova ciência - a Engenharia de Produção. Ambas impactaram o mundo industrial, com ganhos de produtividade que baratearam produtos e serviços melhorando as condições de vida da humanidade instigando a competição empresarial e geopolítica – Quadro 1.

		TECNOLOGIA	
		TECNOLOGIA FÍSICA	TECNOLOGIA SOCIAL
FINAL SÉCULO XVIII	PRIMEIRA REVOLUÇÃO INDUSTRIAL  Emprego da Energia da Água e Vapor  Teares Ingleses, 1784	ADAM SMITH (1776)  A Riqueza das Nações  Divisão do Trabalho	
FINAL SÉCULO XIX	SEGUNDA REVOLUÇÃO INDUSTRIAL  Emprego da Energia Elétrica  Primeira Linha de Produção: Abatedouro Cincinnati, 1870	TAYLOR (1899), Administração Científica FORD (1913), Produção em Massa TECNOLOGIA ADMINISTRAÇÃO DA PRODUÇÃO: Engenharia da Produção OHNO (1921), Automação e JIT - STP SHINGO (1945), Mecanismo da Função Produção - STP	
FINAL SÉCULO XX	TERCEIRA REVOLUÇÃO INDUSTRIAL  Emprego da Eletrônica e da Tecnologia da Informação  Primeiro Controlador Lógico Programável - CLP: Modicon 1969	Formalização do Sistema Toyota da Produção  GOLDRAT (1984) - Teoria das Restrições (TOC)  Modularização Sistema Hyundai de Produção - SHP - (1988)	
INÍCIO SÉCULO XXI	QUARTA REVOLUÇÃO INDUSTRIAL  Emprego de Tecnologias Digitais: IOT, CPS, BDA	Continuidade do: STP  TOC  MODULARIZAÇÃO	

Fonte: Elaborado pelo Autor

### Quadro 1 – Linha Histórica da Indústria: Tecnologia Física X Tecnologia Social

A Indústria 4.0, constitui-se uma revolução no âmbito da tecnologia física, que se puramente aplicada sem suporte e adição da tecnologia da engenharia da produção, tendem a trazer benefícios marginais para competitividade da empresa.

Já uma abordagem colaborativa entre a tecnologia física e tecnologia social, com os elementos habilitadores da I4.0 somados à Engenharia da Produção com maturidade conceitual nos princípios do STP, tende a extrapolar os benefícios com ganhos substanciais na ótica do desempenho econômico-financeiro da empresa.

Desta forma, os elementos do STP continuam sendo mais do que nunca considerados base importante para a concepção e criação dos sistemas de produção.

### 2.3.1 Os Princípios Gerais nos Sistemas de Produção

Na sequência serão apresentados os princípios de projeto de Sistemas Produtivos (ANTUNES, 1998):

#### **Princípio 1 – Diferenciando e Inter-Relacionando os Sistemas de Manufatura e de Produção**

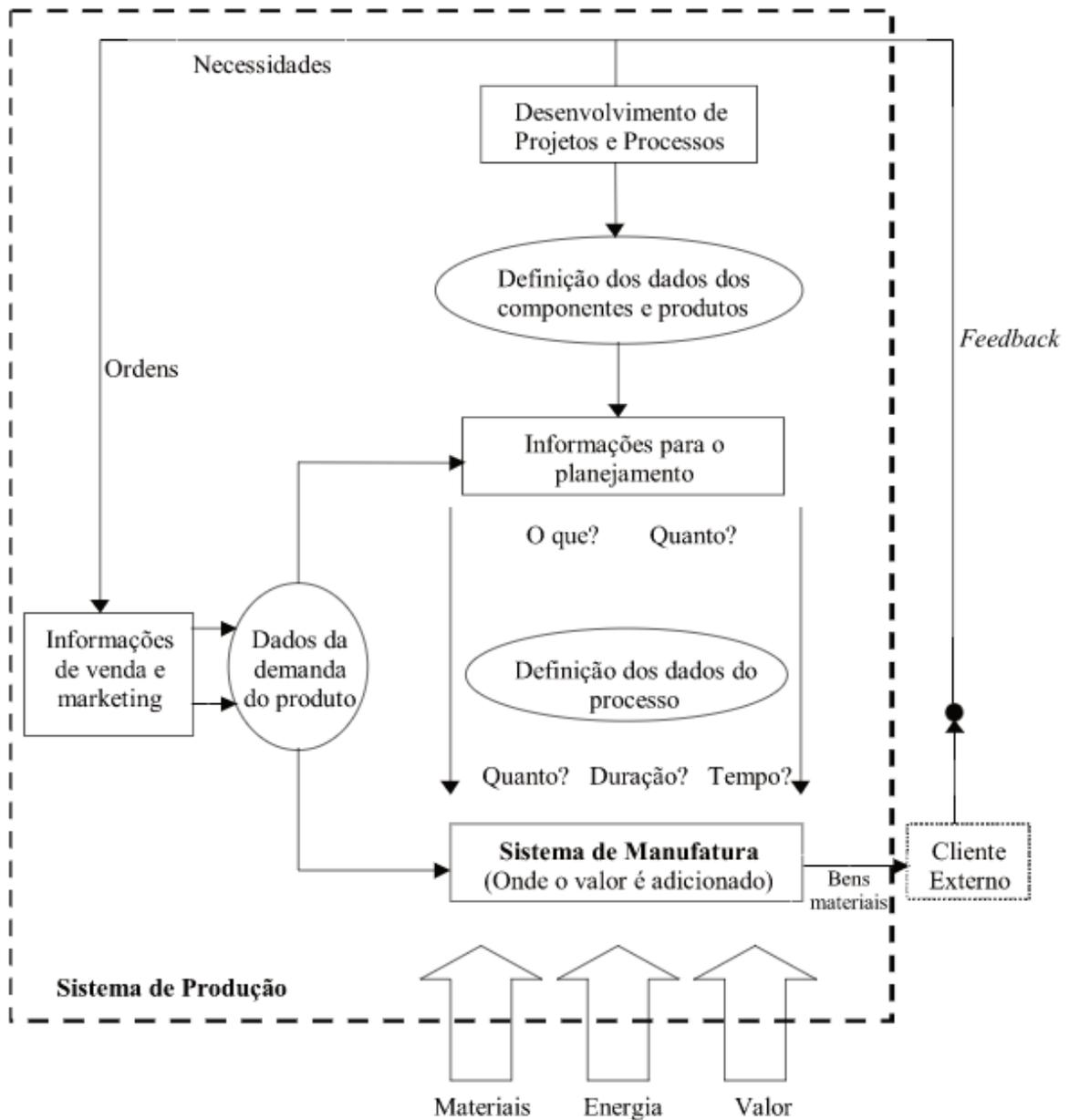
De forma geral, pode-se dizer que um **Sistema de Manufatura** recebe um **conjunto de entradas** (materiais, informações e energia) a partir das quais os **materiais** serão fisicamente processados e adquirirão valor adicionado via a utilização de um conjunto de **elementos complexos** (máquinas e pessoas), o que resultará como **saída produtos acabados** destinados diretamente aos consumidores ou **bens semi-acabados** que serão utilizados pelos clientes para fabricar outros produtos acabados (BLACK, 1998). Portanto os Sistemas de Manufatura relacionam-se, portanto, com o processo físico de produção em si. Objetivamente pode-se dizer que os Sistemas de Manufatura 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 componente intermediário a uma condição final de produto acabado ou componente final. O ponto central consiste em perceber que no sistema de manufatura é necessário identificar as chamadas tecnologias básicas (ou tecnologias de manufatura 'intrínsecas') que determinam 'como' os produtos são feitos/elaborados, ou seja "...as condições de manufatura necessárias para produzir um produto específico" (SHINGO, 1996b, p. 33). Sendo assim, da ótica dos sistemas de manufatura é totalmente distinto e diferente de produzir pizzas, automóveis, aviões ou móveis, uma vez que os fatores técnicos que são necessários para estabelecer a forma de manufatura recomendável são específicas e totalmente distintas. De um lado para as pizzas, tecnologias alimentícias, de outro para a produção de automóveis tecnologias intrínsecas de usinagem, forjamento, fundição,

soldagem etc... (SHINGO, 1996). O mesmo não ocorre na ótica dos sistemas de produção onde produzir pizzas segue uma lógica que é exatamente a mesma que produzir automóveis.

Do ponto-de-vista dos **Sistemas de Produção** são efetivadas ações no sentido do **planejamento e controle do fluxo global de produção**. As funções de planejamento e controle do fluxo global da produção, que ocorrem no âmbito dos Sistemas de Produção, são críticas para o bom desempenho dos sistemas de manufatura.

A partir das discussões acima, pode-se observar que os Sistemas de Produção foram construídos com o objetivo de suportar e apoiar de forma efetiva o funcionamento dos sistemas de manufatura (BLACK, 1998).

A Figura 11 explicita as principais relações entre os Sistemas de Manufatura e Produção.



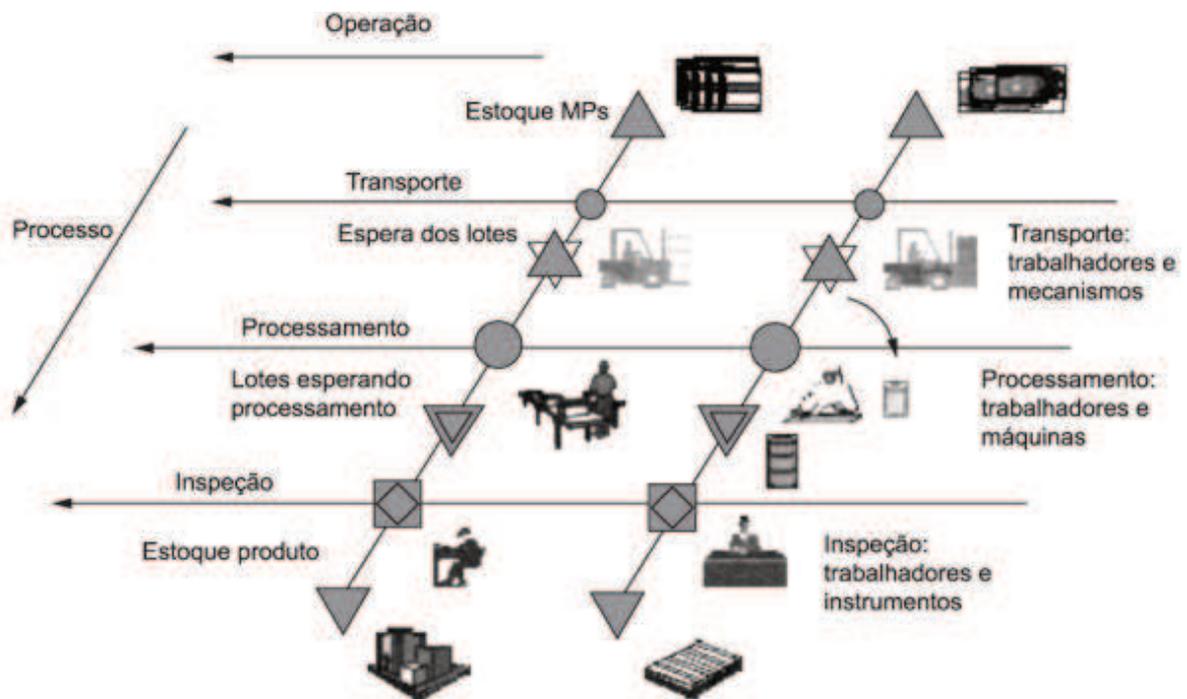
Fonte: Black (1998)

Figura 11: Relação entre o Sistema de Manufatura e o Sistema de Produção

No que tange aos Sistemas de Produção, a preocupação consiste em planejar e controlar, via uma correta gestão das informações, o fluxo físico. De outra parte, a constante interação entre os Sistema de Manufatura e o Sistemas de Produção é essencial para que o desempenho da Empresa atinja os resultados projetados. É o que será tratado em mais detalhes no princípio 2 exposto a seguir.

## PRINCÍPIO 2 – COMPREENDENDO O ELEMENTO INVARIANTE: A ESTRUTURA GERAL DOS SISTEMAS DE PRODUÇÃO – FUNÇÃO PROCESSO E FUNÇÃO OPERAÇÃO

Para compreender em detalhes e de forma aprofundada o funcionamento dos sistemas de produção é essencial adotar o referencial analítico proposto por Shigeo Shingo em 1945, intitulado de **Mecanismo da Função Produção – MFP** que representa a **Estrutura Geral dos Sistemas de Produção** (ANTUNES, 1994). Segundo Shingo (1996) qualquer Sistema Produtivo pode ser compreendido como uma rede funcional de processos e operações. Sendo assim o Sistema Toyota de Produção não se constitui em uma exceção - Figura 12.



Fonte: Shingo (1996)

Figura 12 - Estrutura da Produção

O ponto de partida para a compreensão do chamado Mecanismo da Função Produção consiste em estabelecer uma clara diferenciação entre a **Função-Processo** e **Função-Operação**.

A **Função-Processo** consiste conceitualmente em observar o fluxo do objeto de trabalho (material, serviços ou mesmo ideias) no tempo e no espaço. A **Função-Operação** consiste, por outro lado, no acompanhamento do fluxo do sujeito do trabalho (Homens: Trabalho vivo; Máquinas: Trabalho morto) no tempo e no espaço.

Shingo utiliza-se dos conceitos desenvolvidos pelos Gilbreth's, porém sob um enfoque completamente novo, para propor um detalhamento dos elementos que constituem a Função Processo, apresentados a seguir: i) Processamento: transformação dos materiais (Ex.: usinagem, pintura, fusão), caracterizado por mudanças na qualidade intrínseca do objeto de trabalho; ii) Inspeção: significa a comparação do objeto de trabalho contra um determinado padrão pré-estabelecido; iii) Transporte: implica na modificação da posição ou de localização do objeto de trabalho; iv) Estocagem ou Espera: nesta definição observa-se que o objeto de trabalho está em uma situação de espera (ou de estoque) sempre que ele não estiver sendo transportado, processado ou inspecionado.

O **estudo das esperas** é fundamental na lógica do STP, porque as esperas acarretam em uma série de conseqüências problemáticas na Fábrica como: longos tempos de atravessamento (*Lead Time*) e o aumento do nível de defeitos e retrabalhos. Desta forma, o processo de estocagem pode ser subdividido em 4 categorias: esperas do processo, espera do lote, espera ou estocagem de matérias-primas e espera ou estocagem dos produtos acabados. A discussão crítica destas esperas é importante para compreender o desenvolvimento histórico e teórico do Sistema Toyota de Produção em particular e dos conceitos gerais de Estrutura de Produção propostos por Shingo, em 1945.

Inicialmente, é preciso esclarecer a diferença entre as esperas do lote e esperas do processo. A espera do processo implica que um lote inteiro está em situação de espera, enquanto o(s) lote(s) que se segue(m) está(ão) sendo processado(s), inspecionado(s) ou transportado(s). Ou seja, todo o lote está aguardando o(s) próximo(s) processo(s) ser(em) completado(s). A espera do lote relaciona-se com o fato de que uma dada peça do lote está sendo processada, inspecionada ou movimentada enquanto as demais peças do mesmo lote estão em condição de espera. O ataque sistemático às esperas do processo implica na utilização de métodos geralmente associadas ao Planejamento, Programação e Controle da Produção e Materiais (PPPCM) de forma particular e à lógica de

sincronização da produção de forma mais geral. A melhoria das esperas do lote implica na necessidade da utilização de métodos que modifiquem a realidade física da Fábrica tais como: Troca Rápida de Ferramentas (TRF) e o *Layout* celular.

Enquanto a trajetória de desenvolvimento dos EUA no pós-guerra privilegiou as melhorias ligadas à espera do processo (por exemplo, via o desenvolvimento das ferramentas computacionais do tipo MRP/MRP II) os japoneses criaram métodos que privilegiaram uma atuação conjunta na melhoria das esperas do lote (por exemplo, através do desenvolvimento do método da Troca Rápida de Ferramentas) e das esperas do processo (por exemplo, através da adoção do rótulo *KANBAN*). Ou seja, o caminho da eliminação sistemática da espera do lote implica em uma racionalização ampla do fluxo físico na Fábrica o que facilita diretamente a montagem do fluxo de informações e, no futuro, via simplificação global de toda a Fábrica, o processo de Automação global da mesma. Os elementos da Indústria 4.0 são essenciais na observação deste contexto geral.

A existência de estoques de produtos acabados deve ser claramente entendida. Por que existe a necessidade de constituição de produtos acabados na Fábrica? A explicação relaciona-se com o estudo da relação entre o chamado Ciclo de Produção - P e o chamado intervalo admissível pelo comprador ou o chamado Ciclo de Entrega - E (SHINGO, 1996). Por exemplo, supondo que o Ciclo de Produção de uma dada Fábrica A seja de 30 dias e o Ciclo de Entrega seja de 10 dias, torna-se inevitável a constituição de estoques ou não será possível atender a demanda dos clientes dentro do prazo estabelecido. Se o Ciclo de Produção desta Fábrica for reduzido drasticamente para 5 dias, não haverá a necessidade de constituição de estoques de Produtos Acabados. Portanto, de forma genérica pode-se dizer que:

a) Se  $P > E$  existirá a necessidade de constituição de Estoques de Produtos Acabados;

b) Se  $P < E$  não existirá a necessidade de constituição de Estoques de Produtos Acabados.

Sendo assim, duas alternativas são genericamente passíveis de serem utilizadas na prática objetivando a eliminação dos Estoques de Produtos Acabados: a redução do Ciclo de Produção - P e o incremento do Ciclo de Entrega - E. Na prática atual do mercado torna-se quase inviável (exceto no caso de empresas monopolistas) a segunda alternativa uma vez que as dimensões competitivas tempo

de atendimento e cumprimento dos prazos torna-se cada vez mais importante. O acirramento da competição, por outro lado, tem levado a uma situação onde os Ciclos de Entrega – E - vêm tornando-se cada vez menores. A alternativa adotada pela Toyota constituiu-se exatamente em buscar radicalmente a alternativa de reduzir os Ciclos de Entrega de seus produtos.

Porém de que dependem estes Ciclos de Entrega (ou tempos de atravessamento globais dos produtos)? Precisamente da existência das chamadas esperas do lote e das esperas do processo. De forma mais significativa das esperas do lote, dado que com elevados tempos de preparação torna-se necessário a produção em grandes lotes e, por consequência, os tempos de atravessamento serão altos. O ataque a estas esperas internas na Fábrica torna-se então essenciais para a eliminação (ou minimização dos estoques) nas Empresas.

E os estoques de matérias-primas, assunto essencial para a Toyota devido a sua ampla política de desenvolvimento de fornecedores? Neste caso, o desenvolvimento do STP seguiu a mesma lógica da relação entre E e P. A Toyota adotou uma firme lógica de desenvolvimento de fornecedores adotando Ciclos de Entrega próximos de zero (E muito pequeno), ou seja, adotando a lógica da entrega do tipo *Just-In-Time*. Para os fornecedores da Toyota duas alternativas genéricas tornaram-se possíveis: assumir o custo financeiro dos estoques de produtos acabados em suas Fábricas devido ao fato que seus Ciclos de Produção - P eram maiores do que os Ciclos de Entrega - E propostos pela Toyota, ou trabalhar internamente na Fábrica com o objetivo de reduzir seus Ciclos de Entrega - E. A segunda alternativa implicava no fornecedor atacar suas esperas do lote e do processo. Da mesma forma, os fornecedores diretos da Toyota negociaram com seus fornecedores e, assim, o desenvolvimento da cadeia produtiva foi ocorrendo desde um ponto-de-vista prático.

Já na análise da Função Operação, Shingo adotou as proposições de Taylor que atacavam de forma geral esta problemática. As operações podem ser divididas em duas grandes linhas: as operações que se repetem regularmente e as operações que não se repetem regularmente.

Entre as operações que se repetem regularmente encontram-se:

a) Aquelas que se relacionam com a produção de uma única peça, ou seja, estão ligadas à produtividade horária da máquina (alimentação/desalimentação de matérias primas, ligar/desligar máquinas, operação propriamente dita);

b) Aquelas que se relacionam com a produção de um lote (a lógica do Tempo de Preparação).

É preciso observar que as operações que se repetem regularmente podem ser padronizadas e calculadas. Entre as operações que não se repetem regularmente encontram-se:

- a) Folgas ligadas ao pessoal (folgas físicas e higiênicas);
- b) Folgas não ligadas ao pessoal (ex. Lubrificação, parada de máquinas, etc).

Estas operações podem ser calculadas, por exemplo via a utilização de procedimentos estatísticos, mas não podem ser padronizadas.

De outra parte, toda a lógica da disciplina ergonomia, ou seja, a análise da relação homem/máquina, será discutido de um ponto-de-vista sistêmico no STP a partir da Função-Operação.

De forma sucinta pode-se dizer que o MFP:

a) Constitui-se em um elemento invariante de análise dado que todas as produções podem ser compreendidas como uma **rede funcional de processos e operações** (SHINGO, 1996);

b) Shingo responde de forma conclusiva à pergunta: 'Quais melhorias são mais importantes e prioritárias: aquelas associadas à Função-Processo ou aquelas associadas à Função-Operação?' A resposta pragmática é que as melhorias que devem ser priorizadas nos Sistemas Produtivos devem privilegiar as melhorias baseadas na Função-Processo.

O ponto que segue consiste em mensurar se as melhorias nos sistemas produtivos realmente ocorrem. Para isto 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 e, em termos tático-operacionais, o rebatimento dos aspectos econômicos-financeiros para a construção de sólidos sistemas de indicadores de desempenho econômico-financeiros das empresas.

### **PRINCÍPIO 3 – DA ENGENHARIA DE PRODUÇÃO LUCRATIVA (MOKERU) AO SISTEMA DE INDICADORES PROPOSTOS POR ELYAHU M. GOLDRATT**

O projeto de sistema produtivos tem por objetivo “a contínua elaboração de soluções para o problema básico da combinação dos fatores de produção” (ZILBOVICIUS, 1999, p.35). Este tema remete a questão da inter-relação entre os aspectos econômico-financeiros e técnicos nos sistemas empresariais e produtivos. É precisamente neste ponto que aparece um ponto muito importante colocado por Taiichi Ohno quando coloca o tema central da Engenharia de Produção Lucrativa/Mokeru (OHNO, 1996).

Taiichi Ohno, em seu livro ‘O Sistema Toyota de Produção – Além da Produção em Larga Escala’ (Editora Bookman, 1997), utilizando uma abordagem socrática, faz a seguinte pergunta: “Qual a diferença entre a Engenharia de Produção tradicional (taylorista/fordista) e o Sistema Toyota?”. A resposta fornecida pelo próprio autor é de que a Toyota adota a noção de Engenharia de Produção Lucrativa (Moreku) dado que “... a não ser que a Engenharia de Produção resulte em redução de custos e aumento de lucros, eu acho que ela não tem sentido nenhum”.

O conceito proposto é fundamental para o projeto de sistemas produtivos sustentáveis do prisma da competitividade, por várias razões que serão brevemente expostas na sequência. Em primeiro lugar a necessidade de compreender que o objetivo/meta do Sistema Toyota de Produção, em sua forma original, está totalmente voltado a alcançar eficazes resultados econômico-financeiros. Em segundo lugar, que a montagem técnico-gerencial dos sistemas de produção deve levar em conta em todos os casos, com total prioridade e foco, o tema que pode-se intitular de ‘economia da firma’. Isto implica em compreender que não existem soluções de projeto de sistemas de produção únicos e universais na medida em que os custos relativos dos fatores de produção (matéria prima, trabalho, capital) são substancialmente distintos nos diferentes mercados (existem tanto diferenças regionais - que tendem a ser menores - como entre países, que tendem a ser muito mais significativas).

O ponto aqui é ressaltar que Taiichi Ohno (e o Sistema Toyota de Produção em sua versão seminal de concepção e implantação) necessita ser ‘lido’ e ‘relido’ a partir da ótica de Engenharia de Produção Lucrativa (Moreku). Toma-se duas questões, a partir de uma perspectiva socrática, para exemplificar os

argumentos aqui expostos: a) teria sentido uma aplicação do Sistema Toyota de Produção nas empresas brasileiras hoje a partir da noção central da chamada Força Minimizada de Trabalho (FMT), ou seja, tendo foco principal a minimização das pessoas para a implantação do STP? b) Por que no livro 'O Sistema Toyota de Produção – Além da Produção em Larga Escala' (Editora Bookman, 1997), não existem referências a utilização do chamado OEE – *Overall Efficiency Equipment* (Índice de Rendimento Operacional Global – IROG) medidor central da abordagem do TPM? Só é possível compreender e responder, na necessária profundidade, as questões expostas acima se olharmos os aspectos objetivos relativos à 'microeconomia da firma', neste caso especificamente para os custos relativos dos fatores de produção trabalho e capital no período e contexto específico de implantação do STP no Japão. Ocorre que na época, como postula Shingeo Shingo em seu livro 'Sistema Toyota de Produção – Do Ponto-De-Vista da Engenharia de Produção' (Editora Bookman, 1996), o custo-hora das pessoas era aproximadamente cinco vezes maior do que a depreciação horária dos equipamentos. Ora, diante deste cenário econômico, o fator restritivo principal a ser considerado para o projeto de melhoria no sistema produtivo está associado ao trabalho (custo das pessoas) e não o das máquinas (custo-horário relativamente mais baixo). Sendo assim, nada mais lógico de que o projeto do sistema produtivo da Toyota à época pudesse considerar eventualmente, inclusive, investimentos adicionais de máquinas, mas não das pessoas (fator de produção restritivo e proporcionalmente muito mais 'caro'). Isto teria sentido no Brasil de hoje, por exemplo, nas empresas que atuam no setor metalmeccânico? Por evidente se comparado com o Japão (ou países como os EUA e a Alemanha), como os custos relativos das máquinas é alto no Brasil em relação às pessoas (variando entre a relação máquinas/pessoas de 1:1 ou 1:2 é essencial que tenhamos os nossos ativos atuando com elevada eficiência (particularmente nos gargalos produtivos). Sendo assim, se Ohno estivesse vivo hoje no Brasil, certamente não iria abandonar a noção da Força Minimizada de Trabalho (uma vez que a racionalização da utilização da Força de Trabalho é relevante em todos os casos), mas daria atenção especial para o tema da máxima utilização dos ativos fixos (através da implantação, controle e melhorias do OEE), em particular as máquinas, existentes nas empresas (levando em consideração o elevado custo relativo dos mesmos em muitas empresas brasileiras). Ou seja, o STP necessita ser percebido de maneira dinâmica, dado que

as ações necessárias, da ótica da Engenharia de Produção Lucrativa, envolvem a noção de 'alvo móvel' - tendo em conta a dinâmica de alteração dos custos relativos dos fatores de produção ao longo do tempo e do espaço.

O ponto de síntese aqui é que o conceito de Engenharia de Produção Moreku sugere a ideia de 'evitar' sistematicamente a adoção de soluções 'prontas' e 'universais' - e de partir da ideia que existem método e técnicas 'milagrosas' que 'resolvem todos os problemas' - para todas as empresas em qualquer momento do tempo. A ideia perseguida 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); ii) verificar o amplo conjunto de possibilidade que se abre para o projeto, implantação e operacionalização de sistemas de produção quando os custos dos fatores de produção, derivados em um número relevante de casos de alterações radicais de tecnologias de produtos e processos. É o caso atualmente das enormes possibilidades que se abrem através dos elementos habilitadores da chamada Indústria 4.0.

Do ponto-de-vista pragmático uma abordagem relevante para a análise econômico-financeira das empresas é a da Teoria Das Restrições. Goldratt discute e sustenta suas posições sobre os Indicadores de Desempenho nas obras: A Meta (1986), A Corrida (1989) e A Síndrome do Palheiro (1996). Inicialmente Goldratt propõe que as Empresas devem definir com clareza a meta global da organização como sendo a de 'ganhar dinheiro hoje e no futuro' (ALVAREZ, 1996). Posteriormente Goldratt ampliou sua visão da meta global das Empresas adicionando dois pontos: i) 'satisfazer os empregados hoje e no futuro'; ii) 'satisfazer os clientes hoje e no futuro' (ALVAREZ, 1996). Estes são visualizados como pressupostos básicos sem os quais torna-se impossível atingir a meta econômica de 'ganhar dinheiro hoje e no futuro'.

Para que seja possível atingir a meta da Empresa, Goldratt & Cox (1986) e Goldratt & Fox (1989) propõem três indicadores que possibilitam medir o alcance da meta. Estes medidores são: i) Lucro Líquido (medidor absoluto); ii) Retorno Sobre o Investimento (medidor relativo); iii) Fluxo de Caixa (medidor de sobrevivência, ou seja, uma condição necessária para o alcance da meta). Estes indicadores globais são usuais da ótica da alta direção das empresas. No entanto, uma pergunta

importante consiste em saber como as ações concretas do dia-a-dia na Empresa podem ser ligadas conceitualmente com estes Indicadores Globais?

É precisamente neste sentido que Goldratt & Cox (1986) e Goldratt & Fox (1989) propõem na sua Teoria das Restrições três Indicadores gerais Globais de Performance que são: i) Ganho; ii) Inventário; iii) Despesas Operacionais.

O Ganho pode ser calculado subtraindo-se as matérias primas do preço dos produtos. É preciso distinguir claramente os conceitos de Ganho (*Throughput*) e Saídas (*Output*) nos Sistemas Produtivos. Por exemplo, supondo-se que uma Empresa fabrique 1000 artigos e que, da quantidade produzida, apenas 700 sejam vendidos. Neste caso, embora a saída física do sistema seja de 1000 produtos, apenas 700 artigos geraram Ganho e sendo que os outros 300 produtos serão considerados, enquanto não forem vendidos, como Inventário. Neste contexto a definição de Inventário proposta por Goldratt é a seguinte: “todo o dinheiro que o sistema investe na compra de coisas que o sistema pretende vender” (GOLDRATT & FOX 1989, p. 29). Aqui torna-se necessário uma discussão detalhada, dado que este conceito difere da proposição usual da Contabilidade de Custos tradicional. No Inventário estão considerados, por exemplo as máquinas, que na Contabilidade de Custos tradicional têm outro tipo de tratamento. As máquinas são consideradas Inventários porque são necessárias para o sistema vender os produtos no mercado. Um produto que está armazenado no depósito de artigos acabados, quando não vendido constitui-se em um inventário, transformando-se em Ganho no momento da realização da venda. Assim, como os produtos acabados podem ser vendidos, as máquinas também podem ser vendidas. Importante perceber que nenhum tipo de overhead é considerado como sendo Inventário. Finalmente, Goldratt & Fox definem Despesas Operacionais como “todo o dinheiro que o sistema gasta para transformar inventário em ganho” (GOLDRATT & FOX 1989, p. 29). Neste sentido, todos os *overheads* bem como todo o trabalho direto e indireto são considerados Despesas Operacionais.

A partir da exposição feita acima, é possível conceituar mais especificamente Lucro Líquido e Retorno Sobre o Investimento. O Lucro Líquido, será obtido subtraindo-se as Despesas Operacionais dos Ganhos. O Retorno Sobre o Investimento será obtido pela divisão do Lucro pelo Inventário (GOLDRATT & FOX, 1989).

## **PRINCÍPIO 4 – COMPREENDENDO DINAMICAMENTE O COMPORTAMENTO DA ESTRUTURA DOS SISTEMAS DE PRODUÇÃO: O NERVO AUTONÔMICO DA ORGANIZAÇÃO**

Taichi Ohno, em seu livro intitulado Sistema Toyota de Produção – Além da Produção em Larga Escala, 1997, apresenta um capítulo dedicado ao sistema autônomo de produção - Desenvolvimento Ulterior, Um Sistema Nervoso Autônomo na Organização Empresarial. Ohno compara o sistema de uma empresa ao sistema biológico humano, em que determinadas reações às adversidades ou mudanças de plano, dentro de um limite, devam ser imediatamente respondidas sem ser analisadas pelo cérebro. Neste sentido o corpo humano é composto por nervos autônomos que funcionam de forma independente à vontade humana, e nervos motores que são comandados pelo cérebro. Ele compara em seu trabalho, a resposta dos nervos autônomos que por exemplo fazem a mão se afastar automaticamente ao tocar uma superfície quente, que é imediata e auto responsiva sem perda de tempo de análise racional dos fatos, à resposta da variação da produção dentro de limites racionais pré-estabelecidos, sem a análise e definição do Departamento de Planejamento, Programação e Controle da Produção e Materiais (PPCPM). A ideia básica consiste em projetar o PPCPM de tal forma que a estrutura de produção possa oferecer uma resposta rápida, ágil e sobretudo propondo uma redefinição suave de ações devido às variações internas ou externas da empresa, com estas decisões sendo tomadas no seu nível mais baixo possível, junto ao chão de fábrica, sem elevar esta tarefa à níveis departamentais. Assim decisões de sintonia fina da variação do programa, de que peça é necessário produzir, qual quantidade e se necessita de horas extras para buscar um atraso, são rapidamente tomadas com informação clara a todos. Nesta comparação, ele relata que o PPCPM é a coluna cerebral da empresa e se todas as ações, pequenas ou grandes, necessitarem de sua análise e avaliação, a empresa perde tempo e flexibilidade para as reações necessárias. Apresentando esta correlação, Ohno conclui que este sistema nervoso, tão necessário quanto maior for a empresa, pode ser implementado através dos dois pilares do sistema Toyota de Produção: Just in Time e Automação. Particularmente relevante neste conceito foi a adoção do método *Kanban* em toda a empresa.

Ohno (1997) apresenta que a Toyota trabalha com Plano anual de produção de veículos, distribuído a todas as linhas internas e enviado às filiais, como base do planejamento de recursos necessários. A Programação mensal é realizada em seguida com detalhamento dos tipos e quantidades de carros a serem produzidas e distribuído internamente, gerando o *heijunka* com o objetivo de nivelar a sequência e quantidade de produção. A seguir a sequência diária de produção é enviada somente a montagem final, de forma a ‘puxar’ a produção de toda a cadeia de acordo com a demanda do cliente final. Variações da demanda dentro da programação e as restrições internas de eficiência são gerenciadas pelos nervos autônômicos da empresa ferramentados como *kanbans* - cartões de sinal entre os processos que permitem os ajustes finos da produção, de acordo com a variação da demanda do mercado final. Se não existissem, e a produção seguisse um plano rígido, com o passar do tempo este plano sofreria consideráveis reprogramações para o atendimento de uma demanda totalmente diferente da projetada. Além disso, impactos maiores poderiam acontecer, como por exemplo, o corte da produção e a ociosidade de recursos e a consequente dilapidação da estrutura empresarial como demissões e encerramentos de linhas ou fábricas. Importante perceber a necessidade de um excelente planejamento, no caso do STP o *heijunka*, para permitir uma eficaz programação e controle autônomo da produção, executado no âmbito do método *kaizen*, de melhoria contínua.

Ressalta-se que, naquela época, Ohno considerava o computador como uma ferramenta importante para o cálculo de sincronia e a quantidade de peças a serem produzidas para o atendimento da demanda. Porém, ele considerava um desperdício o excesso de informação fornecido à produção, ressaltando que as informações deveriam chegar no tempo adequado à produção para evitar a ‘perda’ combatida pelo *Just-in-Time* (JIT), que prega a forma de entregar à linha de produção exatamente o que ela necessita e na hora que necessita, sem estoques intermediários e superprodução.

Hoje, o processo autônomo da empresa citado por Ohno, pode ser potencializado com advento da evolução das tecnologias digitais da Indústria 4.0, sem cair no erro do desperdício de excesso de informação amparada pelo pilar JIT. Esta possibilidade pode ser alavancada fazendo-se uso do nível de inteligência conferido aos produtos, máquinas e processos, através da IOT criando redes de CPS com a informação necessária gerenciada pelo BDA.

O importante é que os pilares JIT e Automação e o conceito de Sistema Autônomo na produção continuam como base de implementação de um Sistema de Produção focado na eliminação de desperdícios, porém com os processos de Planejamento, Programação e Controle mais precisos e instantâneos, aumentando a rapidez na troca de informações para respostas autônomas mais rápidas e precisas.

O Planejamento sofre influência direta da demanda e suas variações a níveis de tempo ao limite zero - instantâneo, uma vez que podemos adaptar o processo de produção como matéria prima, máquinas e operações de produção à demanda do produto de lote único a cada cenário de demanda consolidada, possibilitando o aumento do emprego da estratégia de manufatura por pedido, eliminando o supermercado de produto pronto aguardando o consumo efetivo.

A Programação sofre variação e ajustes finos, de forma autônoma, de acordo com as informações internas dos *kanbans* digitais, com monitoramento não somente dos supermercados entre linhas, mas também da situação de cada produto em cada estação ou máquina elevando o nível de decisão instantânea e descentralizada.

O Controle via de regra é diretamente otimizado retroalimentando a Programação de forma a redefinição de estratégia de atendimento da necessidade demandada, devido a eventuais modificações internas ou externas.

## **PRINCÍPIO 5 – DO CICLO PDCA DE DEMING AO CICLO DE SHINGO E SUAS IMPLICAÇÕES NOS SISTEMAS PRODUTIVOS**

Shingo, 1996 apresenta uma crítica ao ciclo de Deming para o controle da qualidade: i) Planejar; ii) Executar; iii) Verificar; iv) Agir. Este ciclo tem por objetivo básico melhorar o gerenciamento de maneira cíclica, passando repetidas vezes pelas quatro funções descritas. Porém o ciclo de Deming tende a não levar em consideração a necessidade de controle da execução. Assim, o ciclo de Deming pode ser conivente com o defeito, para que então seja tomada uma ação corretiva, via planejamento após sua verificação.

Shingo apresenta então um ciclo melhorado de quatro fases: i) Planejar; ii) Controlar; iii) Executar; iv) Verificar; v) Agir. Assim a fase de controle tem a importante lógica de evitar a peça ou produto com defeito, através do controle da

falha de processo e verificação e parada imediata para melhoria do processo e não o retrabalho ou sucateamento da peça com defeito. Somente desta forma é possível trabalhar para atingir a meta de zero defeito.

## 2.4 A Modularização e a Indústria 4.0

O conceito da Modularização surgiu na década de 1960 objetivando o desenvolvimento de arquiteturas destacáveis, possibilitando utilização em produtos diferentes (STARR, 1965). Mas a Modularização veio a ganhar mais força somente na década de 1990, na gestão de operações das aplicações industriais de computadores, e a partir daí na indústria automotiva como Ford, Fiat Volvo e Scania entre outras (SALVADOR, 2007).

O desenvolvimento de produtos modulares é uma solução aderente ao aumento da variedade de produtos e da redução do tamanho dos lotes de fabricação. Produtos modulares proporcionam percepção de valor agregado no cliente pela evolução conceitual ou tecnológica de um ou mais módulos do produto. Alterando um módulo do produto a engenharia e a manufatura tendem a sofrer um impacto menor, em relação a produtos de concepção integral, e entregam variedade valorizada pelo cliente (SGARABOTTO et al, 2016).

Produtos com ciclo de vida cada vez mais curtos, com aumento na variedade exigida pelo mercado exigem uma diferente concepção de produtos para redução do *time-to-market* e obtenção de economia de escala. A Modularização proporciona esta solução a partir do compartilhamento de módulos semelhantes entre os produtos da empresa (ALIZON et al, 2007; BI et al, 2001; BÖRJESSON, 2012; SGARABOTTO et al, 2016).

No final da década de 1990, a *Hyundai Motor Company*, diante de uma crise sem precedentes – crise Asiática, resolve desenvolver seu próprio sistema de produção para alavancar sua recuperação (HERRMANN et al, 2012). Conforme Saltiel e Nunes (2017), a *Hyundai Motor Company* priorizou e fomentou o investimento em automação do processo produtivo. Assim a Hyundai formou seu próprio Sistema de Produção, evoluído do STP adaptado à sua realidade com conceitos de Modularização e Automação.

Conceitos de mercado atuais e suas exigências que justificam a aplicação dos elementos habilitadores da Indústria 4.0, podem ser correlacionados diretamente

com as soluções propostas pela Modularização de produtos e processos como – aumento da variabilidade dos produtos em portfólio; redução dos lotes de produção; redução do *time-to-market*; curto ciclo de vida do produto e flexibilidade de atendimento de demanda com economia de escala. Desta forma tem-se na Modularização um conceito básico que facilita e suporta a aplicação de elementos tecnológicos da Quarta Revolução Industrial, potencializando melhores resultados econômico-financeiros quando aplicados em conjunto e sintonia.

Encerra-se desta forma a apresentação dos princípios de projeto de Sistemas Produtivos de acordo com a evolução da gestão da produção clássica ao longo do tempo e das soluções tecnológicas físicas apresentadas nas Revoluções Industriais. Portanto, independente da solução tecnológica física abordada pelo Sistema de Produção e Manufatura, estes princípios servem como base da gestão que busca otimizar os ganhos econômico-financeiros da companhia – objetivo fim da engenharia de produção.

Cabe detalhar e ressaltar neste ponto os pressupostos da lógica desta dissertação, na busca da solução para questão da pesquisa, apresentados a seguir:

- I. Visão de melhoria de fluxo – Mecanismo da Função-Processo, potencializando assim os potenciais ganhos no sistema de Produção;
- II. Melhoria focada nos indicadores de desempenho econômico-financeiros para ter a possibilidade de melhoria de desempenho dos processos – aplicação da Engenharia de Produção Lucrativa;
- III. Identificação dos habilitadores da Indústria 4.0 que potencializam a melhoria na Função-Processo e consequentemente nos indicadores econômico-financeiros;
- IV. Buscar uma aprendizagem processual, priorizando com os menores investimentos, a elaboração de um projeto piloto em uma célula de produção – menor divisão possível de um Sistema de Produção – representativo do DNA do STP;
- V. Buscar o máximo de autonomia do processo na solução desenvolvida (Autonomação). Buscando compreender, projetar e implantar soluções autônomas no âmbito da Função Processo de Produção, no nível mais básico da empresa - chão de fábrica. A partir dos elementos habilitadores da Indústria 4.0, esta função autônoma da produção é

potencializada para gerar respostas imediatas às situações de alteração da situação planejada, e gerar uma imediata reprogramação, dentro dos níveis de controle pré-estabelecidos, sem necessitar uma análise e decisão centralizada pelo departamento de PPCPM.

O próximo capítulo trata da metodologia utilizada para a elaboração do trabalho.

### 3 METODOLOGIA

O capítulo de Metodologia apresenta o método de pesquisa detalhado a ser utilizado para realização desta dissertação e o atingimento de seus objetivos expostos no capítulo introdutório. Desta forma, o capítulo começa com uma abordagem sintética sobre a pesquisa científica. Posteriormente, é exposto o método de pesquisa denominado *Desing Science Research* e suas características que são alinhadas ao tema desta dissertação. Por fim, é apresentado uma descrição detalhada do método de trabalho adotado para a realização da dissertação.

#### 3.1 Pesquisa Científica

O conhecimento humano pode ser classificado em diversos tipos como mítico, ordinário, artístico, filosófico, religioso e científico (KÖCHE, 1997). Os dois tipos que mais influenciam as decisões diárias do homem são o conhecimento do senso comum e o conhecimento científico. O conhecimento do senso comum, também conhecido como ordinário, comum ou empírico é utilizado para interpretações significativas do próprio homem, o mundo e o universo utilizado para soluções de problemas imediatos com caráter utilitarista com subjetividade e baixo poder de crítica e sem limites e laços de validade. O conhecimento científico busca o esclarecimento por princípios explicativos e visão unitária da realidade através do processo da dúvida, investigação e geração de conhecimento. A investigação científica inicia com a identificação de uma pergunta sem resposta, admitindo-se que o conhecimento é insuficiente para esclarecer esta questão. O passo seguinte é a construção da resposta para esta dúvida com provas de segurança e confiabilidade justificando a validade da resposta encontrada (KÖCHE, 1997).

A ciência não possuiria subjetividade, se o conhecimento não fosse gerado a partir de procedimentos claramente estabelecidos (CHALMERS, 1999; POPPER, 1979; DRESCH et al, 2015). A pesquisa científica trata, portanto, do procedimento de estudo planejado, como método de abordar um problema a ser solucionado (PRODANOV et al, 2009).

A estrutura para condução da pesquisa pode ser de acordo com sua ordem: **teórica** ou **prática**. A pesquisa de caráter **teórico** é reconhecida como pesquisa básica ou pura e tem como objetivo garantir o progresso científico sem se preocupar

com a aplicação prática imediata do conhecimento gerado. A pesquisa **prática** ou aplicada possui foco em resultados que auxiliem profissionais na solução de problemas do dia a dia (DRESCH et al, 2015).

Além da classificação quanto ao caráter, a pesquisa pode ser classificada quanto aos seus objetivos, que pode ser **exploratória** ou **descritiva**. A pesquisa **exploratória** visa aumentar o nível de conhecimento do fenômeno estudado visando uma alteração ou inovação à abordagem do tema. Este tipo de pesquisa objetiva mostrar as causas da ocorrência do fato em estudo. A pesquisa do tipo **descritiva** visa o estudo e descrição de um fenômeno levantando relações de causa e efeito entre as variáveis estudadas. Objetiva explicar o fenômeno estudado por meio da interpretação dos dados e fatos observados (PRODANOV; FREITAS, 2009; MARCONI; LAKATOS, 2011).

A pesquisa pode também ser classificada quanto sua abordagem em **quantitativa**, **qualitativa** e **combinada**. A pesquisa **quantitativa** se caracteriza pela utilização de avaliação de variáveis de pesquisa por meio de técnicas estatísticas para analisar e interpretar as informações que levam aos resultados. A pesquisa **qualitativa** se caracteriza pela avaliação da realidade subjetiva do fenômeno estudado a partir de sua própria perspectiva. A pesquisa **combinada** se caracteriza pela utilização em conjunto das pesquisas quantitativa e qualitativa com o objetivo de minimizar os pontos fracos de cada tipo de pesquisa (MIGUEL et al, 2012; GIL, 2010; MORCONI, LAKATOS, 2011; NUNES, 2015).

Quanto aos métodos de pesquisa, segundo Dresch et al (2015), dentre inúmeros métodos existentes, destacam-se: i) estudo de caso; ii) pesquisa-ação; iii) *survey*; iv) modelagem; e v) *Design Science Research*. A definição do método adequado de pesquisa ajuda o pesquisador a garantir que sua investigação resolverá o problema proposto favorecendo o reconhecimento da investigação pela comunidade científica como uma pesquisa confiável e de valor para área.

Para a adequada escolha do método de pesquisa, o pesquisador deve considerar os fatores como o tipo de problema de pesquisa, a extensão de controle do pesquisador sobre os eventos comportamentais e, por fim, o grau de enfoque dos acontecimentos atuais em oposição aos acontecimentos históricos (YIN, 2010; NUNES, 2015).

A pesquisa desta dissertação se caracteriza como de natureza aplicada, com abordagem qualitativa, buscando soluções para problemas do dia a dia, neste caso

de implementação da Indústria 4.0, contextualizada na realidade da indústria brasileira. O método de pesquisa utilizado é o do *Design Science Research*, buscando a produção de conhecimento através da aplicação de um novo artefato na solução do problema proposto, com o nível exploratório, descritivo e conclusivo, por meio das técnicas de coleta de dados de Análise documental e Painel de *Experts*.

A avaliação será feita colocando em prática um artefato do tipo método de diagnóstico e implantação, mapeando e priorizando ações no sentido de implantar os passos para solução do problema, monitorando e avaliando sua aplicabilidade.

### 3.2 Método de Pesquisa – *Design Science Research*

O método de pesquisa selecionado para conduzir esta dissertação foi o *Design Science Research (DSR)*, dado o objetivo de construção de um método proposto para solucionar o problema desta dissertação. A *Design Science (DS)* é a ciência que se ocupa do projeto visando a 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. O DS visa gerar soluções alternativas para o mesmo problema propondo regras tecnológicas fundamentadas e a serem devidamente testadas pelo pesquisador (DRESCH et al, 2015).

O método DSR surge quando o paradigma epistemológico é a DS, se diferenciando de outros métodos de pesquisa pela produção de conhecimento na forma de prescrição para suportar a solução de um problema real, projeto ou a construção de um novo artefato (DRESCH et al, 2015). Artefato é o termo utilizado para descrever algo artificial construído, ao contrário de algo natural (SIMON, 1996; NUNES, 2015).

Os artefatos podem ser tipificados como construto, modelo, método, instanciação e *design propositions* (DRESCH et al, 2015). Os **construtos** são conceitos que descrevem problemas dentro de um domínio especificando as soluções definindo termos para descrever e pensar sobre tarefas. Eles surgem durante a definição do problema e são melhorados durante evolução da pesquisa. Os **modelos** são conjuntos de declarações das relações entre os constructos representando como as coisas são. Permitem a manipulação dos constructos. Os **métodos** são definidos como conjunto de ações para realizar uma determinada

tarefa, no caminho para solução do problema. As **instanciações** são os artefatos que operam outros artefatos demonstrando a viabilidade e eficácia dos artefatos construídos. Elas informam como operar e implementar um artefato na solução de um problema (MARCH e SMITH, 1995; DRESCH et al, 2015). Por último temos o **design propositions** referente a um artefato genérico que pode ser aplicado em soluções para uma determinada classe de problemas (VAN AKEN, 2011; DRESCH et al, 2015). O Quadro 1 apresenta as possíveis saídas da DSR.

Saídas	Descrição
Construtos	Vocabulário conceitual de um domínio
Modelos	Conjunto de proposições ou declarações expressando relacionamentos entre constructos
Métodos	Conjunto de passos usados para desempenhar uma tarefa
Instanciações	Operacionalização dos construtos
<i>Design Propositions</i>	Melhoria no entendimento a partir do estudo de um artefato

Fonte: Adaptado de Manson (2006)

#### Quadro 2: Descrição dos Artefatos de um Estudo de *Design Science Research*

O desenvolvimento de uma metodologia geral, refinada e estendida foi elaborado por Manson (2006) apud Dresch et al (2015) - Figura 11.

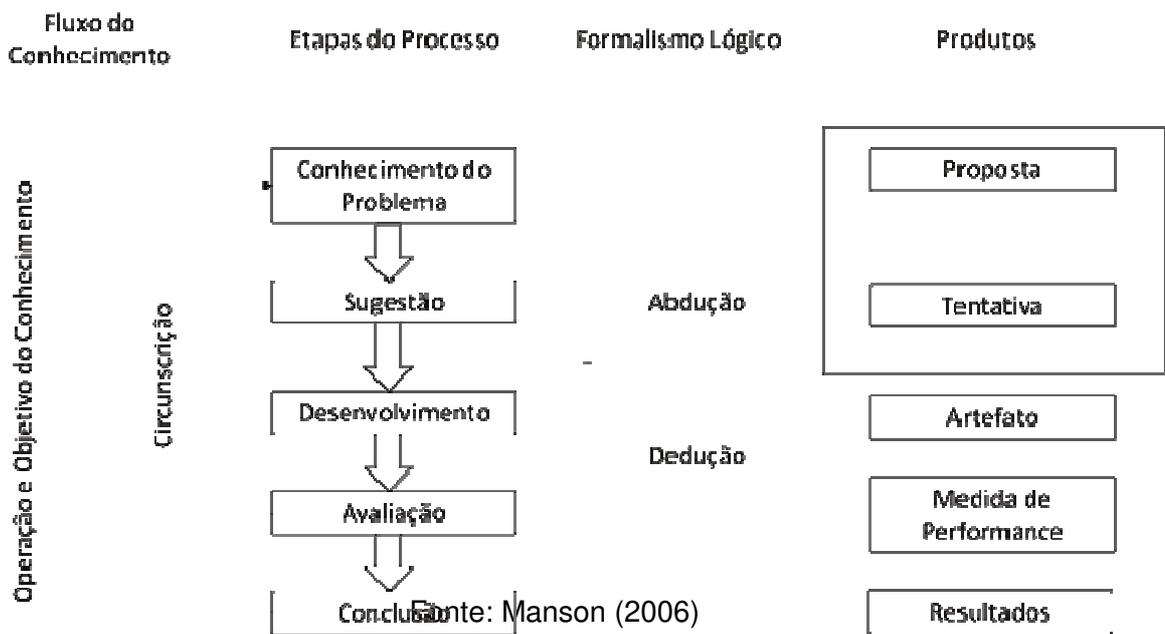


Figura 13: Saídas da Design Science Research

As fases detalhadas da metodologia DSR são apresentadas a seguir, conforme Dresch et al (2015):

**Conhecimento do Problema:** início da pesquisa com a determinação do problema a ser solucionado. Esta pode ser adquirida por meio de uma ocorrência de mercado, pesquisas de temas similares, novas tecnologias ou outras fontes. A partir disto o pesquisador irá fazer a formalização da proposta de pesquisa gerando a saída desta etapa, e entrada da etapa de sugestão.

**Sugestão:** esta é a fase em que o pesquisador irá sugerir um ou mais artefatos para resposta do problema de pesquisa. Nesta fase, podem surgir diferentes tentativas de soluções para o mesmo problema, sendo esta similar a teoria das ciências naturais onde diferentes teorias podem explicar o mesmo fenômeno. Também, nesta etapa, são elaborados os critérios iniciais para avaliação após o desenvolvimento e construção do artefato.

**Desenvolvimento:** nesta fase o pesquisador irá desenvolver um ou mais artefatos para solução do problema de pesquisa. As técnicas podem variar de acordo com os artefatos a serem construídos. O projeto de construção é que deve ser relacionada a nova concepção, deixando a construção em si como uma mera etapa a ser desenvolvida.

**Avaliação:** nesta fase os artefatos construídos serão avaliados à luz dos critérios determinados na fase de sugestão. Os desvios devem ser documentados e justificados frente às expectativas iniciais. Antes e durante a construção, as hipóteses para análise do funcionamento do artefato devem ser elaboradas. Estas raramente são validadas, levando os pesquisadores a criarem novas propostas. Isto leva a alteração do projeto para atender o comportamento do artefato. O novo conhecimento é formatado conforme o caminho de circunscrição e operação e conhecimento sugerido na Figura 8. A circunscrição é o processo lógico que leva em consideração que todas as partes do conhecimento são válidas somente em certas situações. A aplicabilidade do conhecimento só pode ser determinada por meio da detecção e análise das contradições, significando que o pesquisador aprende algo novo quando o projeto não funciona conforme a teoria. Ocorrendo este fato, o pesquisador deve analisar as causas da falha que pode ter como causa a frequente não compreensão da teoria pelo pesquisador. Quando as experiências falham, o pesquisador volta para fase de conscientização, para adquirir novos conhecimentos para refinar a sempre incompleta teoria utilizada para criação do artefato. Se o pesquisador for capaz de solucionar o problema, este será levado a um novo entendimento do que precisa ser alterado para evolução da teoria original.

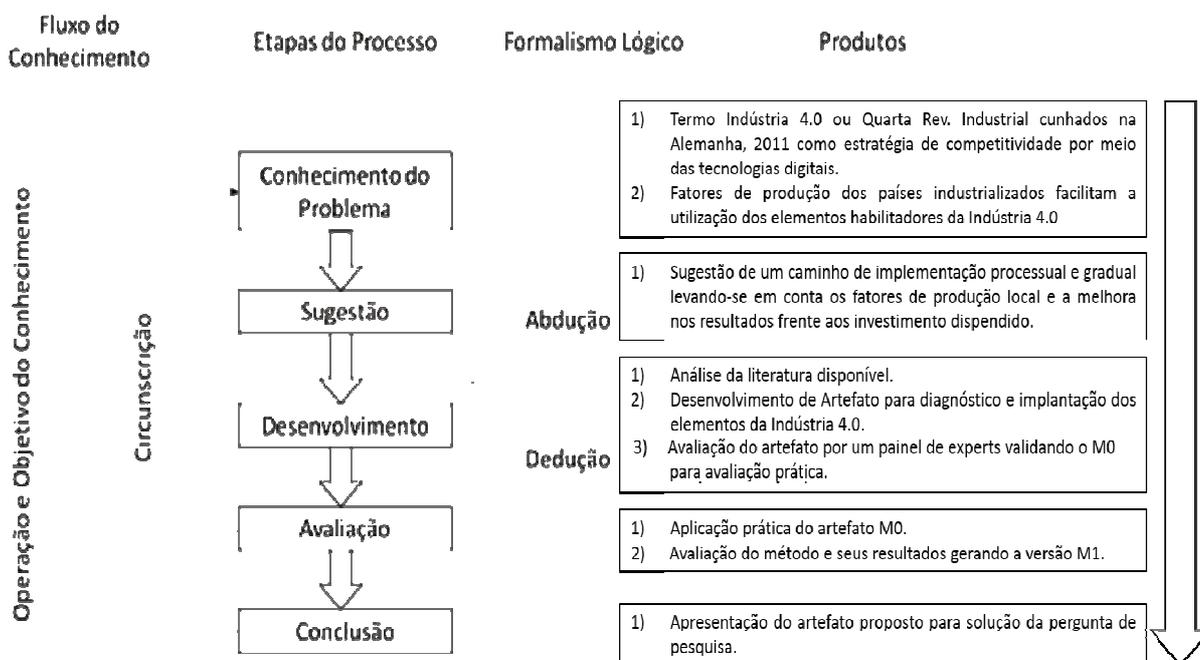
**Conclusão:** mesmo que ainda possa haver desvios no funcionamento do artefato, chega um determinado momento que os resultados devem ser consolidados e escritos, considerando o resultado bom suficiente para geração do conhecimento. O conhecimento gerado então é classificado em sólido (novos conhecimentos gerados que possam ser aplicados repetidamente), ou como resultados perdidos (considerados anomalias que não podem ser explicadas e podem ser objetos de futuras pesquisas).

Com isso conclui-se a apresentação do método de pesquisa DSR selecionado para aplicação nesta dissertação como forma de responder ao problema de pesquisa. No próximo capítulo, apresenta-se o método de trabalho detalhado como forma de aplicação do método selecionado.

### 3.3 Método de Trabalho

Para responder a pergunta de pesquisa desta dissertação, atendendo o objetivo geral e os objetivos específicos, será aplicado o método de trabalho

elaborado com base na DSR. A estrutura seguida será a sugerida pelos autores Manson (2006), Dresch et al (2015), apresentada detalhadamente no capítulo anterior. De acordo com os passos sugeridos pelos autores: conhecimento do problema, sugestão, desenvolvimento, avaliação e conclusão - Figura 12.



Fonte: Elaborado pelo autor

Figura 14: Método de trabalho

Cabe aqui ressaltar a importância do passo avaliação, no processo cíclico de melhoria contínua. Neste momento o Modelo será aplicado na prática e avaliado de acordo com os dados resultantes, obtendo pontos positivos, denotando validade e continuidade do conceito, e sobretudo, pontos a serem melhorados que servirão de entrada para melhoria contínua do método, em uma próxima versão e aplicação.

### 3.3.1 Conhecimento do Problema

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 como IoT, CPS e BDA, 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. Atualmente os países Industrializados, com fatores de produção e incentivos diferenciados estão mais avançados no suporte às condições necessárias para implementação destas tendências tecnológicas. Mas isso não é determinante de que os países com menor índice de industrialização, como no atual momento econômico, o Brasil, devam ficar parados sem aproveitar a disponibilidade de novas tecnologias para melhorar seus resultados fabris. Neste contexto, o problema de pesquisa desta dissertação foi concebido e elaborado juntamente com os objetivos principal e específicos da pesquisa.

Com base neste contexto inicial, elaborado a partir de artigos e livros recentemente lançados, partiu-se para uma pesquisa bibliográfica com intuito de obter-se uma base de referencial teórico que reforçasse a evolução tecnológica que suporta a Quarta Revolução Industrial, e artigos e livros que apresentassem sugestões, teorias de diagnóstico e meios de implementação processual, dos elementos da Indústria 4.0.

### 3.3.2 Sugestão

A partir da questão de pesquisa, elaborada com base na etapa de conhecimento do problema, e da pesquisa bibliográfica que se constituiu em uma das bases para a construção do referencial teórico desta dissertação, levantou-se a necessidade de geração de um Artefato como método de diagnóstico e implantação processual dos elementos da indústria 4.0 nas empresas brasileiras.

Para atender a pergunta de pesquisa, tem-se como sugestão um caminho processual e gradual, que leve a empresa do estado atual diagnosticado, ao Estado Futuro de maior potencial de implementação dos elementos da Indústria 4.0 possíveis, com geração de resultados, levando-se em conta os custos dos fatores de produção locais (capital e trabalho). O caminho de implantação inicia com as transformações que trazem os maiores retornos sobre investimento e vai seguindo, por meio de uma aprendizagem contínua, até o ponto limite em que o retorno sobre o investimento é muito pequeno ou nulo, evidenciando o melhor estado de evolução

possível - estado de Indústria 4.0 ambientalizada - adequado à realidade econômico-financeira em que está inserida.

### 3.3.3 Desenvolvimento

Com base na sugestão de solução do problema de pesquisa, mais o referencial teórico básico, uma revisão sistemática da literatura foi realizada para enriquecer a base de conhecimento para projeto do Artefato, a ser avaliado nesta dissertação.

Nesta etapa o método M0 foi gerado com base na revisão bibliográfica, e nas proposições do autor deste trabalho, o que consentiu uma pré-avaliação subsequente, por um painel de *experts*. Isto permitiu uma avaliação crítica do Modelo M0 aprovado para fase de avaliação.

#### 3.3.3.1. Revisão da Literatura

A revisão sistemática da literatura seguiu o protocolo proposto por Dresch et al (2015), com as seguintes fases:

a. *Framework* conceitual – O *Framework* conceitual desta revisão sistemática de literatura é a Indústria 4.0, cunhada na Alemanha em 2011 como estratégia de ganho de produtividade com base nas tecnologias digitais (IoT, CPS, BDA), também conhecida como Quarta Revolução Industrial.

b. Contexto – O contexto desta revisão sistemática de literatura consiste no Diagnóstico e Implantação dos elementos da Indústria 4.0 em empresas da indústria brasileira, levando em consideração os respectivos fatores de produção, atuais no Brasil.

c. Horizonte – O horizonte desta revisão sistemática da literatura compreende a janela de tempo de janeiro de 2011, que coincide com o ano de abordagem estratégica alemã, a abril de 2017, data do início da realização desta pesquisa.

d. Correntes Teóricas – Não existe limitação de corrente teórica na revisão de literatura elaborada.

e. Idiomas – O idioma escolhido para esta revisão foi predominantemente o Inglês, por abranger o maior acesso ao número de publicações nativas, traduções e ou no mínimo *abstracts* nesta língua, buscando uma abrangência global, incluindo assim outros idiomas como o alemão entre outros.

f. Questão de revisão – A questão de revisão sistemática de literatura é a mesma da pesquisa desta dissertação, procurando subsídios de publicações para reforçar o referencial teórico, tendo como foco a questão de pesquisa: Como elaborar um artefato de diagnóstico e implementação dos conceitos da Indústria 4.0 na Indústria metalmeccânica brasileira, que leve em consideração a combinação da utilização dos diferentes fatores de produção visando os melhores resultados econômico-financeiros para as empresas?

g. Estratégia de revisão – A estratégia de revisão é agregativa, com uma questão fechada na busca de referencial teórico para enriquecer o desenvolvimento da resposta para pesquisa desta dissertação

h. Critérios de Busca – Os critérios de Inclusão de busca desta revisão sistemática de literatura foram as referências relacionadas a estudos de diagnóstico e/ou implementações da Indústria 4.0 no chão de fábrica.

i. Termos de Busca – Os termos de busca desta revisão sistemática de literatura, foram elencados na forma de cercar o tema de pesquisa, por meio das expressões Indústria 4.0, Quarta Revolução Industrial e Fábricas Inteligentes, relacionando-os à pergunta de pesquisa por meio das expressões implementação, avaliação, aplicação e diagnóstico. Sendo assim, cruzando as expressões do tema com as expressões da pergunta de pesquisa, ambos em Inglês, tem-se os seguintes termos fechados e exatos (entre aspas) de busca: *Implementation of Industry 4.0; Assessment of Industry 4.0; Application of Industry 4.0; Diagnosis of Industry 4.0; Implementation of Fourth Industrial Revolution; Assessment of Fourth Industrial Revolution; Application of Fourth Industrial Revolution; Diagnosis of Fourth Industrial*

*Revolution; Implementation of Smart Factory; Assessment of Smart Factory; Application of Smart Factory; Diagnosis of Smart Factory.*

J. Fonte de Busca: A fonte de busca aplicada para revisão sistemática de literatura é a base do *Google Acadêmico*, buscando-se ampla abrangência em artigos científicos, dissertações, teses, livros, e correlatos. Esta busca gerou somente 30 títulos de referências, devido aos termos fechados e exatos (entre aspas), que foram desdobrados com método 'bola de neve: Apêndice A – Termos de Busca e Resultados.'

A próxima etapa após ao levantamento realizado no banco de dados, foi a realização de um filtro com relação aos critérios de inclusão preestabelecidos como os artigos relacionados a estudos de diagnóstico e/ou implementações da Indústria 4.0 no chão de fábrica. Os artigos finais selecionados após o filtro, geraram cinco artigos diretamente relacionados ao objetivo desta dissertação. Por meio do método de 'bola de neve', estes artigos arremeteram a mais 5 importantes referências bibliográficas, para enriquecimento do referencial teórico, servindo de base para projeto e desenvolvimento do artefato para solução do problema de pesquisa – Apêndice B – Referências após Critério de Inclusão e método Bola de Neve.

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 artefato M0. O Artefato M0 foi validado por um painel de experts realizado com aplicação da técnica de grupo focal descrita a seguir.

### 3.3.3.2 Conceitualização da Coleta de Dados – Grupo Focal

O Grupo Focal é uma técnica qualitativa que objetiva buscar avaliação de um grupo de pessoas a respeito de uma ideia, experiência ou evento (OLIVEIRA, 1997; DRESCH et al, 2015).

Tem como diferencial a interação entre os componentes do grupo, com direta influência entre as respostas relativas ao tema exposto. Na condução do grupo focal, é necessário definir os membros participantes, o conteúdo da entrevista e o tipo de interação com o moderador entre outros aspectos (PLUMMER-D'AMATO, 2008).

De acordo com Remond e Curtis (2009), o Grupo Focal é indicado para:

- Obtenção de informações teóricas sobre o tema em questão;

- Geração de novas hipóteses de investigação a serem testadas em estudos quantitativos;
- Estímulo de novos conceitos e ideias;
- Identificação de potenciais problemas de um novo serviço ou programa;
- Percepção de serviços, programas ou produtos;
- Aprendizagem de como o grupo aborda o tema exposto e como podem suportar à construção de instrumentos de pesquisa;
- Ajudar na interpretação de resultados quantitativos já obtidos.

Uma das técnicas de coleta de dados do grupo focal é o questionário. Este consiste na série de perguntas a serem feitas para a entrevista. O pesquisador pode definir a forma do questionário de acordo com o objetivo e a técnica de coleta de dados e análise empregada. As perguntas são classificadas em três categorias (DRESCH et al, 2015):

- Perguntas abertas: visam a investigação em maior profundidade e com mais precisão. Porém a análise dos resultados é mais complexa;
- Perguntas fechadas: restringem as respostas via alternativas para o respondente, mas facilitam a análise de dados por serem objetivas;
- Perguntas de múltipla escolha: restringem as respostas, mas apresentam alternativas para o respondente, trazendo informações mais detalhadas que as perguntas fechadas.

Outra técnica utilizada para coleta de dados é chamada observação direta. Esta possibilita que o pesquisador avalie certas características do fenômeno em estudo que não é perceptível pelos indivíduos que fazem parte do grupo. Desta forma, esta técnica se mostra mais adequada para estudos diferentes dos abordados pela técnica de questionário (DRESCH et al, 2015).

É de significativa importância a análise das vantagens e desvantagens da técnica do Grupo Focal para embasar de maneira adequada sua escolha como técnica aplicada a pesquisa em questão. Segundo Oliveira (1997), existem uma lista de pontos positivos e negativos que devem ser avaliadas:

- Pontos Positivos na aplicação do Grupo Focal:
  - É de fácil condução;

- Adequado para exploração de assuntos e geração de hipóteses;
- Possível coleta de dados durante iteração do grupo;
- Alta validade e legitimidade dos dados coletados;
- Baixo custo em relação a outras técnicas;
- Rapidez, otimizando o tempo de aplicação e tamanho da amostra;
- Permite aumento da amostra do estudo qualitativo;
- Pontos Negativos na aplicação do Grupo Focal:
  - O ambiente proporcionado não é natural;
  - Menor controle dos dados por parte do pesquisador (no caso de necessidade de comparação entre entrevistas ou existir questões predefinidas);
  - Maior dificuldade de análise dos dados, devido ao ambiente contextualizado pela interação do grupo;
  - Exige entrevistadores treinados;
  - Dificuldade de reunião dos participantes;
  - Necessidade de condução da discussão de forma a incentivar o diálogo;

Oliveira (1997) ressalta e detalha as três etapas de realização do Grupo Focal - Planejamento, Condução da Entrevista e Análise dos Dados:

- Planejamento:
  - Participantes – estes devem contribuir para pesquisa sem desconforto com a opinião dos demais participantes;
  - Nível de envolvimento do moderador – é importante o baixo envolvimento quando a pesquisa objetiva a exploração e análise de conteúdo. Quando a agenda é longa, é preciso um maior envolvimento. De qualquer maneira, o envolvimento do moderador deve ser tal de forma a não influenciar o resultado da análise;
  - Coleta de dados – a realização da pesquisa deve ser gravada para o registro dos dados e o moderador e observador devem fazer anotações de suas impressões durante o evento;
- Condução das entrevistas:

- A qualidade das questões e a habilidade do moderador são importantes para o sucesso das entrevistas;
- Análise dos dados da entrevista:
  - Deve ser considerado as palavras e seus significados;
  - Considerar o contexto em que as ideias foram colocadas;
  - Avaliar a consistência interna, a frequência e a extensão dos comentários;
  - E ter em conta a especificidade das respostas e a importância de identificar as grandes ideias;

### 3.3.4 Avaliação

A Avaliação do artefato M0, validada pelo painel de experts foi realizada através de uma aplicação prática em uma empresa metalmeccânica brasileira. 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 que levaram à adoção do método versão M1, produto final desta dissertação.

### 3.3.5 Conclusão

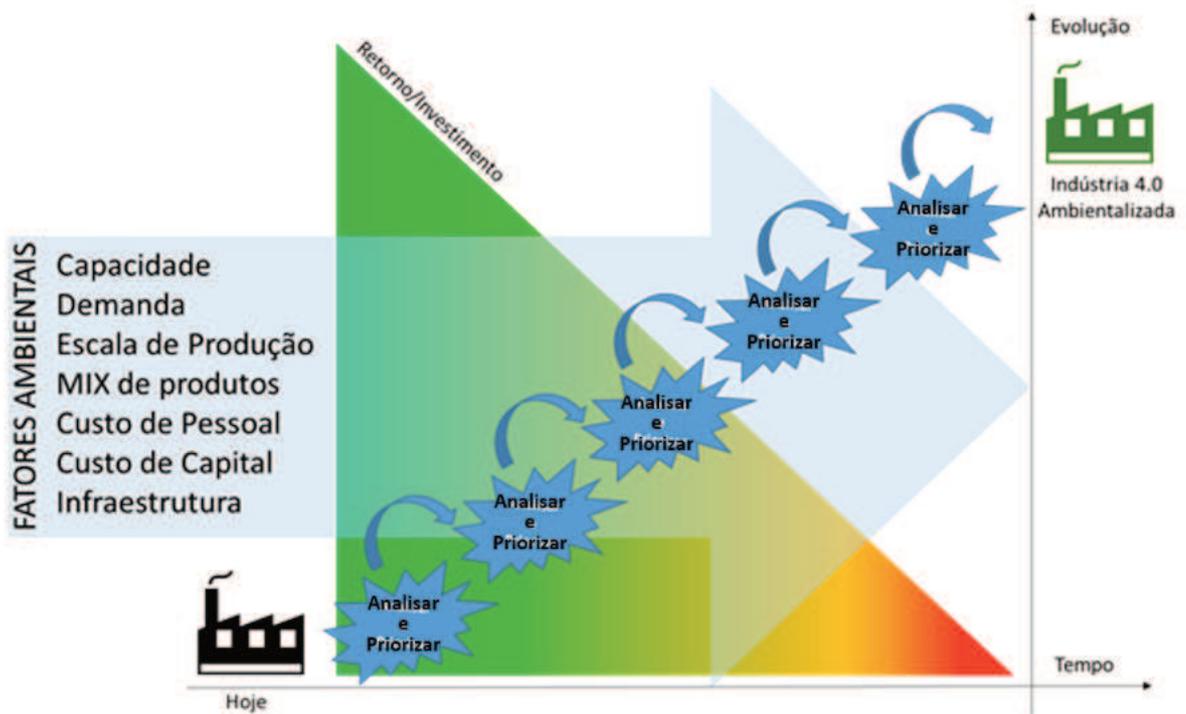
Por fim, como última etapa do método de trabalho, apresenta-se a conclusão, com o fechamento desta dissertação, pontuando as principais conclusões, limitações e sugestões para futuras pesquisas nesta área.

No próximo capítulo apresenta-se a construção do artefato M0, sua validação por um painel de experts, os ajustes realizados e sua preparação para, no capítulo subsequente, avaliação final em aplicação prática e geração da versão M1.

## 4 CONSTRUÇÃO DO MÉTODO M0

### 4.1. Proposta de Artefato M0 para validação do Painel de Experts

O Modelo proposto de implementação dos elementos habilitadores da Indústria 4.0 é baseado no esquema desenvolvido pelo autor, conforme o tema e problemática expostos no capítulo 1 - Figura 15.

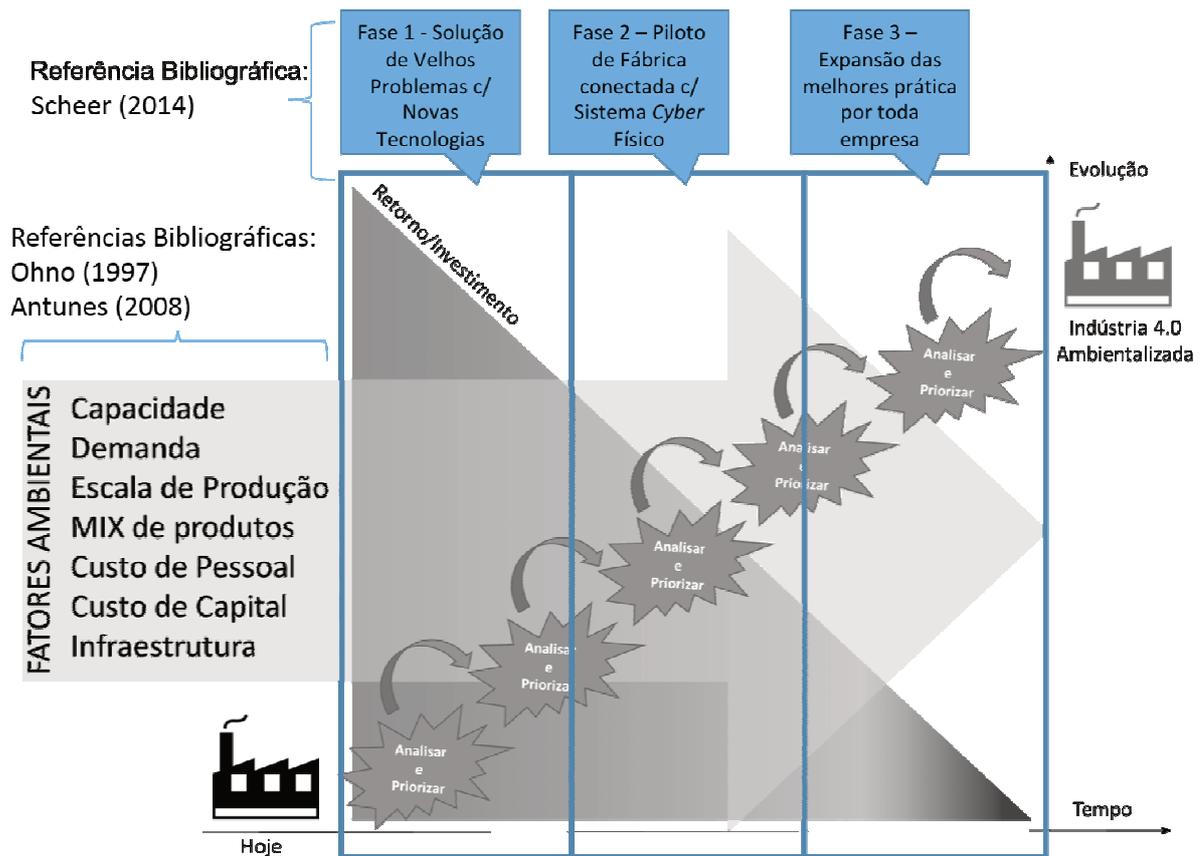


Fonte: Elaborado pelo Autor

Figura 15: Esquema de Implantação dos elementos da Indústria 4.0 ambientalizada

Na Figura 15 é representado um esquema geral de implementação da Indústria 4.0, por meio de passos de evolução incremental ao longo do tempo. A cada passo, é necessário elaborar uma análise crítica do retorno econômico-financeiro esperado frente a um investimento tecnológico, dado os fatores ambientais da realidade industrial abordada. O caminho então inicia com as transformações que trazem os maiores retornos sobre investimento e vai seguindo até o ponto limite em que o retorno sobre o investimento é muito pequeno ou nulo, evidenciando o melhor estado de evolução possível - estado de Indústria 4.0 ambientalizada - adequado à realidade econômico-financeira em que está inserida.

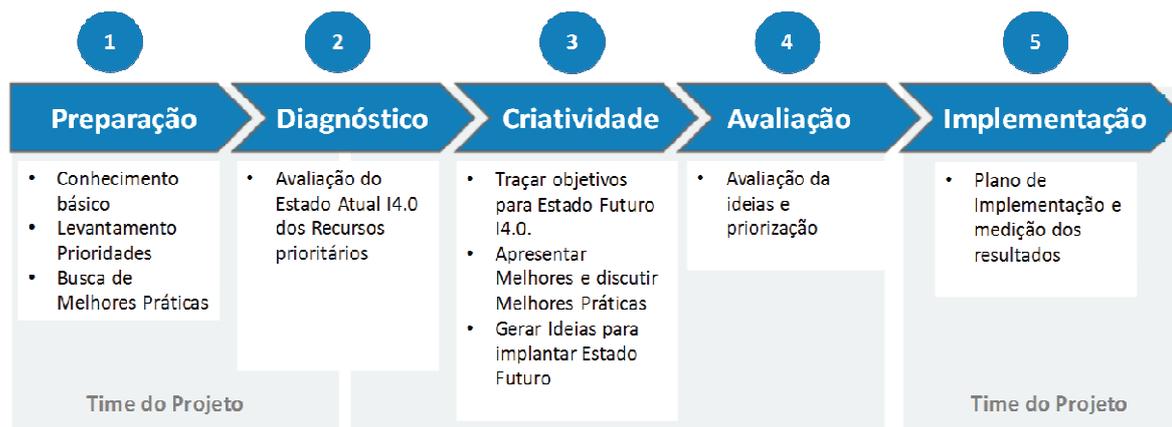
A primeira Proposta de Artefato, então, para responder à questão de pesquisa é composta por ciclos de melhoria incremental, realizados em três passos com metodologia específica, priorizando sempre o maior retorno ao investimento, dado os fatores de produção da empresa. A metodologia proposta utiliza de vários elementos e ferramentas apresentadas no Referencial Bibliográfico estudado, somado a outras soluções desenvolvidas por esta dissertação – Figura 16.



Fonte: Elaborado pelo Autor

Figura 16: Fases de Implementação da Proposta de Artefato

Cada Fase -1, 2 e 3, é composta de 5 passos aplicados em forma de *Workshop* – Preparação, Diagnóstico, Criatividade, Priorização e Implementação, como uma adaptação da proposta do Guia de Implementação da Indústria 4.0 da VDMA (2015), porém com uma abordagem diferenciada envolvendo uma análise crítica na busca do melhor benefício econômico-financeiro potencial para empresa – Figura 17.



Fonte: Adaptado de *Guideline Industrie 4.0 – VDMA (2015)*

Figura 17: Passos de cada Fase de Implementação da Indústria 4.0

Esta abordagem única, busca apresentar um método, com o foco nos fatores de produção específicos de uma empresa em questão. Desta forma, se diferencia de todos os métodos estudados, que determinam alto foco na introdução das novas tecnologias digitais, sem uma prévia e importante análise dos investimentos realizados e os potenciais de retorno, de acordo com a realidade de cada empresa.

A Fase 1 constitui-se em implementar a solução de Velhos Problemas com aplicação de Novas Tecnologias, exposto por Scheer (2015) como o primeiro passo a ser dado na trajetória da Indústria 4.0. Este passo é realizado, avaliando-se a escala de inteligência proposta por Porter e Heppelman (2014), desenhando e implementando ações de curto prazo, baixo investimento e alto retorno, dado as condições reais da empresa.

Assim, os cinco passos de implementação desta Fase 1 são as seguintes:

1. Preparação – nesta fase é realizado um mapeamento dos principais grupos operacionais internos, com maior potencial de ganho.

A saída desta primeira fase de preparação será um mapa de priorização para aplicação do diagnóstico, apontando os principais itens por grupo a serem trabalhados. Estes são identificados como *low hanging fruits*, a serem tratados em curto prazo, com baixo investimento e alto potencial de retorno para o negócio.

Identificados desta forma como o ponto de início de aplicação das tecnologias da Indústria 4.0.

2. Diagnóstico – o objetivo desta fase é a realização de um diagnóstico nas áreas e nos seus principais itens, determinados como foco na Preparação prévia,

buscando maior potencial de retorno. Aqui se diagnostica em que estágio de Monitoramento o recurso mapeado se encontra: sem monitoramento instantâneo, com monitoramento, com controle, com otimização ou com autonomia – conforme adaptação da escala de Porter e Heppelman (2015) e da ferramenta VDMA (2015), de avaliação de escala de capacidade de Monitoramento de Produto.

3. Criatividade – nesta fase é realizada uma avaliação do resultado dos diagnósticos e traçado ideias para o próximo nível de evolução desejado, para que se implemente um ganho evolucionário realístico, suportado pela evolução processual e gradual. Busca-se ideias de melhoria, com menor prazo e investimento possível, do nível de inteligência dos controles dos recursos mapeados, buscando ganhos a curto prazo.

Esta fase deve ser realizada na modalidade de *workshop*, com representantes das áreas operacionais de produção, manutenção, logística, materiais e TI, onde são apresentados os resultados das duas fases anteriores e sobretudo exemplos de melhores práticas de soluções tecnológicas, aplicadas para cada caso apresentado.

A saída desta fase é a evolução determinada como objetivo, pelo time de *workshop*, do nível de Monitoramento de cada item analisado, suportada pelas ideias de implementação geradas e debatidas com base nas melhores práticas apresentadas de cada caso.

4. Priorização – a fase de priorização é feita com base em uma avaliação das ideias apresentadas de acordo com o retorno esperado, investimento necessário e tempo de implementação. Neste primeiro passo, devem ser priorizadas ações que mostrem alto potencial de retorno sob baixo investimento financeiro e com baixo ou médio tempo de implementação.

A saída desta fase é uma lista de prioridades de implementação para facilitar o direcionamento do plano de ações, que será montado na fase de Implementação descrita a seguir.

5. Implementação – a implementação é a fase onde as ideias selecionadas, com maior retorno esperado frente a um menor investimento em termos de tempo e custo, serão planejadas para execução. O importante além do plano de implementação para acompanhamento como qualquer projeto, é a elaboração de indicadores para monitoramento dos resultados esperados, auxiliando a medição dos esforços e permitindo ajuste de rota na busca dos ganhos esperados.

Assim termina a Fase 1 de Implementação que tem o objetivo de proporcionar os ganhos das novas tecnologias, com baixo investimento focado nos maiores potenciais de retorno da empresa, de acordo com seus fatores locais de produção. Este primeiro passo pode ser revisado e repetido infinitas vezes até que se esgote os ganhos isolados com a implementação das novas tecnologias em diferentes níveis de monitoramento, e aumente a maturidade da empresa na utilização destas soluções.

A Fase 2 é referente a implementação de um piloto fabril de Sistema *Cyber Físico*, conforme sugere Scheer (2015), por meio da ferramenta VDMA (2015) e focado em uma célula mapeada pela fase de preparação, com base nos fatores locais de produção da empresa. Na célula produtiva é possível avaliar todos os elementos conceituais do STP, sendo esta, um DNA ou, uma amostra representante, do Mecanismo da Função Produção. A este ponto, a célula prioritária da empresa já deve contar com algum nível de monitoramento instantâneo, implementado pelo passo 1, em conjunto com outros recursos prioritários da empresa. Assim, esta abordagem tem como objetivo criar um piloto de fábrica interconectada com a integração dos sistemas já existentes de monitoramento.

Os 5 passos de implementação da Fase 2 são as mesmas já descritas na Fase 1 - Preparação, Diagnóstico, Criatividade, Priorização e Implementação.

A próxima fase, Fase 3, deve ser traçado e adequado à realidade e objetivo da empresa. Ele pode ser a geração de novos pilotos ou, finalmente, a integração total da fábrica com o ponto focal em seus fatores locais de produção, garantindo sempre o melhor retorno sobre investimento. O estado otimizado de implantação dos elementos da Indústria 4.0, na empresa em questão, é aquele em que todos os elementos que podem trazer retorno sobre o investimento foram implementados a contento.

#### **4.2 Validação de M0 por um painel de *experts***

Esta primeira proposta de artefato M0 foi apresentada a um painel de *experts*. Este grupo foi formado por profissionais experientes das áreas industriais, com atuação direta e indireta na aplicação dos novos conceitos da Indústria 4.0. Uma ampla avaliação da Proposta M0 foi realizada, buscando obter críticas e sugestões

que possam melhorar, alterar e ajustar para torná-la pronta para próxima fase do método de trabalho - Avaliação.

#### 4.2.1 Execução da Avaliação pelo Grupo Focal

O Grupo Focal, foi composto por especialistas industriais, acadêmicos e profissionais, atuantes na região sul do Brasil e conectados às novas tendências do ramo metalmeccânico – Apêndice C. Estes profissionais fazem parte, de forma geral, do grupo NEMA – Núcleo de Estudos de Manufatura Avançada da Unisinos, que realiza com reuniões periódicas de debate de temas relevantes à manufatura.

A reunião foi realizada no dia 6 de novembro de 2017 as 14:30 da tarde. Nesta ocasião, a seguinte Proposta de Artefato M0 – apresentada no item 3.3.3.2 - para validação do Painel de Experts foi resumida no Quadro 3, no intuito de se obter uma profunda análise e ajuste para chegar ao método versão M0 definitivo.

Quadro 3: Proposta M0 apresentada no Grupo Focal

Fonte: Elaborado pelo Autor

PROPOSTA MÉTODO M0 - DIAGNÓSTICO E IMPLANTAÇÃO DOS ELEMENTOS DA 14.0 NO BRASIL									
FASES (SCHEER, 2014)					PASSOS (VDAM, 2016)				
# FASE	O QUE	ONDE	COMO (PORTER & HEPPELMANN, 2014 adaptado pelo Autor)	OBJETIVO	# PASSO	O QUE	QUEM	COMO (VDAM, 2016 adaptado pelo Autor)	OBJETIVO (VDAM, 2016 adaptado pelo Autor)
1	SOLUÇÃO DE VELHOS PROBLEMAS C/ NOVAS TECNOLOGIAS	PLANTA: RECURSOS GERAIS- EX. CENTRAIS DE ABASTECIMENTO (ENERGIA, ÁGUA, GÁS), MATÉRIA PRIMA ETC	DIAGNÓSTICO DO NÍVEL DE MONITORAMENTO DOS RECURSOS DE MAIOR IMPACTO NAS DESPESAS DA PLANTA	APRENDIZADO COM TECNOLOGIAS DE BAIXO CUSTO E ALTO RETORNO POTENCIAL	1	PREPARAÇÃO	WORKSHOP ESPECIALISTAS, LEAN, MANUFATURA, IT, MANUTENÇÃO, CUSTOS	VÍDEOS E APRESENTAÇÕES CONCEITUAIS 14.0; PARETO DE CUSTOS DOS RECURSOS FABRIS	NIVELAR CONHECIMENTO; LEVANTAR PRIORIDADES;
					2	DIAGNÓSTICO		QUADRO DE DIAGNÓSTICO DE ESCALA DE MONITORAMENTO DOS RECURSOS ELEGIDOS NO PASSO 1 - SEM MONITORAMENTO, COM MONITORAMENTO MANUAL, MONITORAMENTO INSTANTÂNEO, CONTROLE ETC	AValiação DO ESTADO ATUAL 14.0
					3	CRIATIVIDADE		APRESENTAÇÃO DE MELHORES PRÁTICAS E SOLUÇÕES DE MONITORAMENTO DOS RECURSOS ELEGIDOS; BRAIN STORMING DE SOLUÇÕES;	GERAR IDEIAS PARA ESTADO FUTURO; TRAÇAR OBJETIVOS;
					4	AVAlIAÇÃO		AVAlIAÇÃO CUSTO X BENEFÍCIO C/ GRÁFICO 9 BOX	AVAlIAÇÃO DE IDEIAS E PRIORIZAÇÃO C/ BASE CUSTO X BENEFÍCIO
					5	IMPlEMENTAÇÃO		PlANO DE AÇÃO E INDICADORES	TRaÇAR PlANO DE IMPlEMENTAÇÃO E MEDIÇÃO DE RESULTADOS
2	PILOTO DE FÁBRICA CONECTADA	CÉLULA PILOTO DE MANUFATURA	DIAGNÓSTICO DO MONITORAMENTO E CONTROLE DE DESPESAS E EFICIÊNCIA EM CÉLULA PILOTO	DESENVOLVER SISTEMA MANUFATURA PILOTO CONECTADO C/ MELHOR CUSTO X BENEFÍCIO PARA FUTURA EXPANSÃO NA PLANTA / SITE	1	PREPARAÇÃO	WORKSHOP ESPECIALISTAS, LEAN, MANUFATURA, IT, MANUTENÇÃO, CUSTOS	VÍDEOS CONCEITUAIS DE SOLUÇÕES 14.0 PARA CÉLULAS DE MANUFATURA; PARETO DE INEFICIÊNCIAS DISPONIBILIDADE (MANUTENÇÃO, MP ETC); PERFORMANCE (TEMPO CICLO, PESSOAL) , QUALIDADE (RASTREABILIDADE, RETRABALHO, SUCATA), PPC (HEIJUNKA E KANBAN).	NIVELAR CONHECIMENTO; DEFINIR A CÉLULA PILOTO;
					2	DIAGNÓSTICO		QUADRO DE DIAGNÓSTICO DE ESCALA DE MONITORAMENTO DAS INEFICIÊNCIAS ELEGIDAS NO PASSO 1	AVAlIAÇÃO DO ESTADO ATUAL 14.0 DA CÉLULA PILOTO E POTENCIAL MELHORIA
					3	CRIATIVIDADE		APRESENTAÇÃO DE MELHORES PRÁTICAS E SOLUÇÕES DE MONITORAMENTO DOS RECURSOS ELEGIDOS; BRAIN STORMING DE SOLUÇÕES;	GERAR IDEIAS PARA ESTADO FUTURO; TRAÇAR OBJETIVOS;
					4	AVAlIAÇÃO		AVAlIAÇÃO CUSTO X BENEFÍCIO C/ GRÁFICO 9 BOX	AVAlIAÇÃO DE IDEIAS E PRIORIZAÇÃO C/ BASE CUSTO X BENEFÍCIO
					5	IMPlEMENTAÇÃO		PlANO DE AÇÃO E INDICADORES	TRaÇAR PlANO DE IMPlEMENTAÇÃO E MEDIÇÃO DE RESULTADOS
3	EXTENSÃO PARA TODA A PLANTA DAS SOLUÇÕES IMPLANTADAS EM PILOTO	NA PLANTA / SITE INDUSTRIAL	APLICACÃO DO APRENDIZADO DAS FASES ANTERIORES	EXPANSÃO DO PILOTO DE MANUFATURA CONECTADO EM TODA PLANTA	1	PREPARAÇÃO	WORKSHOP ESPECIALISTAS, LEAN, MANUFATURA, IT, MANUTENÇÃO, CUSTOS	VÍDEOS CONCEITUAIS; APRESENTAÇÃO LIÇÕES APRENDIDAS DAS FASES 1 E 2	NIVELAR CONHECIMENTO; LEVANTAR PRIORIDADES;
					2	DIAGNÓSTICO		QUADRO DE DIAGNÓSTICO DE ESCALA DE MONITORAMENTO	AVAlIAÇÃO DO ESTADO ATUAL 14.0 E DETERMINAR PRÓXIMOS PASSOS
					3	CRIATIVIDADE		APRESENTAÇÃO DE MELHORES PRÁTICAS E SOLUÇÕES; BRAIN STORMING;	GERAR IDEIAS PARA ESTADO FUTURO; TRAÇAR OBJETIVOS;
					4	AVAlIAÇÃO		AVAlIAÇÃO CUSTO X BENEFÍCIO C/ GRÁFICO 9 BOX	AVAlIAÇÃO DE IDEIAS E PRIORIZAÇÃO C/ BASE CUSTO X BENEFÍCIO
					5	IMPlEMENTAÇÃO		PlANO DE AÇÃO E INDICADORES	TRaÇAR PlANO DE IMPlEMENTAÇÃO E MEDIÇÃO DE RESULTADOS

A proposta foi apresentada de forma detalhada ao grupo, tendo sido respondidas as dúvidas e questionamentos sobre a dinâmica de aplicação e referências teóricas envolvidas.

Após a explanação e nivelamento dos conceitos e soluções propostas, um questionário semiestruturado, conforme Quadro 4, foi aplicado com a finalidade de moderar a discussão em grupo, buscando uma análise crítica no sentido de buscar um modelamento final do M0.

OBJETIVOS	PERGUNTAS	BASE TEÓRICA
Enriquecer a revisão de literatura e base teórica para o M0	1. você conhece algum método de diagnóstico e implantação processual da I4.0 que possa ser aplicada na realidade atual da Indústria Brasileira?	OHNO, 1997; ANTUNES, 2008
Avaliar o Processo do Método	2. apresentado o rascunho de método - o que você acha da proposta processual e gradual de Fases internas 1,2 e 3 conforme SCHEER, 2015 (solução de velhos problemas, células piloto e aplicar em toda planta)?	SCHEER, 2015
Avaliar o diagnóstico com base na escala de capacidade de inteligência de conexão e monitoramento	3. o que você acha da idéia de na abordagem processual, empregar os níveis de capacidade de MONITORAMENTO de PORTER & HELPELMANN, 2014 para DIAGNÓSTICO e PRIORIZAÇÃO de ações?	PORTER & HELPELMANN, 2014
Avaliar os passos de implementação das fases do processo	4. O que você acha de aplicar os passos do VDAM, 2016, para diagnóstico e plano de implementação acrescentando análise crítica de retorno x investimento para priorização do plano como fator relevante na situação da indústria brasileira?	VDAM, 2016 adaptado pelo Autor
Avaliar a abordagem de priorização das ações	5. A respeito da priorização de foco em Despesas na Primeira Fase e Eficiência na segunda Fase em diante, você modificaria algo? O que?	SCHEER, 2015 adaptado pelo autor
Avaliar as ferramentas propostas	6. Em relação as Ferramentas utilizadas para as avaliações, você modificaria ou acrescentaria algo diferente?	PORTER & HELPELMANN, 2014 VDAM, 2016, adaptado pelo Autor
Avaliar se M0 pode seguir adiante p/ validação e melhoria	7. No geral, você considera o Método adequado para ser lançado como versão M0 e futura análise para melhoria contínua do método?	DRESCH et al, 2015

Quadro 4: Questionário Semiestruturado

A reunião foi conduzida, tendo sido gravada com permissão dos participantes para posterior análise detalhada. Como resultado, diversos pontos foram elencados para a melhoria e ideal estruturação do método, de acordo com o debate conduzido.

Na sequência apresenta-se os principais pontos sugeridos pelo painel de especialistas:

1. Consultar outros modelos de implantação publicados como PWC, Bosch, CNI, Gerdau e Acatech;
2. Realizar uma fase anterior a fase 1 proposta – fase zero – apresentando minimamente os elementos estratégicos da empresa;

3. Verificar qual é a “dor da empresa”, da ótica técnico-econômica através do Demonstrativo de Resultados e/ou Indicadores Operacionais alinhados com a Estratégia Global da empresa.
4. Alinhar a estratégia de Indústria 4.0 entre maturidade dos elementos habilitadores e aplicações versus resultados esperados ou prioridades da empresa;
5. Projetar e utilizar indicadores de desempenho para a medição da evolução objetivada;
6. Foi feita constatação de que o aprendizado via solução de velhos problemas talvez não seja adequado em todas empresas. Mapear maturidade versus necessidade, tentando melhorar a relação custo versus benefício, de retorno no piloto a ser aplicado;
7. Não linearizar as passagens de fase e sim relativizá-las conforme a necessidade da empresa. O objetivo consiste em permitir ciclos perceptíveis de melhoria em cada uma das fases;
8. Desenhar um Estado Futuro estratégico considerado um Estado Futuro ideal da empresa sob a perspectiva da Indústria 4.0;
9. Determinar o GAP e os ganhos potenciais e a pauta da ótica do Mecanismo da Função-Processo tentando adaptar ferramenta de Mapa de Fluxo de Valor – Mapa Atual e Mapa Futuro a partir do Diagnóstico;
10. Finalmente foi sugerido que o diagnóstico avalie também a maturidade de conceitos básicos como STP e Modularização, a fim de evitar pular etapas. Desta forma o método pode inclusive indicar uma necessidade de melhoria nestes conceitos, antes ou em paralelo a implementação da Indústria 4.0.

#### 4.2.2 Ajuste do M0 – propostas do Grupo Focal

Outros modelos de implantação foram consultados conforme sugerido no item 1, de forma a adicionar um conjunto mais amplo de referência ao modelo proposto. Foram então consultados os modelos da PWC (2016), Bosch por Jakob (2016), CNI (2016), Gerdau por Época Negócios (2016) e Acatech por Schuh et al (2017), gerando um quadro de referência – Quadro 5.

PWC - 6 Fases		BOSH - 5 Fases		ACATECH - 3 Fases	
<b>1. Mapear Estratégia I4.0</b>	Avalie Maturidade - modelo 7 dimensões e quatro estágios - atual e defina metas claras p futuro	<b>1. Definir objetivos do negócio</b>	Identificar, entender os maiores problemas operacionais de chão de fábrica que podem ter solução na I4.0. Criar métricas claras como base.	<b>1. Identificar o estágio da Maturidade</b>	Input - Estratégia Corporativa + Tecnologias e Sistemas atuais;
<b>2. Criar Projetos piloto</b>	Projeto piloto para justificar investimentos frente aos ganhos	<b>2. Criar Projetos piloto</b>	Projeto com budget limitado para tentar atingir melhoria através de análise dos resultados. Lançar plataforma de dados na nuvem publica (evitar investimento) para coletar dados de sensores e processar e analisar.		Análise das capacidades atuais em 6 estágios de Maturidade (computação, conexão, visibilidade, transparência, preditividade, adaptabilidade), das Estruturas corporativas - Recursos, Sist Informação, Cultura e Organização;
<b>3. Definir Capacitações necessárias</b>	com base no piloto redefina capacitações necessárias - 4 dimensões estratégicas: organização, pessoas, processos e tecnologia	<b>3. Validação dos resultados</b>	através dos dados coletados e analisados apontar áreas de ineficiência e problemas que podem levar a erros graves como fonte de melhorias		
<b>4. Tornar-se expert em dados</b>	com o tempo ganhe experiência e know how	<b>4. Replicar casos de sucesso</b>	Estender o padrão para outras máquinas e células através de um time com parceiro de I4.0	<b>2. Identificar as capacidades a serem desenvolvidas</b>	Identificar o estágio de desenvolvimento objetivo a ser alcançado baseado em sua estratégia corporativa e principais problemas
<b>5. Transformar-se em empresa digital</b>	utilize esta experiência na transformação da empresa em ciclos de melhoria	<b>5. Conduzir um desdobramento global</b>	Expandir para for a da planta	<b>3. Formulação de um Roadmap</b>	Formular ações em um roadmap para desenvolver as capacidades identificadas na fase 2
<b>6. planejar abordagem Ecosistêmica</b>	aplique no planejamento estratégico da empresa				

Fonte: Elaborado pelo Autor

Quadro 5: Resumo de fases implementação dos métodos adotados pela PWC, Bosch e Acatech

O estudo sugerido dos métodos PWC, Bosch e Acatech mostrou que genericamente estes métodos, adicionados aos métodos estudados no referencial teórico, baseiam-se, com mínimas diferenças, em três distintas fases:

1. Avaliação da maturidade da empresa nos elementos da Indústria 4.0 e consequente definição de objetivos, gerando uma estratégia de implementação;
2. Experimentação e implementação da estratégia em um projeto piloto, como elemento necessário para realizar uma avaliação crítica para futuras aplicações;
3. Desdobramento da estratégia, adicionada à avaliação crítica elaborado no caso piloto, para a empresa como um todo;

As referências Gerdau e CNI não apresentaram um método explícito, que pudesse ser avaliado, para melhoria do M0 em estudo, e por isso, foram desconsideradas.

Assim, tornou-se possível buscar uma generalização, através de um método simplificado em três fases, levando-se em consideração as referências adicionais citadas mais os pontos de ajuste sugeridos pelo painel de *experts*, como:

- Fase 1 – Mapear a Estratégia da Indústria 4.0: diagnóstico do estado atual de maturidade dos elementos da Indústria 4.0, STP e Modularização e seus custos e investimentos relativos, versus prioridades operacionais da empresa – benefícios potenciais, utilizando uma ferramenta de avaliação e cruzamento de dados para isso.
- Fase 2 – Criar um Projeto Piloto – aplicar as prioridades levantadas pela estratégia da Indústria 4.0, definida na fase anterior, e testar na prática testando os benefícios objetivados em um projeto piloto. Utilizar uma ferramenta que potencialize análise do Mecanismo da Função-Processo, que foi o VSM.
- Fase 3 – Replicar lições aprendidas no piloto ao resto da empresa com a mesma ferramenta de análise do Mecanismo da Função-Processo aplicada na Fase 2.

Para completar o modelo M0, ficou faltando o detalhamento das ferramentas a serem utilizadas, para facilitar o trabalho de diagnóstico de maturidade e priorização das ações na Fase 1. Finalmente, é relevante executar o mapeamento da Função-Processo visando a aplicação da estratégia nas fases 2 e 3.

Na **Fase 1** optou-se por adaptar uma ferramenta utilizada na definição da estratégia da Indústria 4.0, em uma empresa da indústria agrícola do Rio Grande do Sul América do Sul, apresentada por Gewehr (2017) – Quadro 6.

	TECNOLOGIAS								
TECNOLOGIAS / OBJ ESTRATÉGICOS	1	2	3	4	5	6	7	8	9
Segurança	X			X					
Qualidade	X			X		X		X	
Produtividade	X	X		X	X			X	
MATURIDADE	M	B	M	A	B	B	A	B	A

Fonte: Adaptado de Gewehr (2017)

Quadro 6: Exemplo fictício da ferramenta de Análise da maturidade X elementos da Indústria 4.0 X objetivos estratégicos

Esta ferramenta, consiste em uma tabela correlacionando a influência de cada ferramenta ou tecnologia da Indústria 4.0 – campo laranja – com os objetivos estratégicos da empresa – campo cinza. E avalia sua maturidade – linha inferior da tabela - ou tempo de experiência para traçar potenciais de melhoria. Marca-se a influência ou potencial de melhoria do objetivo estratégico com cada ferramenta ou técnica através de um “X” na tabela.

Como contribuição desta dissertação à ferramenta, incluiu-se: i) uma escala de maturidade para avaliação dos elementos da Indústria 4.0; ii) uma análise crítica dos objetivos operacionais; iii) uma análise de nível de investimento, para cada elemento da Indústria 4.0; iv) colocou-se os elementos ou tecnologias da Indústria 4.0 em uma ordem crescente de complexidade, da esquerda para direita – Quadro 7.

Tecnologias Objetivos Estratégicos	Bases Sugerida				IOT / CPS / BDA Digitalização e Gestão de Dados - Coleta, Processamento, Monitoramento							Outras Ferramentas Aplicáveis				Status Obj Estratégico - (OK está atendendo / NOK - não está)
	Sist. Produção (Manufatura Enxuta)	Padronização /Modularização Produtos & Processos	Integração Sistemas (ERP/MES/SCM/ CRM etc)	Automação de operações	Restreabilidade (Qualidade)	Manutenção Preditiva	OEE	Qualidade - Refugo / Retrabalho	Controle Inventário	Logística Interna	Programação Produção	Manufatura Aditiva	Virtualização Manufatura	Robôs Colabora- tivos	Wearables - glass, exoesqueleto etc	
Segurança	X			X										X		NOK
Qualidade	X			X		X		X					X	X	X	NOK
Produtividade	X	X		X	X			X					X	X	X	NOK
MATURIDADE	M	B	M	A	B	B	A	B	A	B	B	B	B	B	B	-
INVESTIMENTO	B	M	A	A	A	M	M	A	A	A	A	A	M	A	M	-

MATURIDADE (tempo)	Baixa	Média	Alta
	0 a 2 anos	3 a 5 anos	> 5 anos

INVESTIMENTO (tempo, \$) RELATIVO	Baixo	Médio	Alto
--------------------------------------	-------	-------	------

Fonte: Adaptado de Gewehr (2017)

Quadro 7: Exemplo fictício da ferramenta de Análise da Estratégia da Indústria 4.0

A **maturidade**, foi classificada conforme legenda abaixo do quadro, adaptando-se as escalas de VDMA (2015) em:

- I. Baixa – de 0 a 2 anos de experiência na aplicação;
- II. Média – de 3 a 5 anos de experiência na aplicação;

III. Alta – mais de 5 anos de experiência na aplicação de determinada técnica ou ferramenta.

Incluiu-se também, uma **análise crítica dos indicadores** ou objetivos estratégicos operacionais – campo amarelo - para qualificar o benefício potencial da implementação da tecnologia da Indústria 4.0 correlacionada, da forma como segue:

- I. OK - está atendendo a meta;
- II. NOK - não está atendendo a meta.

Assim, o foco da análise é voltado para os indicadores ou objetivos que a empresa está com dificuldade de atender. Portanto, pretende-se tratar do maior potencial de benefício a ser coletado através da aplicação de uma ferramenta.

Também, contribuindo para tornar a ferramenta adequada ao problema de pesquisa, incluiu-se o **nível de investimento** necessário relativo – campo em azul - qualificando desta forma o investimento em:

- I. Baixo;
- II. Médio;
- III. Alto;

Esta escala deve ser uma referência com base nas informações técnicas e experiência e conhecimento do grupo participante. Assim, pode-se seguir a linha de começar pelas técnicas de menor investimento agregado, e conseqüentemente, menor risco envolvido.

Importante ressaltar que diferentes empresas podem quantificar investimento 'baixo', 'médio' e 'alto' em função de elementos específicos inerentes a cada organização.

Outra adaptação realizada, como contribuição desta dissertação, foi a colocação das tecnologias e ferramentas em uma linha de complexidade crescente – descrição do campo em verde - conforme referências práticas e acadêmicas, seguindo uma linha da base, como STP, Modularização e etc, até sistemas e ou ferramentas mais complexas (SCHEER, 2014; BARONI, 2017). Com isso objetiva-se uma análise crítica da maturidade da empresa em uma linha evolutiva, começando pelo mais simples, para após almejar soluções mais complexas. Estando estes elementos ou ferramentas, abertos à adaptação da realidade da empresa que estiver utilizando, de acordo com seu foco de análise e *benchmankings* de soluções conhecidas.

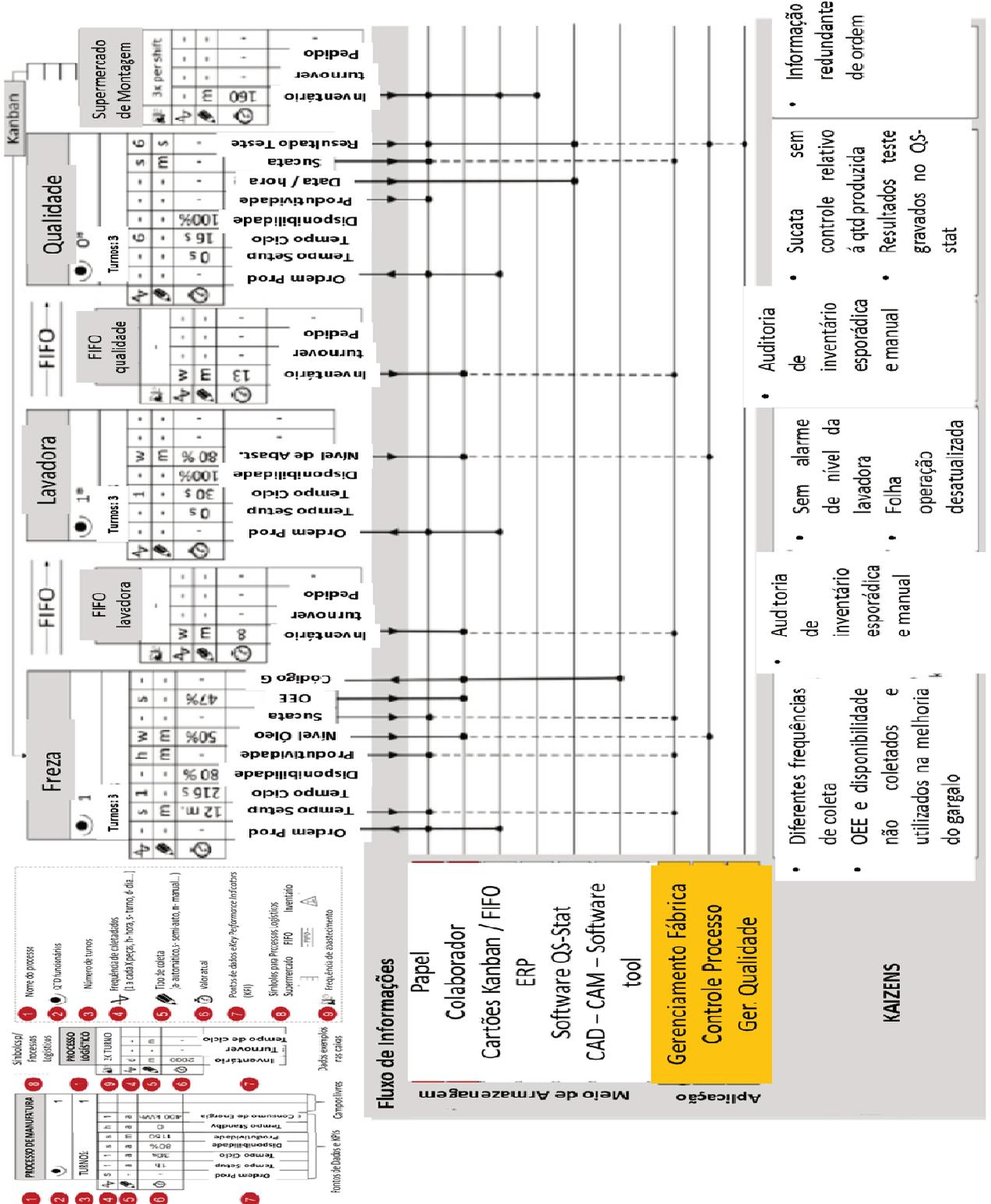
Assim, tem-se em uma única ferramenta o cruzamento de dados de avaliação, da maturidade, dos custos e dos benefícios potenciais de cada tecnologia relativa aos indicadores operacionais.

A partir desta ferramenta torna-se possível traçar:

- I. o estado atual de maturidade dos elementos da Indústria 4.0;
- II. o Estado Futuro com base na priorização dos elementos com maior potencial de benefício e menor investimento relativo;

Com base nos dois pontos acima, é possível determinar uma estratégia de adoção dos elementos da Indústria 4.0, alinhada à estratégia da empresa, potencializando e priorizando os maiores retornos sobre investimento e diminuindo os riscos.

Na **Fase 2** optou-se por sugerir uma ferramenta utilizada como mapa do fluxo de valor, com a análise quantitativa e qualitativa dos dados em cada processo, bem como a oportunidade de *kaizens* de implementação de elementos da Indústria 4.0. A ferramenta é conhecida como VSM4.0 (*Value Stream Mapping 4.0*), que conforme Meudt et al (2017), é uma abordagem holística que utiliza uma ferramenta *Lean* amplamente testada e consolidada, para o mapeamento sistemático de oportunidades de digitalização, que levem à melhoria do fluxo produtivo como um todo. Desta forma, esta ferramenta se mostra ideal para a abordagem de implementação da estratégia da Indústria 4.0, via Mecanismo da Função-Processo, sugerida pelo painel de *experts* – Figura 18.



Fonte: Value Stream Mapping 4.0: Holistic examination of value stream and information logistics in production – Meudt et al (2017)

Figura 18: VSM4.0

De acordo com Meudt et al (2017), este VSM4.0 pode ser conduzido em seis passos:

- I. Passo 1 – é conduzido um VSM clássico no processo em questão, focando os 7 desperdícios clássicos a serem eliminados por *kaizens*. No nosso caso, o VSM4.0 é conduzido no piloto escolhido para Fase 2 de implantação da estratégia da Indústria 4.0, previamente definida na Fase 1.
- II. Passo 2 – todas os tipos de armazenagem de dados e indicadores são listados em uma coluna, à esquerda do mapa, gerando linhas horizontais para cada item. Como exemplo podem ser papel, funcionário, ERP, MES, Excell, etc. A categoria ‘funcionário’ é utilizada quando este deve verificar uma condição para agir de acordo com um procedimento (como exemplo o reconhecimento visual de baixo estoque para reabastecimento).
- III. Passo 3 – os dados e indicadores coletados por processo, na produção e/ou logística devem ser listados em uma linha horizontal, abaixo de cada um dos processos do VSM e conectado em uma linha vertical com seu tipo de armazenamento. Estes também devem ser caracterizados de acordo com a frequência de coleta (peça a peça, horária, diária, etc), o tipo de coleta (automática, semiautomática, manual) e o seu valor atual.
- IV. Passo 4 – classificação da aplicação dos dados e indicadores coletados, em coluna, logo abaixo do tipo de armazenagem. Como exemplo tem-se o gerenciamento da produção, controle do processo, controle da qualidade etc. Para cada dado e indicador, puxar uma linha vertical pontilhada indicando sua aplicação;

Como contribuição desta dissertação, adaptou-se à ferramenta VSM4.0, um passo adicional, de análise dos níveis de inteligência de processamento dos dados mapeados, como detalhado no passo 5:

- V. Passo 5 – incluído e adaptado na ferramenta, para categorizar o nível de Inteligência de processamento, dos dados ou indicadores, conforme escala adaptada de Porter e Heppelmann (2014), com o objetivo de facilitar uma análise de implementação de BDA, buscando a evolução

dos seguintes níveis de inteligência: i) não processa; ii) monitora; iii) controla; iv) otimiza e v) autonomia. Assim também foi possível criar um indicador: TI - Taxa de Nível de Inteligência dos Dados = Soma de dados c/ inteligência 'X' / Soma de dados Disponíveis (Estado Atual ou Futuro).

VI. Passo 6 – consolidação de três indicadores do VSM4.0:

DD – Disponibilidade dos Dados = Soma dos dados Disponíveis (Estado Atual) / Total de Dados Planejados (Estado Futuro)

AD – Aplicação de Dados = Soma dos Dados Aplicados para um fim (Estado Atual) / Total de Dados Planejados (Estado Futuro)

TD – Taxa de Digitalização = Soma de Dados Digitais (Estado Atual) / Soma de Dados Disponíveis (Estado Atual)

VII. Passo 7 – finalmente listar as melhorias possíveis em cada processo, que eventualmente podem ser implantadas via *kaizen*, levando-se em consideração as melhorias de resultado, eliminação das perdas clássicas ou melhoria dos indicadores que não estão atendendo a meta ou focando no fluxo da produção, atuando nos gargalos e redução de inventários intermediários, agora potencializadas através da melhor utilização dos dados mapeados;

Assim, a ferramenta adaptada para o mapeamento quantitativo e qualitativo dos dados, está apresentada na Figura 19, para cada máquina ou estação de processo do fluxo de manufatura.

Característica	NOME DO PROCESSO										ESTOQUE	
	N TRABALHADORES / AUTOMAÇÃO										MAX/MIN	
	TURNOS											
Frequência (Peça, Hora, Dia)												
Tipo (Automático, Semi, Manual)												
VALOR												
Dados / Indicadores	ATUAIS E PROPOSTOS P/ MAPA FUTURO CONFORME ESTRATÉGIA 14.0										INVENTÁRIO	
	ORDEM DE PROD	TEMPO DE SETUP	TEMPO DE CICLO	PARADA MANUT	SUCATA	OEE	RASTREABILIDADE	TEMP., VIBRAÇÃO, etc	RASTREABILIDADE		TURNOVER	
											ORDEM P.	
Armazenagem	Homem											
	Papel											
	ERP											
	MES											
	Excell											
Aplicação	Gerenciamentoda Produção											
	Gerenciamento da Manutenção											
	Geranciamento da Qualidade											
	Genciamento da Logística											
	Programação e Controle											
Nível Inteligência	Não Processa											
	Monitora											
	Controla											
	Otimiza											
	Autônomo											
	KAIZEN DE MELHORIAS											

DISPONIBILIDADE DOS DADOS = SOMA DE DADOS DISPONÍVEIS (MAPA ATUAL) / TOTAL DE DADOS PLANEJADOS (MAPA FUTURO)

APLICAÇÃO DOS DADOS = SOMA DOS DADOS APLICADOS EM ALGUMA ÁREA / TOTAL DE DADOS PLANEJADOS (MAPA FUTURO)

TAXA DE DIGITALIZAÇÃO = SOMA DE DADOS DIGITAIS (MAPA ATUAL) / SOMA DE DADOS DISPONÍVEIS (MAPA ATUAL)

Fonte: Adaptado de *Value Stream Mapping 4.0: Holistic examination of value stream and information logistics in production* – Meudt et al (2017)

Figura 19: Mapeamento dos Dados do VSM4.0 com Níveis de Inteligência de processamento, Agregados pelo Autor

Assim conclui-se o ajuste fino ao modelo M0, abordando todas as sugestões realizadas pelo painel de *experts* durante a realização do grupo focal. Desta forma temos o M0 pronto e revisado para passar à próxima fase do método de trabalho que é a Avaliação final desta versão, gerando aprovação final do modelo e entradas para a revisão de uma próxima versão.

Resumidamente tem-se o Método M0 desenvolvido e validado.

**Fase 1** - Mapear a Estratégia da Indústria 4.0 – Ferramenta: Quadro de Análise da Estratégia da Indústria 4.0

1. Listar os indicadores operacionais da empresa, que estejam diretamente alinhados com o Planejamento Estratégico (PE) da corporação;
2. Listar os elementos da Indústria 4.0, de acordo com uma aplicação evolutiva – do básico ao mais complexo;
3. Cruzar a influência dos elementos da Indústria 4.0 com os objetivos ou indicadores operacionais, de acordo com o suporte que pode ser dado;
4. Avaliar a maturidade da empresa em aplicação de cada elemento ou ferramenta da Indústria 4.0;
5. Avaliar os objetivos e indicadores operacionais em relação ao cumprimento da meta corporativa, tentando mapear maiores dificuldades atuais;
6. Realizar uma avaliação com uma estimativa inicial de investimento necessário para aplicar determinado elemento da indústria 4.0 na empresa;
7. Consolidar o mapa do estado atual, apontando as maiores dificuldades operacionais, com oportunidades de melhoria via elementos da Indústria 4.0, priorizando de acordo com o menor investimento necessário.

**Fase 2** - Criar Projeto Piloto da Indústria 4.0 – Ferramenta: VSM4.0

1. Realizar um VSM clássico na linha ou Célula escolhida como piloto do trabalho;

2. Realizar os passos do VSM4.0 tendo como foco a Estratégia da Indústria 4.0 definida na Fase 1, priorizando o maior potencial de retorno sobre investimento;
3. Criar Plano de Ações (PA's) com base nos *kaizens* sugeridos no âmbito do VSM4.0;
4. Implementar o plano e avaliar resultados para Fase 3.

**Fase 3** – Replicar lições aprendidas – Ferramenta: VSM4.0

1. Realizar um resumo das lições aprendidas na Fase 2, quando da realização do projeto piloto;
2. Escolher uma nova célula e aplicar VSM4.0, mantendo como foco a Estratégia da Indústria 4.0 definida na Fase 1, priorizando maior potencial de retorno sobre investimento e levando em conta as lições aprendidas da Fase 2;
3. Tratar o tema de interconexão global dos sistemas, buscando a integração das soluções aplicadas até então, visando uma fábrica conectada. Aqui o foco de atuação passa da célula, na Fase Piloto, para ser a Fábrica como um todo.
4. Criar Plano de Ações (PA's) com base nos *kaizens* determinados pelo VSM4.0;
5. Implementar o plano e avaliar os resultados para dar continuidade em outras Células ou linhas de produção;
6. Seguir sucessivamente, do Passo 1 ao 4, de maneira processual de melhoria contínua, até expandir e aplicar a estratégia em toda planta, ou empresa.

Finalmente, cabe ressaltar que a versão M0, foi elaborada com base nas contribuições da revisão bibliográfica, tendo sido adicionado as sugestões do autor. Posteriormente, o método M0 foi aprimorado e ajustado de acordo com as sugestões do painel de experts, durante a etapa de validação inicial do método. Desta forma, o M0 validado ficou pronto para a etapa de avaliação empírica, abordada no próximo capítulo através da aplicação do artefato M0 em uma empresa do setor metalmeccânico brasileiro.

## **5 AVALIAÇÃO: APLICAÇÃO DO MÉTODO M0 EM UMA EMPRESA DO RAMO METALMECÂNICO**

A avaliação do artefato M0, após ajustes de acordo com a revisão do painel de *experts*, foi realizada por meio da aplicação prática em uma empresa do ramo metalmeccânico brasileira.

O objetivo desta avaliação consiste em verificar se o Artefato M0, uma vez colocado em prática, consegue responder à questão de pesquisa. Uma vez aplicado o artefato M0, seus resultados foram descritos e mensurados no intuito da realização de uma avaliação crítica, visando gerar o artefato versão M1.

### **5.1 Apresentação da empresa**

O conglomerado de Empresas X iniciou suas atividades na década de 1950. Atualmente oferece um amplo portfólio de produtos do segmento de veículos comerciais de transporte de cargas - rodoviário, ferroviário e fora-de-estrada. O conglomerado possui hoje em torno de doze mil funcionários e possui um faturamento anual, no ano de 2017, gira em torno de 7 bilhões de reais.

Hoje a marca X é uma referência mundial, possuindo parceiros estratégicos internacionais, situando-se entre as maiores empresas privadas brasileiras. Apresenta liderança em todos os seus segmentos, exportando para todos os continentes e faz parte do Nível 1 da Governança Corporativa da BOVESPA.

O conglomerado X, divide-se em três divisões para o atendimento do mercado: I) veículos e implementos; II) autopeças; e III) serviços. Cada uma destas divisões é composta por subdivisões e suas marcas, representando uma ampla família de produtos desenvolvidos e comercializados.

A empresa Y, em que o modelo foi aplicado, produz uma família de produtos da subdivisão de suspensões, pertencente à divisão de autopeças.

A empresa Y, foi criada em 2002 via uma *Joint-Venture* (JV) com uma multinacional do mesmo ramo de atuação. A JV objetiva alinhar forças de mercado estratégicas, atendendo as principais montadoras mundiais de veículos comerciais, com credenciamento nas principais certificações para tal - ISO TS 16949, ISO 14000 e OHSAS 18001. Esta JV foi extinta a cerca de 2 anos e a empresa Y retornou ao controle acionário do conglomerado X.

Hoje a empresa Y, é líder nacional na produção de sistemas de suspensões, eixos, vigas, cubos, tambores de freios e suportes para veículos comerciais. Possui uma planta de aproximadamente trinta mil metros quadrados, onde executa operações como: usinagem, soldagem, estampagem e montagem final. Conta com aproximadamente quinhentos funcionários, entre mão-de-obra direta e indireta, operando hoje em dois turnos de trabalho. A empresa Y possui um robusto Planejamento Estratégico (PE) e um maduro Sistema de Produção com base na manufatura enxuta, com execução sistemática de *kaizens*, mapeamentos de fluxo de valor, programas de melhorias e gestão da rotina da operação entre outros.

## 5.2 A Empresa Y e a Indústria 4.0: Breve Histórico

A empresa Y em estudo conta com o suporte de uma Diretoria de Excelência Operacional, com atuação matricial, que é responsável pela disseminação de novas práticas e conceitos em todo o conglomerado X.

Alguns estudos e exercícios foram realizados na empresa Y como iniciativa da área de Excelência Operacional em conjunto com a Engenharia de Processos, como iniciativa de começar um estudo das tendências da Indústria 4.0. Artigos da *Acatech* e da *McKinsey and Company* foram estudados e um questionário de avaliação de maturidade fora aplicado em uma célula de manufatura, como exemplo.

Existe, também, uma clara iniciativa na integração de sistemas, através de um trabalho de desenvolvimento de um MES (*Manufacturing Execution System*), que integre as máquinas da produção com o sistema de ERP (*Enterprise Resource Planning*), bem como na definição de um novo padrão de máquinas a ser seguido nas novas aquisições a serem feitas. Estas são iniciativas diferenciadas que mostram a pró-atividade da empresa em fazer parte de novas tendências e conceitos.

Por outro lado, as iniciativas ainda que diferenciadas da maioria das empresas locais, não chegam ao ponto de sedimentar uma base estratégica para alavancar um plano de integração nos conceitos da Indústria 4.0. E é nesse sentido que esta dissertação busca agregar valor com o modelo proposto e colocado em prática, o que é tratado nos itens que seguem.

### 5.3 Aplicação do método

Após os contatos iniciais, seguido pelas assinaturas do termo de confidencialidade pelas partes envolvidas – mestrando e orientador por parte da universidade, uma reunião de apresentação do tema da pesquisa foi conduzida junto à Diretoria. A reunião foi no dia 17 de janeiro de 2018 contando com as seguintes participações: Diretor Geral da empresa Y; Diretor de Excelência Operacional; Gerente de Produção; Gerente de Engenharia de Processos e o autor desta dissertação. Nesta reunião foi apresentada a proposição do trabalho, de maneira geral, a questão de pesquisa e o Modelo M0 a ser testado em uma aplicação prática. A partir desta exposição foi constituído um grupo de profissionais definido por parte da empresa, como time de suporte à condução dos trabalhos em uma agenda de encontros, constituído dos seguintes profissionais: i) Gerente de Excelência Operacional; ii) Coordenador de Engenharia de Processos; iii) Engenheiro de Processo e iv) o autor desta dissertação.

A seguir descreve-se sucintamente as diversas fases do método aplicado.

#### 5.3.1 Fase 1 – Mapear a Estratégia da Indústria 4.0

Nos primeiros encontros de trabalho com a equipe composta por profissionais da empresa Y, foi apresentado o método e seus objetivos e iniciado a Fase 1 de mapeamento da estratégia da Indústria 4.0. Os passos estão descritos a seguir:

Passo 1 - Listar os indicadores operacionais da empresa, diretamente alinhados com o Planejamento Estratégico (PE) da corporação.

Primeiramente foi realizada uma leitura sucinta e geral da estratégia da empresa. A partir daí foram listados os principais indicadores operacionais alinhados à esta estratégia. Neste exercício foi possível ressaltar alguns termos que definem a orientação da empresa que deve ser desdobrada pelos indicadores: inovação, qualidade, segurança, sustentabilidade, pessoas, ética, integridade, imagem, a ‘empresa somos todos nós’ – Quadro 8.

ESTRATÉGIA			
NEGÓCIO	MISSÃO	VISÃO	PRINCÍPIOS
Sistemas de suspensões, eixos, componentes e serviços para veículos comerciais	Fornecer <b>soluções e serviços</b> em <b>sistemas de suspensões, eixos e componentes</b> para veículos comerciais com <b>inovação, qualidade, segurança e sustentabilidade</b> .	Ser reconhecida, pelas partes interessadas como a <b>melhor opção</b> no negócio e no mercado de atuação.	<b>Cliente Satisfeito</b> ; Lucro com <b>Sustentabilidade</b> ; <b>Qualidade e Segurança</b> ; <b>Tecnologia Competitiva (criativa, inovadora e competitiva)</b> ; <b>Pessoas</b> valorizadas e respeitadas; <b>Ética, Integridade</b> e Confiabilidade; <b>Imagem</b> , patrimônio a preservar; <b>A empresa somos todos nós</b> .

Fonte: Elaborado pelo Autor a partir das Informações da Empresa Y

#### Quadro 8: Estratégia da Empresa

Com base nesta avaliação e alinhamento partiu-se para a definição de quais indicadores operacionais seriam utilizados para avaliação da estratégia da Indústria 4.0. Estes, devem estar diretamente relacionados com a estratégia da empresa, para que seja garantido o alinhamento de propósito.

Assim, os indicadores escolhidos foram:

- Taxa de Frequência de Acidentes (Segurança);
- PPM interno (Qualidade);
- Custo da Não Qualidade (Qualidade);
- Eficiência (Produtividade – horas padrão/horas aplicadas);
- Atendimento de Entrega (Cliente);
- GGF (Gastos Gerais de Fábrica – Despesas).

O Quadro 9 apresenta os indicadores operacionais propostos alinhados com a estratégia da empresa.

ESTRATÉGIA				
NEGÓCIO	MISSÃO	VISÃO	PRINCÍPIOS	Tecnologias Objetivos Estratégicos
Sistemas de suspensões, eixos, componentes e serviços para veículos comerciais	Fornecer <b>soluções e serviços em sistemas de suspensões, eixos e componentes</b> para veículos comerciais com <b>inovação, qualidade, segurança e sustentabilidade.</b>	Ser reconhecida, pelas partes interessadas como a <b>melhor opção</b> no negócio e no mercado de atuação.	<b>Cliente Satisfeito; Lucro com Sustentabilidade; Qualidade e Segurança; Tecnologia Competitiva (criativa, inovadora e competitiva); Pessoas valorizadas e respeitadas; Ética, Integridade e Confiabilidade; Imagem, patrimônio a preservar; A empresa somos todos nós.</b>	Tx frequência c/ afastamento
				PPM interno
				Custo da não Qualidade
				Eficiência (horas)
				Atendimento de Entrega
				GGF (Gastos Gerais de Fábrica)

Fonte: Elaborado pelo Autor

#### Quadro 9: Indicadores Operacionais Alinhados com a Estratégia

Os itens estratégicos da empresa que ficaram sem indicadores avaliados foram:

- Inovação, por fazer parte da Engenharia de Produto;
- Imagem e Ética por não ser, especificamente um tema operacional da fábrica.

Passo 2 - Listar os elementos da Indústria 4.0, de acordo com uma aplicação evolutiva – do Básico aos mais Complexos;

Os elementos habilitadores da Indústria 4.0 foram listados seguindo uma ordem evolutiva, do básico ao mais complexo, da direita para esquerda, discutindo a possibilidade e adaptabilidade destes elementos à realidade da empresa. Neste momento foi utilizado a experiência do time de trabalho, bem como o conhecimento nivelado previamente em um *Workshop* onde foram apresentados conceitos e exemplos de aplicação, dos elementos da Indústria 4.0 em Indústrias similares – Quadro 10.

	IOT / CPS / BDA														
	Bases Sugerida				Digitalização e Gestão de Dados - Coleta, Processamento, Monitoramento							Outras Ferramentas Aplicáveis			
Tecnologias X Objetivos Estratégicos	Sist. Produção (Manufatura Enxuta)	Padronização /Modularização Produtos & Processos	Integração Sistemas (ERP/MES/SCM/ CRM etc)	Automação de operações	Rastreabilidade (Qualidade)	Manutenção Preditiva	OEE	Qualidade - Refugo / Retrabalho	Controle Inventário	Logística Interna	Programação Produção	Manufatura Aditiva	Virtualização Manufatura	Robôs Colaborativos	Wearables - glass, exoesqueleto etc
Tx frequência / afastamento - Segurança															
PPM externo - Qualidade															
Custo da não Qualidade - Qualidade															
Eficiência (horas) - Sustentabilidade															
Atendimento de Entrega - Sustentabilidade / Qualidade															
Custo / Hora															

Fonte: Elaborado pelo Autor

#### Quadro 10: Elementos Habilitadores da Indústria 4.0 e os Indicadores dos Objetivos Estratégicos da empresa

Passo 3 - Cruzar a influência dos elementos da Indústria 4.0 com os objetivos ou indicadores operacionais, de acordo com o suporte que pode ser dado;

Foi, então, avaliado a potencial influência direta de cada elemento habilitador com os objetivos estratégicos listados. Neste ponto, foi utilizado como base a experiência do time de trabalho e o nivelamento de conhecimento prévio do tema da Indústria 4.0 com exemplos de aplicação. Assim levou-se em conta o potencial valor agregado direto entre elemento/ferramenta X objetivo estratégico, marcando esta correlação com um X – Quadro 11.

Tecnologias X Objetivos Estratégicos	IOT / CPS / BDA														
	Bases Sugerida				Digitalização e Gestão de Dados - Coleta, Processamento, Monitoramento								Outras Ferramentas Aplicáveis		
	Sist. Produção (Manufatura Enxuta)	Padronização /Modularização Produtos & Processos	Integração Sistemas (ERP/MES/SCM/ CRM etc)	Automação de operações	Rastreabilidade (Qualidade)	Manutenção Preditiva	OEE	Qualidade Refugo / Retrabalho	Controle Inventário	Logística Interna	Programação Produção	Manufatura Aditiva	Virtualização Manufatura	Robôs Colaborativos	Wearables - glass, exoesqueleto etc
Tx frequência c/ afastamento - Segurança	X			X										X	
PPM externo - Qualidade	X			X		X		X					X	X	X
Custo da não Qualidade - Qualidade	X	X		X	X			X					X	X	X
Eficiência (horas) - Sustentabilidade	X		X	X			X			X	X		X	X	X
Atendimento de Entrega - Sustentabilidade / Qualidade	X	X	X	X				X	X	X	X				
Custo / Hora	X			X					X						

Fonte: Elaborado pelo Autor

Quadro 11: Correlação entre Indicadores X Habilitadores da Indústria 4.0

Passo 4 - Avaliar a maturidade da empresa em aplicação de cada tecnologia da Indústria 4.0;

Neste ponto, foi feita uma avaliação da maturidade da empresa para cada tecnologia listada da Indústria 4.0 em relação ao tempo de aplicação/conhecimento do conceito pela empresa Y, na linha de baixo da planilha, de acordo com a seguinte escala: i) Baixa – de 0 a 2 anos; ii) Média – de 3 a 5 anos; e iii) Alta – mais de 5 anos – Quadro 12.

Tecnologias X Objetivos Estratégicos	IOT / CPS / BDA															
	Bases Sugerida				Digitalização e Gestão de Dados - Coleta, Processamento, Monitoramento								Outras Ferramentas Aplicáveis			
	Sist. Produção (Manufatura Enxuta)	Padronização /Modularização Produtos & Processos	Integração Sistemas (ERP/MES/SCM/ CRM etc)	Automação de operações	Rastreabilidade (Qualidade)	Manutenção Preditiva	OEE	Qualidade Refugo / Retrabalho	Controle Inventário	Logística Interna	Programação Produção	Manufatura Aditiva	Virtualização Manufatura	Robôs Colaborativos	Wearables - glass, exoesqueleto etc	
Tx frequência q/ afastamento - Segurança	X			X										X		
PPM externo - Qualidade	X			X		X		X					X	X	X	
Custo da não Qualidade - Qualidade	X	X		X	X			X					X	X	X	
Eficiência (horas) - Sustentabilidade	X		X	X		X	X			X	X		X	X	X	
Atendimento de Entrega - Sustentabilidade / Qualidade	X	X	X	X				X	X	X	X					
Custo / Hora	X			X		X			X							
MATURIDADE	M	B	M	A	B	B	A	B	A	B	B	B	B	B	B	
MATURIDADE (tempo)	Baixa 0 a 2 anos	Média 3 a 5 anos	Alta > 5 anos													

Fonte: Elaborado pelo Autor

#### Quadro 12: Nível de Maturidade da Empresa Y nas Tecnologias da Indústria 4.0

Passo 5 - Avaliar os objetivos e indicadores operacionais em relação ao cumprimento da meta corporativa, tentando mapear maiores dificuldades atuais;

Neste passo foi realizado uma análise crítica do atendimento dos objetivos estratégicos, por parte da empresa Y, ressaltando sua prioridade operacional que oportuniza um maior potencial de agregação de valor. Foi marcado para cada indicador, na coluna à direita da tabela o seguinte estado: i) OK, para os quais o atingimento da meta está sobre controle; e ii) NOK, para os indicadores com dificuldade de atendimento da meta estabelecida para o atual período fiscal – Quadro 13.

	IOT / CPS / BDA															Status Obj Estratégico - (OK está atendendo / NOK - não está)
	Bases Sugerida				Digitalização e Gestão de Dados - Coleta, Processamento, Monitoramento							Outras Ferramentas Aplicáveis				
Tecnologias X Objetivos Estratégicos	Sist. Produção (Manufatura Enxuta)	Padronização /Modularização Produtos & Processos	Integração Sistemas (ERP/MES/SCM/ CRM etc)	Automação de operações	Rastreabilidade (Qualidade)	Manutenção Preditiva	OEE	Qualidade- Refugo / Retrabalho	Controle Inventário	Logística Interna	Programação Produção	Manufatura Aditiva	Virtualização Manufatura	Robôs Colabora- tivos	Wearables - glass, exoesqueleto etc	
Tx frequência c/ afastamento - Segurança	X			X										X		OK
PPM externo - Qualidade	X			X		X		X					X	X	X	NOK
Custo da não Qualidade - Qualidade	X	X		X	X			X					X	X	X	NOK
Eficiência (horas) - Sustentabilidade	X		X	X		X	X			X	X		X	X	X	OK
Atendimento de Entrega - Sustentabilidade de / Qualidade	X	X	X	X				X	X	X	X					NOK
Custo / Hora	X			X		X			X							OK
MATURIDADE	M	B	M	A	B	B	A	B	A	B	B	B	B	B	B	-
MATURIDADE (tempo)	Baixa 0 a 2 anos	Média 3 a 5 anos	Alta > 5 anos													

Fonte: Elaborado pelo Autor

Quadro 13: Nível de Atendimento dos Objetivos Estratégicos da Empresa Y

Passo 6 - Realizar uma avaliação de investimento estimado, necessário para aplicar cada elemento da indústria 4.0 na empresa. Neste passo foi realizada uma avaliação relativa do nível de investimento para implementação de cada tecnologia da Indústria 4.0 na empresa Y, contando com a experiência e conhecimento da equipe de trabalho. Para tal, avaliou-se o investimento relativo, na linha de baixo da planilha, nos seguintes níveis: i) Baixo; ii) Médio; e iii) Alto – Quadro 14.

Tecnologias X Objetivos Estratégicos	IOT / CPS / BDA															Status Obj Estratégico - (OK está atendendo / NOK - não está)
	Bases Sugerida				Digitalização e Gestão de Dados - Coleta, Processamento, Monitoramento								Outras Ferramentas Aplicáveis			
	Sist. Produção (Manufatura Enxuta)	Padronização /Modularização Produtos & Processos	Integração Sistemas (ERP/MES/SCM/ CRM etc)	Automação de operações	Rastreabilidade (Qualidade)	Manutenção Preditiva	OEE	Qualidade Refugo / Retrabalho	Controle Inventário	Logística Interna	Programação Produção	Manufatura Aditiva	Virtualização Manufatura	Robôs Colaborativos	Wearables - glass, exoesqueleto etc	
Tx frequência c/ afastamento - Segurança	X			X									X		OK	
PPM externo - Qualidade	X			X		X	X					X	X	X	NOK	
Custo da não Qualidade - Qualidade	X	X		X	X		X					X	X	X	NOK	
Eficiência (horas) - Sustentabilidade	X		X	X		X	X		X	X		X	X	X	OK	
Atendimento de Entrega - Sustentabilidade / Qualidade	X	X	X	X			X	X	X	X					NOK	
Custo / Hora	X			X		X			X						OK	
MATURIDADE	M	B	M	A	B	B	A	B	A	B	B	B	B	B	-	
INVESTIMENTO	B	M	A	A	A	M	M	A	A	A	A	A	M	A	M	
MATURIDADE (tempo)	Baixa 0 a 2 anos		Média 3 a 5 anos		Alta > 5 anos											
INVESTIMENTO (tempo, \$)	Baixo			Médio			Alto			RELATIVO						

Fonte: Elaborado pelo Autor

#### Quadro 14: Nível de Investimento relativo para implementação das Tecnologias da Indústria 4.0

Passo 7 - Consolidar o mapa do estado atual, apontando as maiores dificuldades operacionais, com oportunidades de melhoria via elementos da Indústria 4.0, priorizando de acordo com o menor investimento necessário;

Neste passo de conclusão da Fase 1, consolidou-se com auxílio da ferramenta apresentada, o mapa de necessidades indicadas pelos objetivos estratégicos, com maior potencial de valor agregado pelas tecnologias da Indústria 4.0, versus o investimento relativo para aplicação destas tecnologias.

Como ordem de priorização, definiu-se iniciar pelos objetivos com maior potencial de melhoria, ou seja, com maior dificuldade de atendimento das metas e suas respectivas tecnologias com atuação de suporte direto, com menor maturidade e investimento relativo. Assim, obteve-se um mapa que apresenta o maior potencial de benefício a ser gerado por determinada tecnologia da Indústria 4.0, do menor investimento ao maior – Quadro 15.

		<b>Priorização de ações Estratégicas da I4.0</b>		<b>INDICADORES ESTRATÉGICOS COM MAIOR POTENCIAL DE GANHO</b>			
		<b>TECNOLOGIAS I4.0 COM MATURIDADE BAIXA</b>		PPM interno - Qualidade	Custo da não Qualidade	Atendimento de Entrega - Sustentabilidade / Qualidade	
<b>NÍVEL DE MATURIDADE DA EMPRESA NAS SEGUINTE TECNOLOGIAS I4.0</b>	<b>BAIXA</b>	BASE	Padronização /Modularização Produtos & Processos	-	M	M	<b>NÍVEL DE INVESTIMENTO E CORRELAÇÃO ENTRE TECNOLOGIA E INDICADOR</b>
		FERRAMENTA	Wearables - glass	M	M	-	
		FERRAMENTA	Virtualização Manufatura	M	M	-	
		GER DADOS	Manutenção Preditiva	M	-	-	
		GER DADOS	Qualidade - Refugo / Retrabalho	A	A	A	
		FERRAMENTA	Robôs Colaborativos	A	A	-	
		GER DADOS	Rastreabilidade (Qualidade)	-	A	-	
		GER DADOS	Logística Interna	-	-	A	
		GER DADOS	Programação Produção	-	-	A	
	<b>MÉDIA</b>	BASE	Integração Sistemas (ERP/MES/SCM/CRM etc)	-	-	A	

Investimento: B – Baixo; M – Médio; A - Alto

Fonte: Elaborado pelo Autor

Quadro 15: Priorização de Ações da Estratégia da Indústria 4.0 da Empresa Y

A Estratégia de implementação dos elementos habilitadores da Indústria 4.0 na empresa Y é estabelecida como:

Implementar a Indústria 4.0 buscando os seguintes potenciais de melhoria:

- na qualidade interna;
- na redução do custo da não qualidade;
- na melhoria da entrega;

Primeiramente buscando a aplicação de elementos com maturidade baixa e nível de investimento mediano, ou seja, maior potencial de ganho com menor investimento, como:

I. Padronização/Modularização de Produtos e Processos;

II. Aplicação de ferramentas de virtualização como *smart glass* e virtualização de manufatura;

III. Implementação de um sistema de coleta e gerenciamento de dados como Manutenção Preditiva.

Após, como um segundo passo de melhoria processual, a empresa Y pode buscar aplicação de elementos com maturidade baixa e média e nível de investimento alto, ou seja, buscando maior potencial de ganho, porém com investimento maior, como a seguinte sequência:

I. Implementação de sistema de coleta e gerenciamento de dados de qualidade como refugo/retrabalho;

II. Aplicação de robôs colaborativos;

III. Coleta e Gerenciamento de dados de rastreabilidade;

IV. Coleta e gerenciamento de dados de Logística Interna;

V. Coleta e gerenciamento de dados de programação da produção;

VI. Integração de Sistemas (ERP/MES etc).

Desta forma, a ferramenta aplicada, oportunizou o mapeamento completo do estado atual da Indústria 4.0, na Empresa estudada apresentando os seguintes fatores:

- A correlação entre indicadores dos objetivos estratégicos com os elementos da Indústria 4.0 – iniciando pela sua base, passando pelos elementos habilitadores (IOT/CPS/BDA) e chegando a outras ferramentas aplicáveis;
- A avaliação dos indicadores dos objetivos operacionais estratégicos da empresa;
- O nível de maturidade da empresa nos elementos da Indústria 4.0
- O nível de investimento para aplicação de cada elemento da Indústria 4.0.

E a partir destes fatores, a Estratégia da Indústria 4.0 pode ser traçada, alinhada à estratégia da empresa, buscando o maior potencial de retorno econômico-financeiro, objetivando a aplicação dos elementos da Indústria 4.0 com menor investimento relativo aplicado e maior potencial de retorno aos Indicadores

dos objetivos estratégicos, que necessitam maior foco por parte da empresa no momento avaliado.

A próxima fase, consiste em propor uma aplicação em uma célula de produção piloto, no intuito de planejar a implantação e assim, testar e observar as soluções implementadas, buscando uma melhor relação de custo e benefício.

### 5.3.2 Fase 2 – Criar Projeto Piloto da Indústria 4.0

Após a finalização da Fase 1, definindo a estratégia mais global de Indústria 4.0, partiu-se para Fase 2, dando continuidade nos encontros de trabalho, com a equipe composta por profissionais da empresa Y, de acordo com os passos descritos a seguir:

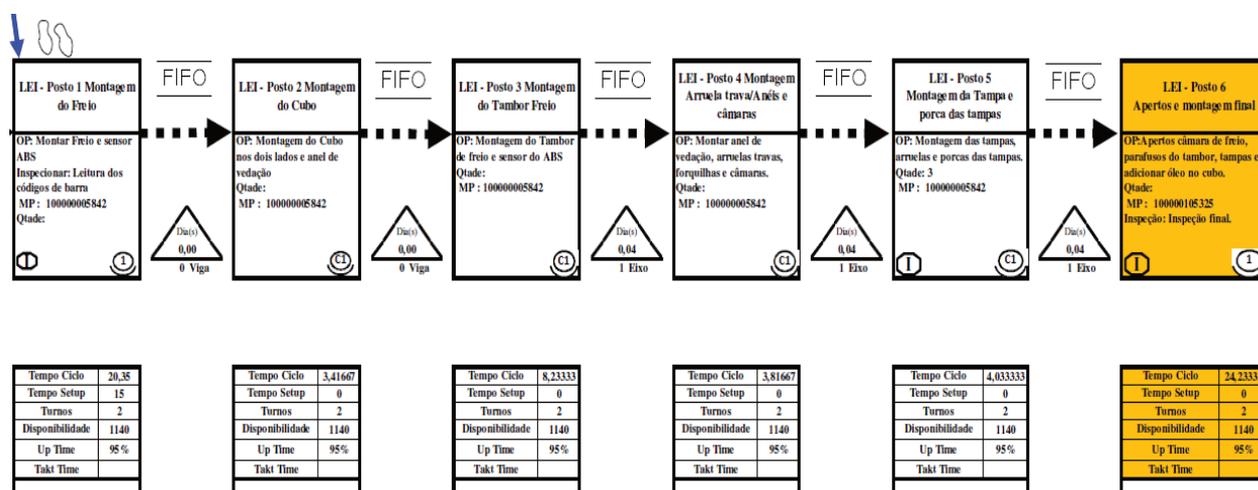
1. Realizar um VSM clássico na linha ou Célula escolhida como piloto do trabalho;

A célula escolhida como projeto piloto foi uma célula de montagem de produto final. Esta célula foi então mapeada com seu cliente final, fornecedor principal e processos adjacentes, de acordo com o método tradicional de *Value Stream Mapping* (VSM) conforme é possível visualizar na Figura 20.



Na Figura 21 destaca-se a célula piloto de estudo, responsável pela montagem de eixo de suspensão, com as seguintes características do Mapa de Fluxo Atual da célula piloto:

- Turnos de trabalho: 2 turnos num total de 19 horas por dia
- Operadores: 3 Operadores por turno
- *Takt time*: 24 minutos
- Estratégia de Produção: Produção por Ordem de Venda
- Estratégia de Planeamento: Semanal
- Estratégia de Programação e Controle: Diária
- Estratégia de Fluxo: Empurrado
- Estoque entre Processos: FIFO (*Fisrt In – First Out*)
- Tempo de atravessamento: 3,75 horas
- Tempo de processamento: 1,07 horas
- Gargalo: Posto 6
- Disponibilidade: 95%
- MIX de Produtos: Total de 5 produtos diferentes



Fonte: Elaborado pelo Autor

Figura 21: VSM da Célula Piloto estado Atual

Assim concluiu-se o Passo 1, da Fase 2 do Método M0, estando apto a seguir para o passo 2, com o detalhamento do VSM4.0 alinhado a estratégia definida da Indústria 4.0.

2. Realizar os passos do VSM4.0 tendo como foco a Estratégia da Indústria 4.0 definida na Fase 1, priorizando o maior potencial de retorno sobre investimento;

Como estratégia da Indústria 4.0 elaborada na Fase 1, tem-se os seguintes indicadores a serem priorizados pela empresa:

- Índice de qualidade interna da célula (rejeições);
- custo da não qualidade (R\$);
- índice de atendimento de entrega;

Estes indicadores foram então priorizados no levantamento e análise de dados do VSM4.0, realizado pelo time da empresa Y, buscando um mapeamento dos dados e possíveis ferramentas e elementos a serem priorizados de acordo com a relação direta com os indicadores a serem melhorados e seu respectivo nível de investimento a ser dispendido, conforme o levantamento realizado na Fase 1 do método – Figura 22.

NOME DO PROCESSO	PERÍODO 1					PERÍODO 2					PERÍODO 3					PERÍODO 4					PERÍODO 5					PERÍODO 6									
	D	F	M	S	O	D	F	M	S	O	D	F	M	S	O	D	F	M	S	O	D	F	M	S	O	D	F	M	S	O					
PRODUTIVIDADE																																			
MANUTENÇÃO																																			
QUALIDADE																																			
PROCESSO																																			
RECURSOS																																			
TIPO DE DADOS																																			
INTELEIGÊNCIA																																			
APLICADO																																			
TAXA DE DIGITALIZAÇÃO																																			
TAXA DE NÍVEL DE INTELEIGÊNCIA																																			

Fonte: Elaborado pelo Autor

Figura 22: Levantamento de Dados do VSM estado Atual

DISPONIBILIDADE DOS DADOS = SOMA DE DADOS DISPONÍVEIS (MAPA ATUAL) / TOTAL DE DADOS PLANEJADOS (MAPA FUTURO) = 31%

APLICAÇÃO DOS DADOS = SOMA DOS DADOS APLICADOS EM ALGUMA ÁREA / TOTAL DE DADOS PLANEJADOS (MAPA FUTURO) = 14%

TAXA DE DIGITALIZAÇÃO = SOMA DE DADOS DIGITAIS (MAPA ATUAL) / SOMA DE DADOS DISPONÍVEIS (MAPA ATUAL) = 50%

TAXA DE NÍVEL DE INTELEIGÊNCIA = SOMA DE DADOS c/ N INTELIGÊNCIA 'X' (MAPA ATUAL) / SOMA DE DADOS DISPONÍVEIS (MAPA ATUAL) = 20%

TAXA DE NÍVEL DE INTELEIGÊNCIA = SOMA DE DADOS c/ NÍVEL 'CONTROLA' = 20%

TAXA DE NÍVEL DE INTELEIGÊNCIA = SOMA DE DADOS c/ NÍVEL 'NÃO PROCESSO' = 20%

Como resultado do levantamento dos dados do VSM4.0 tem-se os seguintes indicadores resultantes – itens I, II e III conforme Meudt (2017), e o item IV conforme contribuição do autor desta dissertação - que tendem a mostrar o potencial de melhoria na aquisição e aplicação de dados via digitalização do processo:

- I. Disponibilidade de dados no nível de 31%, explicitando potencial de melhoria de 69%;
- II. Aplicação dos dados no nível de 14%, mostrando potencial de melhoria de 86%;
- III. Taxa de digitalização atual em 60%, mostrando o potencial de aumentar esta taxa em 40%;
- IV. Taxa de Nível de Inteligência: i) Monitora = 60%; ii) Controla = 20% e iii) Não Processa = 20%, explicitando um potencial de melhoria para utilização de 100% dos dados na autonomia do processo.

A análise de dados do VSM4.0 Estado Futuro foi então desenhado com base na Estratégia da Indústria 4.0, definida na Fase 1 para empresa Y, buscando as seguintes melhorias:

- na qualidade interna;
- na redução do custo da não qualidade;
- na melhoria da entrega;

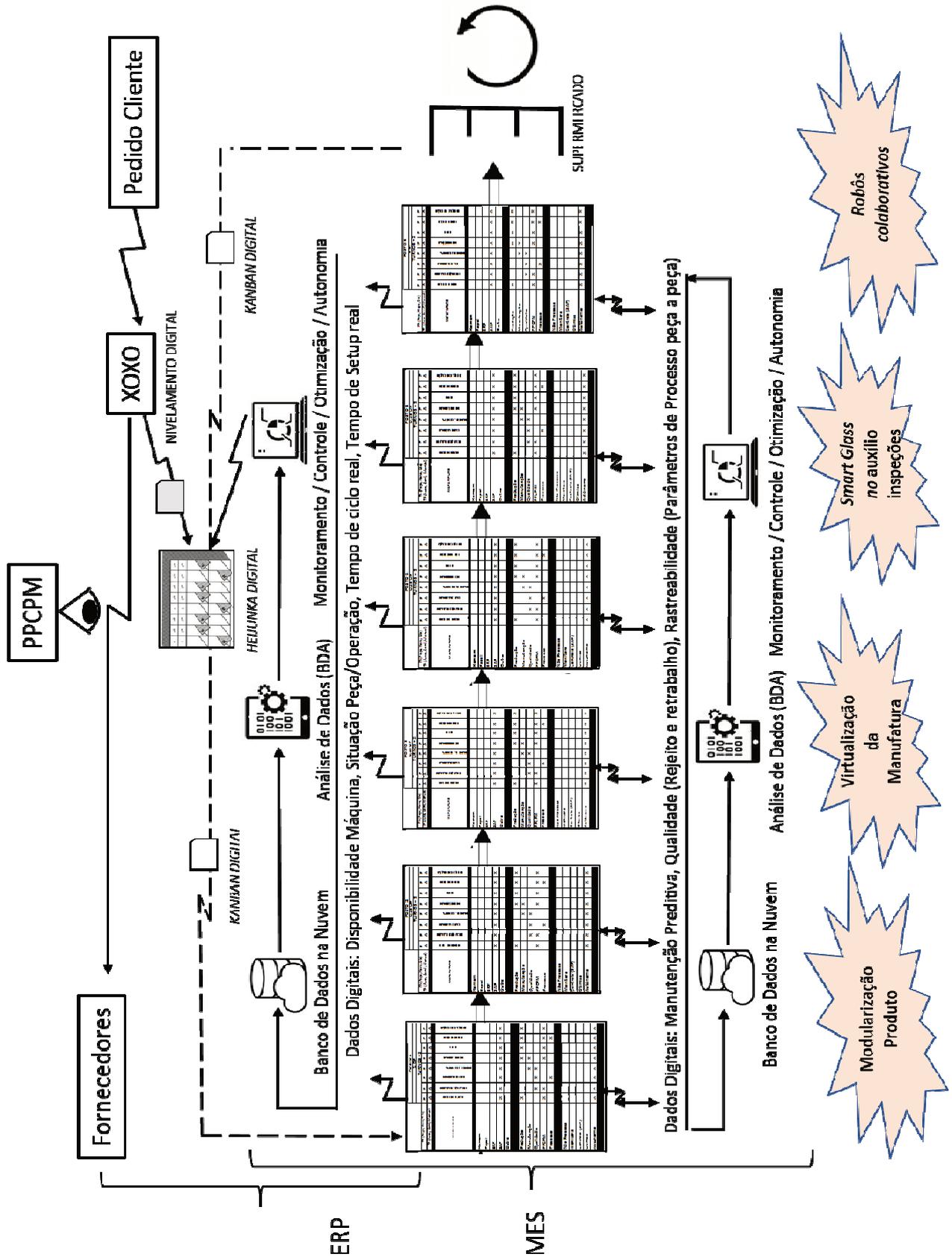
Para tal, foram quantificados e qualificados os dados a serem coletados, gerenciados e utilizados no processo futuro, buscando utilizar todo o potencial levantado nos indicadores do VSM4.0 estado atual- i) ganho na disponibilidade de dados na ordem de 66%; ii) ganho na aplicação dos dados na ordem de 67%, iii) aumento na taxa de digitalização na ordem de 37% e, finalmente, iv) elevação do nível de inteligência da aplicação dos dados, para 100% aplicados na autonomia do processo – Figura 23.



Neste momento realizou-se o VSM4.0 de fluxo de produção Estado Futuro, da célula piloto da empresa Y, levando-se em conta:

- I. o mapa de VSM4.0 Estado Futuro da Célula Piloto – utilização de dados digitais para autonomia do processo visando a melhoria nos indicadores estratégicos – representado pelo fluxo de informação digital;
- II. Aplicação de potenciais melhorias em conceitos básicos e outras ferramentas, levantadas pela estratégia definida da indústria 4.0, visando melhoria nos resultados estratégicos – representado pelos pontos de *kaizen*.

O VSM4.0 completo do Estado Futuro ficou então desenhado da seguinte forma – Figura 23.



Fonte: Elaborado pelo Autor

Figura 24: VSM da Célula Piloto Estado Futuro

Neste VSM de Estado Futuro foi considerado uma estratégia definida como uma produção para abastecer o supermercado (*production to supermarket*), implementando um conceito de produção 'puxada' visando zerar os estoques intermediários através da produção peça a peça (fluxo unitário de produção – *one piece flow*), dentro da célula.

Buscou-se, também, sugerir um sistema de PPCPM autonômico, onde as informações de demanda de cliente, situação do supermercado de peças prontas e mais a análise dos dados de produção - como disponibilidade de máquinas, situação peça por operação, tempo de ciclo real e tempo de *setup* real – utilizadas para otimização do planejamento, programação e controle de forma descentralizada e autonômica. Assim o PPCPM passa a monitorar o processo como um todo, sem a necessidade de interação centralizada, buscando a melhoria sistemática nos Indicadores de Entrega conforme estratégia definida de Indústria 4.0.

Outro ponto de melhoria desenhado foi projetar a busca do Monitoramento, Controle, Otimização e Autonomia do processo através dos dados digitais - coletados, armazenados e processados - relativos à Manutenção Preditiva, Qualidade (sucata e retrabalho) e Rastreabilidade – buscando a melhoria nos Indicadores de Qualidade conforme estratégia definida de Indústria 4.0.

Além dos pontos acima descritos, fica também como análise a montagem de um plano de experimentação e implementação dos seguintes conceitos e ferramentas:

- I- Modularização – conforme referencial teórico, este é um conceito básico chave a ser implantado na área de desenvolvimento de produtos, que visa facilitar o caminho da aplicação dos elementos da Indústria 4.0, buscando flexibilização da produção, com ganho de escala e atendendo o aumento de complexidade do produto final;
- II- Virtualização de Manufatura em análise de *layouts*, novos processos e planejamento;

III- *Smart Glass* em inspeções de Qualidade;

IV- Robôs Colaborativos na automação de processos.

De acordo com o mapeamento dos dados e possibilidades de *kaizens* listadas, alinhadas a estratégia da Indústria 4.0, é possível passar ao Passo 3, da Fase 2 do Método M0, para criação de um Plano de Ações (PAs) a ser efetivado na Célula Piloto.

3. Criar Plano de Ações (PA's) com base nos *kaizens* sugeridos no âmbito do VSM4.0 Estado Futuro;

O seguinte Plano de Ações Macro pode, então, ser descrito com base no desdobramento do trabalho até então realizado na empresa Y e na Célula Piloto escolhida:

- Definir uma equipe de Tecnologia da Informação de Manufatura – interna ou parceira terceirizada – que permite conduzir o processo de desenvolvimento junto às equipes de manufatura, processo e melhoria
- Desmembrar o VSM Futuro em Módulos de Implementação, mais curtos e viáveis, dando sentido à implementação processual, bem como a mensuração dos resultados.
- Iniciar um orçamento detalhado para planejamento de investimento
- Criar um cronograma de revisão das atividades de implementação do fluxo de coleta, tratamento e aplicação dos dados bem como dos *kaizens* de aplicação das ferramentas listadas, como potencial de melhoria;
- Monitorar a evolução dos indicadores do VSM4.0 como: i) disponibilidade de dados; ii) aplicação dos dados; iii) taxa de digitalização; iv) nível de inteligência da aplicação dos dados.
- Monitorar os Indicadores de Qualidade e Entrega em paralelo as implementações para ter um histórico de evolução e benefícios gerados pelo trabalho

Após o detalhamento do Plano de Ações, o passo seguinte da Fase 2 é a implementação e avaliação dos resultados para o aprendizado processual e continuidade dos trabalhos na empresa Y.

4. Implementar o plano e avaliar resultados para Fase 3.

Devido a limitação de tempo, necessária para implantação prática deste Método M0 para Avaliação final, este Passo 4, bem como a próxima fase do método – Fase 3 - não puderam ser avaliados a tempo de finalizar a dissertação. Assim, estes pontos ficam em aberto como sugestão para futuros trabalhos na área.

#### **5.4 Avaliação dos resultados da aplicação do método versão M0**

Após a aplicação e avaliação do método versão M0 na empresa Y, pode-se realizar a seguinte avaliação crítica, em relação aos pressupostos enumerados para o método proposto, conforme citado no final do capítulo 2, de referencial teórico:

- I. Visão de melhoria de fluxo – o método atendeu ao pressuposto uma vez que a Fase 2 utiliza-se de uma ferramenta de Mapeamento do Fluxo de Manufatura, aplicado aos elementos da Indústria 4.0, visando a melhoria no Mecanismo da Função Produção, em particular da Função Processo, potencializando assim os ganhos econômico-financeiro globais no sistema de Produção;
- II. Melhoria focada nos indicadores de desempenho econômico-financeiros para ter a possibilidade de melhoria de desempenho da Função Processo – o método atendeu parcialmente ao pressuposto através da Fase 1, que visa elaborar uma estratégia de implementação dos elementos da Indústria 4.0, focada no maior potencial da relação custo versus benefício, através da ferramenta adaptada – avaliação de maturidade X elementos da Indústria 4.0 X nível de investimento X objetivos estratégicos – visando atingir assim, o objetivo final da aplicação da Engenharia de Produção Lucrativa.

Uma melhoria a ser aplicada em uma versão M1, que não foi detalhada na versão M0, seria escolher a célula piloto, para aplicação da Fase 2, através do alinhamento dos objetivos estratégicos da empresa. Por

exemplo, se a Estratégia de Indústria 4.0 da empresa é focar no ganho em produtividade, poderia ser escolhida célula piloto que não apresente, a priori, bons níveis de produtividade.

III. Identificação dos habilitadores da Indústria 4.0 que potencializam a melhoria na Função-Processo e conseqüentemente nos indicadores econômico-financeiros – o método atendeu parcialmente ao pressuposto dado que as ferramentas das Fases 1 e 2 qualitativamente visam este objetivo, mas que não pode ser comprovado quantitativamente, através dos indicadores mapeados, devido a limitação de tempo desta dissertação.

Uma melhoria que pode ser agregada no método consiste na análise crítica de compatibilidade dos indicadores da empresa frente aos sugeridos pela Teoria das Restrições: i) Lucro Líquido (medidor absoluto); ii) Retorno Sobre o Investimento (medidor relativo); iii) Fluxo de Caixa (medidor de sobrevivência, ou seja, uma condição necessária para o alcance da meta através da análise dos indicadores operacionais: a) Ganho; b) Inventário; c) Despesas Operacionais. A ideia perseguida aqui é reforçar o princípio mais geral do Sistema Toyota de Produção associado com a ideia da Engenharia de Produção Lucrativa (Moreku).

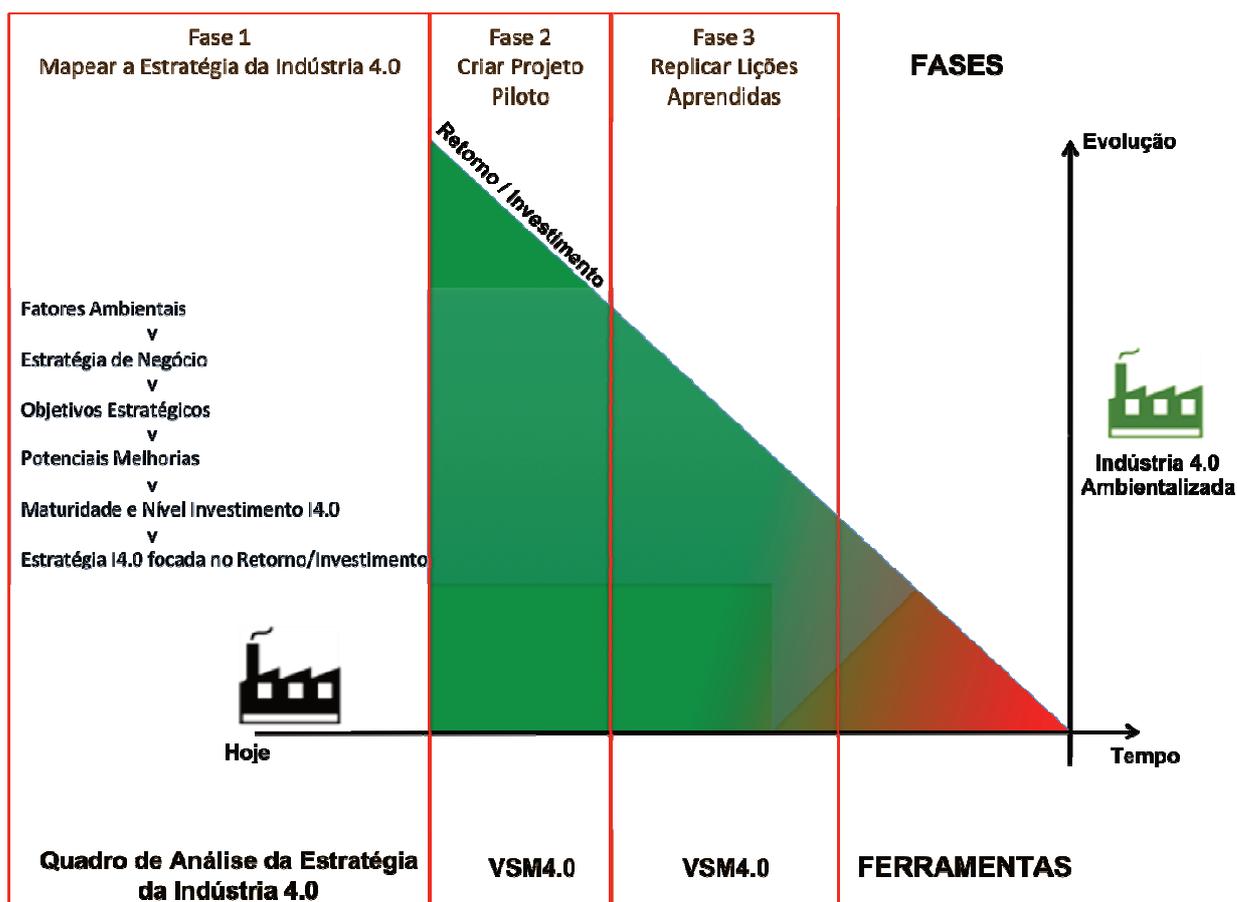
IV. Buscar uma aprendizagem processual, priorizando com os menores investimentos, a elaboração de um projeto piloto em uma célula de produção – menor divisão possível de um Sistema de Produção – representativo do DNA do STP – o método atendeu ao pressuposto através da Fase 2 que visa aplicação em uma célula piloto, para a avaliação dos resultados e retroalimentação do processo e estratégia da Indústria 4.0 definida pela empresa.

Uma melhoria a ser aplicada em uma versão M1, que não foi detalhada na versão M0, seria o de encurtar o ciclo de melhoria, desenhando outros VSM4.0 Estado Futuro ‘graduais’, com pequenos incrementos de melhoria nos níveis de inteligência de uso dos dados digitais – monitora, controla, otimiza e autonomia, como um caminho ao VSM4.0 Estado Futuro ideal, visando buscar a Autonomia nos sistemas produtivos.

V. Buscar o máximo de autonomia do processo na solução desenvolvida (Autonomação), buscando compreender, projetar e implantar soluções autônomas no âmbito da Função Processo, no nível mais básico da empresa - chão de fábrica – atendeu parcialmente ao pressuposto através, do mapeamento dos níveis de inteligência de utilização dos dados digitais. Porém, neste primeiro momento, focados somente nos objetivos priorizados na estratégia de Indústria 4.0 definida pela Fase 1, agregada por esta dissertação à ferramenta VSM4.0, gerando um Estado Futuro no intuito de atingir a autonomia de processo em um objetivo desenhado.

## 5.5 Construção do Método Versão M1

A partir da avaliação crítica realizada, na aplicação e avaliação do método versão M0 frente aos seus pressupostos de criação, pode-se incrementar o método e lançar a versão M1 – Figura 25.



Fonte: Elaborado pelo Autor

Figura 25: Esquema de Implantação dos Elementos da Indústria 4.0 conforme Artefato M1

O artefato versão M1 detalhado fica como a seguir:

**Fase 1** - Mapear a Estratégia da Indústria 4.0 – Ferramenta: Quadro de Análise da Estratégia da Indústria 4.0

1. Listar os indicadores operacionais da empresa, que estejam diretamente alinhados com o Planejamento Estratégico (PE) da corporação;

2. Propor ajustes de alinhamento entre os indicadores da empresa com os indicadores sugeridos pela Teoria das Restrições: i) Lucro Líquido (medidor absoluto); ii) Retorno Sobre o Investimento (medidor relativo); iii) Fluxo de Caixa (medidor de sobrevivência, ou seja, uma condição necessária para o alcance da meta, a saber: a) Ganho; b) Inventário; c) Despesas Operacionais.
3. Listar os elementos da Indústria 4.0, de acordo com uma aplicação evolutiva – do básico ao mais complexo;
4. Cruzar a influência dos elementos da Indústria 4.0 com os objetivos ou indicadores operacionais, de acordo com o suporte que pode ser dado;
5. Avaliar a maturidade da empresa em aplicação de cada elemento ou ferramenta da Indústria 4.0;
6. Avaliar os objetivos e indicadores operacionais em relação ao cumprimento da meta corporativa, tentando mapear maiores dificuldades atuais;
7. Realizar uma avaliação com uma estimativa inicial de investimento necessário para aplicar determinado elemento da indústria 4.0 na empresa;
8. Consolidar o quadro do mapa atual, apontando as maiores dificuldades operacionais, no intuito de verificar e explicitar as oportunidades de melhoria via elementos da Indústria 4.0, priorizando as ações de acordo com o menor investimento necessário e tendo em vista a busca a obtenção dos menores retornos sobre o investimento.

**Fase 2 - Criar Projeto Piloto da Indústria 4.0 – Ferramenta: VSM4.0**

1. Escolher uma célula piloto que esteja alinhada com a estratégia de implementação da Indústria 4.0, traçada na Fase 1, apresentando desafios e potenciais melhorias nos objetivos estratégicos. Por exemplo, se a Estratégia de Indústria 4.0 da empresa é focar no ganho em produtividade, deverá se escolher uma célula piloto que não apresente bons níveis de produtividade.

2. Realizar os passos do VSM4.0, mapeando o potencial de coleta e aplicação de dados digitais, tendo como foco a Estratégia da Indústria 4.0 definida na Fase 1, priorizando o maior potencial de retorno sobre investimento. Criar um VSM4.0 Estado Futuro, com maior nível de inteligência possível na aplicação dos dados, buscando autonomia do processo. Desdobrar este VSM4.0 Estado Futuro em VSM4.0 Estado Futuro 'graduais', com pequenos incrementos de melhoria nos níveis de inteligência de uso dos dados digitais – monitora, controla, otimiza e autonomia), como um caminho ao VSM4.0 Estado Futuro visando Autonomia dos Processos.
3. Criar Plano de Ações (PA's) com base nos *kaizens* sugeridos no âmbito do VSM4.0;
4. Implementar o plano e avaliar criticamente os resultados para Fase 3.

**Fase 3** – Replicar lições aprendidas – Ferramenta: VSM4.0

7. Realizar um resumo das lições aprendidas na Fase 2, quando da realização do projeto piloto;
8. Escolher uma nova célula e aplicar VSM4.0, mantendo como foco a Estratégia da Indústria 4.0 definida na Fase 1, priorizando maior potencial de retorno sobre investimento e levando em conta as lições aprendidas da Fase 2;
9. Tratar o tema de interconexão global dos sistemas, buscando a integração das soluções aplicadas até então, visando uma fábrica conectada. Aqui o foco de atuação passa da célula, na Fase Piloto, para o sistema produtivo da Fábrica como um todo.
10. Criar Plano de Ações (PA's) com base nos *kaizens* determinados pelo VSM4.0;
11. Implementar o plano e avaliar os resultados para dar continuidade em outras Células ou linhas de produção;
12. Seguir sucessivamente, do Passo 1 ao 4, de maneira processual de melhoria contínua, até expandir e aplicar a estratégia em toda planta, ou empresa.

## 5.6 Avaliação dos resultados segundo o Método de Pesquisa *Design Science Research*

A avaliação dos resultados da aplicação do método M0, desenvolvido via DSR, foi feita segundo sete requisitos conforme Hevner et al (2004):

1. Artefato em si: Resultado atingido através da construção do artefato seguindo todas as fases propostas pelo método de trabalho;
2. Relevância do problema: Resultado atingido com sua relevância explicitada no capítulo 1 e ao longo dos exemplos e aplicações citadas nesta dissertação;
3. Desempenho do artefato: Resultado parcialmente atingido uma vez que o Método desenvolvido foi avaliado na prática, tendo um resultado qualitativo positivo. Porém, somente a implementação das ações e verificação da evolução dos indicadores, e sobretudo a relação custo-benefício final do projeto, podem quantificar o desempenho do artefato;
4. Contribuição da pesquisa: Resultado atingido através da ampliação do debate da Indústria 4.0 no contexto da Indústria brasileira. Além disso houve uma contribuição positiva com a construção de um artefato versão M0, sua avaliação aplicada e conseqüente lançamento da versão M1;
5. Rigor da pesquisa: Resultado parcialmente atingido devido a avaliação qualitativa, que pode ser melhorado através da aplicação de avaliação quantitativa conferindo maior rigor à pesquisa.
6. Processo de pesquisa: Resultado atingido através do uso de ampla teoria, pesquisas e artigos e coleta da opinião de especialistas. Um ponto relevante a ressaltar é que a dissertação pode ter contribuído no debate da aplicação prática de novos conceitos em voga, ou seja, no 'como' implantar os elementos da indústria 4.0 em empresas da indústria metalmeccânica.
7. Comunicação da pesquisa: Resultado a ser atingido através desta dissertação e de desdobramentos futuros através de artigos científicos.

## 6 CONCLUSÕES, LIMITAÇÕES E RECOMENDAÇÕES PARA TRABALHOS FUTUROS

A seguir são apresentadas as principais conclusões da pesquisa, suas limitações e as recomendações para trabalhos futuros.

### 6.1 Conclusões da dissertação

Neste item são apresentadas as principais conclusões advindas do trabalho realizado nesta dissertação, que tratou da geração de um método global versão M1, de diagnóstico e implementação processual dos conceitos da Indústria 4.0, em empresas do setor metalmeccânico brasileiro.

Pode-se concluir que o método foi construído, ajustado e validado contando com diversas e plurais contribuições como pode ser visualizado sucintamente no Quadro 16.

Literatura	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Necessidade de estabelecer fases de implementação gradual;</li> <li>• definição prévia da estratégia de implementação;</li> <li>• aplicação de um projeto piloto para realizar o aprendizado empírico necessário;</li> <li>• desdobramento das lições aprendidas para a efetivação das aplicações futuras;</li> <li>• diferentes níveis de inteligência de tratamento de dados digitais;</li> <li>• aplicação da ferramenta VSM4.0.</li> </ul>
Painel de Experts	<ul style="list-style-type: none"> <li>• mapear as prioridades da empresa visando estabelecer o alinhamento estratégico;</li> <li>• gerar uma ferramenta de avaliação maturidade X elementos Indústria 4.0 X objetivos estratégicos.</li> <li>• aplicação no Mecanismo-Função Produção/ Função-Processo na célula piloto, em particular, e no sistema produtivo como um todo;</li> </ul>

	<ul style="list-style-type: none"> <li>• desenho de Estado Atual e Estado Futuro;</li> <li>• bases: maturidade em STP e Modularização;</li> <li>• estabelecer escala de complexidade dos elementos da Indústria 4.0.</li> </ul>
Autor	<ul style="list-style-type: none"> <li>• adaptação da ferramenta de avaliação estratégica: <ul style="list-style-type: none"> <li>○ avaliação dos objetivos estratégicos com maior potencial de melhoria;</li> <li>○ adaptação de escala de complexidade dos elementos da Indústria 4.0;</li> <li>○ identificação dos níveis de investimento;</li> </ul> </li> <li>• adaptação dos níveis de inteligência de utilização dos dados digitais no VSM4.0 – buscar melhorias graduais no intuito do atingimento autonomia no processo;</li> <li>• buscar contínua e sistematicamente a adoção do princípio da Automação dos processos, em particular, do sistema de produção em geral no desenho do VSM4.0 Estado Futuro;</li> <li>• gerar um método adaptado à condição brasileira, na busca de um plano de implementação com melhor relação custo versus benefício.</li> </ul>

Fonte: Elaborado pelo Autor

#### Quadro 16: Síntese das diferentes contribuições para a consolidação do Método M1

As diversas contribuições ao método desenvolvido foram categorizadas para melhor entendimento das parcelas evolutivas de valor agregado ao artefato final.

Da pesquisa bibliográfica, realizada na literatura, obteve-se: i) a orientação de estabelecer fases incrementais e graduais de implementação; ii) a definição primordial de uma estratégia de implementação dos elementos habilitadores da Indústria 4.0; iii) a aplicação de um projeto piloto para realização de um aprendizado empírico necessário; iv) o conseqüente desdobramento das lições aprendidas no piloto para a efetivação das aplicações futuras; v) análise e aplicação dos diferentes

níveis de inteligência no tratamento dos dados digitais e vi) a aplicação da ferramenta VSM4.0.

Da avaliação crítica do painel de *experts*, via aplicação da metodologia de grupo focal, obteve-se as seguintes contribuições ao método: i) mapeamento das prioridades operacionais da empresa através de um alinhamento estratégico; ii) a geração de uma ferramenta para diagnóstico através do cruzamento de informações como maturidade nos elementos habilitadores da Indústria 4.0 X objetivos estratégicos; iii) aplicação do Mecanismo da Função Produção e Função Processo na célula piloto em particular, e no sistema produtivo como um todo; iv) avaliar o desenho do estão atual e propor um estado futuro; v) utilizar como bases de implementação da Indústria 4.0 os princípios do Sistema de Produção e a Modularização e vi) estabelecer uma escala de complexidade dos elementos da Indústria 4.0, dos mais básicos aos mais complexos.

As contribuições do autor desta dissertação podem ser apresentadas como: i) a adaptação de uma ferramenta para avaliação estratégica, levando em conta a priorização dos objetivos estratégicos com maior potencial de melhora, mais a adaptação de escala de complexidade dos elementos da Indústria 4.0 e mais a identificação dos diferentes níveis de investimento relativos para aplicação dos diferentes elementos habilitadores da Indústria 4.0; ii) a adaptação dos níveis de inteligência de utilização dos dados digitais no VSM4.0, buscando melhorias graduais no intuito do atingimento futuro da autonomia do processo; iii) a busca contínua e sistemática da adoção da automação dos processos, em particular, do sistema de produção em geral no desenho do VSM4.0 Estado Futuro e por fim iv) a geração de um esquema e um método adaptado à condição brasileira, na busca de um plano de implementação com melhor relação custo versus benefício.

A título de síntese, pode-se dizer que parece relevante a geração de propostas de artefatos para a implantação processual da Indústria 4.0 nas empresas da Indústria metalmeccânica, considerando como pano-de-fundo essencial as melhores e genéricas teorias para a concepção do Sistema de Produção de alto desempenho (por exemplo: o Sistema Toyota de Produção e a Teoria das Restrições).

Ainda, uma parte complexa e difícil, porém necessária, consiste na avaliação econômico-financeira da implantação dos elementos habilitadores da Indústria 4.0. A aplicação prática realizada, embora parcial e com resultados limitados, mostra a

necessidade, não só de construir eficazes artefatos para contribuir no processo de mudança, mas também de prazo longo para propiciar a implantação completa do artefato e sua avaliação quantitativa.

## 6.2 Limitações do Trabalho

As limitações da pesquisa desta dissertação podem ser enumeradas como segue:

- o tratamento do tema no âmbito de uma célula de produção piloto não permitiu avaliar determinados aspectos, tais como a importância da modularização de produtos, que são mais abrangentes por tratar de aspectos associados a empresa como um todo, na medida em que envolve projeto de produto, processo e produção.
- da mesma forma, questões ligadas à programação, de forma mais ampla, não puderam ser tratadas no caso piloto porque este se limitou a tratar de uma célula produtiva;
- uma das limitações mais relevantes desta dissertação foi a questão do tempo de implantação empírica para avaliação do modelo M0, aplicado, no intuito da obtenção de um resultado quantitativo em termos de avaliação dos indicadores e da execução prática das melhorias advinda da implementação do método;
- Outra limitação foi a da não existência de um Orçamento prévio, ou seja, dos recursos financeiros necessários para aplicação imediata do Plano de Ações, o que geraria a possibilidade de realizar uma avaliação empírica do M1. Isto se assemelha a limitação de tempo, uma vez que o calendário de elaboração do plano de investimentos, aprovação e liberação necessita de um tempo mais longo do que os necessários para a elaboração e redação desta dissertação;

### 6.3 Recomendações para Futuras Pesquisas

Pode-se relacionar as seguintes recomendações para trabalhos futuros:

- Gerar novas aplicações do método versão M1, para validá-lo e aprimorá-lo em outros setores industriais (calçados, móveis etc), dado que a delimitação desta dissertação aborda aplicação prática e validação em uma empresa brasileira do ramo metalmecânico;
- Gerar modelos econômico-financeiros para avaliar a implantação processual dos elementos da Indústria 4.0, validando quantitativamente os resultados do modelo gerado para tal;
- Gerar outra versão do método, M2, a partir da aplicação do M1 e avaliação crítica dos resultados em outro caso empírico.

## REFERÊNCIAS

- Abersfelder, Sandra; Bogner, Eva; Heyder, Andreas and Franke, Joerg - *Application and Validation of an Existing Industry 4.0 Guideline for the Development of Specific Recommendations for Implementation*, Trans Tech Publications, Suíça, 2016.
- Alvarez, R. R. – Desenvolvimento de uma análise comparativa de métodos de identificação, análise e solução de problemas, 1996.
- Antunes, Junico; Alvarez, Roberto; Klippel, Marcelo; Bortolotto, Pedro; Pellegrin, Ivan de; - *Sistemas de Produção, conceitos e práticas para o projeto e gestão da produção enxuta*, Bookman, 2008.
- Alizon, F.; Shooter, S. B.; Simpson, T. W. – *Improving an existing product family based on commonality/diversity, modularity, and cost. Desing Studies*, V28, n. 4, p. 387-409, 2007.
- Atzori, Luigi; Iera, Antonio; Morabito, Giacomo – *The Internet of Things: A survey*, Elsevier, 2010.
- Baroni, Alexandre - *Indústria 4.0: Posicionando o Brasil nesta nova era – apresentação grupo NEMA*, 2017.
- Bauernhansl, Thomas; Hompel, Michael ten; Vogel-Heuser, Birgit - *Industrie 4.0 in Produktion, Automatisierung und Logistik\_ Anwendung · Technologien · Migration – Vieweg and Teubner Verlag*, 2014.
- Baur, Cornelius; Wee, Dominik- *Manufacturing's Next Act, McKinsey&Company*, 2015.
- Black, J. T. – *O projeto da fábrica com futuro*. Bookman, 1998.
- Börjesson, F. – *Approaches to Modularity in Product Architecture*, 2012.
- Chalmers, A. F. – *What is this thing called Science? 3a. ed. Sidney: Open University Press*, 1999.
- Chandler, Alfred – *Ensaio para uma Teoria histórica da Grande Empresa*, Rio de Janeiro: Fundação Getúlio Vargas, 1998.
- Cheng, Guo-jian; Liu, Li-ting; Qiang; Xin-jian; Liu, Ye - *Industry 4.0 Development and Application of Intelligent Manufacturing, International Conference on Information System and Artificial Intelligence*, 2016.
- Chromjakova, Felicita - *Process stabilization - key assumption for implementation of Industry 4.0 concept in industrial company, Journal Of Systems Integration*, 2017.
- CNI – *Desafios para Indústria 4.0 no Brasil - Rede Brasileira de Centros Internacionais de Negócios*, 2016.

CNI – OIT – Internet das Coisas – Rede Brasileira de Centros Internacionais de Negócios, 2017.

DHO, *Systems Integration in the Lean Manufacturing Systems Value Chain to Meet Industry 4.0 Requirements*, 2016.

Dorst, Wolfgang; Bitkom e.V. - *Implementation Strategy Industrie 4.0 – Report on the results of Industrie 4.0 Platform*, Bitkom, VDMA, ZVEI, 2016.

Dresch, Aline; Lacerda, Daniel Pacheco; Junico, José Antonio Valle Antunes Júnior - *Design Science Research – Método de Pesquisa para o Avanço da Ciência e Tecnologia 1ª Edição* 2015.

Época Negócios – A Era da Indústria Digital, <http://internetindustrial.epocanegocios.globo.com/>, 2016.

Ford, Henry – *Hoje e Amanhã*, São Paulo: Cia Editora Nacional, 1927.

Gandomi, A.; Haider, M. - *Beyond the hype: Big data concepts, methods, and analytics*, *International Journal of Information Management*, 2015

Gartner - *Hype Cycle of Emerging Technologies*, Gartner Inc, 2011.

Gewehr, Alexandre - *Indústria 4.0 - Evolução ou revolução? Mito ou realidade? Desmistificando o assunto e preparando a organização para a indústria 4.0 – apresentação grupo NEMA*, 2017.

Gil, A. *Como Elaborar Projetos de Pesquisa*. 5ª ed. São Paulo: Atlas, 2010.

Goldratt, E. M.; Cox, J. F. – *A Meta*; IMAM, 1986.

Goldratt, E. M.; Fox, R. E. – *A Corrida pela Vantagem Competitiva*. – Educator, 1989.

Harari, Yuval Noah - *Uma breve história da humanidade – Sapiens*, 27ª Ed. L&PM Editores, 2017.

Hellinger, Ariane; Seeger, Heinrich – *Cyber-Physical systems: Driving force for innovations in mobility, health, energy and production*, ACATECH, 2011.

Hermann, Mario; Pentek, Tobias; Otto, Boris – *Design Principles for Industrie 4.0 Scenarios: A Literature Review*, 2015.

Herrmann, Felipe Fehlberg; Silva, Rosnaldo Inacio da, Leal, Francisco Cezar dos Reis; Mareth, Taciana – *Análise do Sistema Hyundai e do Modelo Toyota de Produção*, XXXII Encontro Nacional de Engenharia de Produção, 2012.

Hevner, A. et al. *Design science in information systems Research*. *MIS Quarterly*, v. 28, n. 1, p. 75-105, 2004.

Huber, Walter - *Industrie 4.0 in der Automobilproduktion\_ Ein Praxisbuch* - Springer Vieweg, 2016.

Jakob, Thomas – *A 5-step approach towards successful Industry 4.0 projects* - <https://blog.bosch-si.com/industry40/>, 2016.

Jayaram, Athul - *Lean Six Sigma Approach for Global Supply Chain Management using Industry 4.0 and IIoT*, 2016;

Kaplan, Robert S.; Norton, David P. – *A Execução Premium – a obtenção de vantagem competitiva através do vínculo da estratégia com as operações do negócio*, Elsevier, 2008.

Kagerman, Henning; Wahlster, Wolfgang; Helbig, Johannes - *Recommendations for implementing the strategic initiative INDUSTRIE 4.0 Final report of the Industrie 4.0 Working Group*, 2013.

Kang, H. S., Lee, J. Y., Choi, S., Kim, H., Park, J. H., Son, J. Y., ... & Do Noh, S. - *Smart manufacturing: Past research, present findings, and future directions. International Journal of Precision Engineering and Manufacturing-Green Technology*, 2016.

Klingenberg, Cristina Orsolin – *Indústria 4.0, Revolução ou Evolução – apresentação* Unisinos, 2016.

Klingenberg, Cristina Orsolin - *Industry 4.0: what makes it a revolution?* - Conference: EurOMA, 2017.

Köche, J. C. – *Fundamentos de Metodologia Científica*, 14ª Ed. Petrópolis: Vozes, 1997.

Kolberg, Dennis; Zulke, Detlef – *Lean automation enabled by Industry 4.0 Technologies*, Science Direct, 2015.

Lee, Edward A. - *CPS Foundations, Design Automation Conference (DAC)*, 2010 47th ACM/IEEE, 2010.

Lee, Edward A. - *The Past, Present and Future of Cyber-Physical Systems: A Focus on Models*, [www.mdpi.com/journal/sensors](http://www.mdpi.com/journal/sensors), 2015.

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*, 2007.

Majeed, M. Aabid A; Rupasinghe, Thashika D. - *Internet of Things (IoT) Embedded Future Supply Chains for Industry 4.0: An Assessment from an ERP-based Fashion Apparel and Footwear Industry, International Journal of Supply Chain Management*, 2017.

Manson, N. J. - *Is Operations Research Really Research?* Orion. Vol. 22, 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.

Marconi, M.A., Lakatos, E.M. Técnicas de Pesquisa: Planejamento e Execução de Pesquisas, Amostras e Técnicas de Pesquisa, Elaboração, Análise e Interpretação de Dados. 7ª ed., Atlas, 2011.

Martinez, Felipe; Jirsak, Petr; Lorenc, Miroslav – *Industry 4.0 the end Lean Management? The 10<sup>th</sup> International Days of Statistic and Economics*, Prague, 2016.

Massa, Lorenzo; Tucci, Christopher L. – *Business Model Innovation*, Oxford Handbooks Online 2013.

Mattern, Friedmann; Florkemeier, Christian – *Vom Internet der Computer zum Internet der Dinge*, 2010.

McAfee, Andrew; Brynjolfsson, Eric – *Big Data: The Management Revolution*, Harvard Business Review, 2012.

McKinsey&Company, *Industry 4.0, How to navigate digitization of the manufacturing sector*, 2015.

McKinsey&Company, VDMA - *How to succeed: Strategic options for European machinery*, 2016.

Meudt, Tobias; Metternich, Joachim; Abele, Eberhard - *Value stream mapping 4.0: Holistic examination of value stream and information logistics in production*, CIRP Annals, 2017.

Miguel, P. C. et al. Metodologia de Pesquisa em Engenharia de Produção e Gestão de Operações. 2. ed. Rio de Janeiro: Campus, 2012.

Nunes, Fabiano de Lima, Sistema Hyundai de Produção: Uma Proposição de Modelo Conceitual, Universidade do Vale Do Rio dos Sinos, 2015.

Nunes, Fabiano de Lima - Sistema Hyundai de Produção: suas dimensões técnicas e tecnológicas. Anais do XV COMENI, 2015a.

Nunes, Fabiano de Lima; MENEZES, F. M. - Sistema Hyundai de Produção e Sistema Toyota de Produção: Suas Interações e Diferenças. Revista Acadêmica São Marcos, 2014.

Oliveira, Silvio Luiz de - Tratado de Metodologia Científica: projetos de pesquisa, tcc, monografias, dissertações e teses. São Paulo: Pioneira, 1997.

Placeres, Celso Luis – *A Indústria 4.0 no Cenário Brasileiro – apresentação ANCHAM*, Porto Alegre, 2017.

Plumer-D`Amato, P. – Focus group methodology part 1: considerations for design. International Journal of therapy and rehabilitation, 2008.

Popper, K. Objective Knowledge: an evolutionary approach. Gloucestershire: Clarendon, 1979.

Porter, Michael E.; Heppelmann, James - *How Smart, Connected Products are Transforming Competition*, HBR, 2014.

Provost, Foster; Fawcett, Tom – *Data Science for Business: What you need to know about Data Mining AND Data-Analytic Thinking*, O'Reilly Media, Inc, 2013.

Prodanov, C. C; Freitas, E.C. Metodologia do Trabalho Científico: métodos e técnicas da pesquisa e do trabalho acadêmico. Novo Hamburgo: Feevale, 2009.

PWC - Indústria 4.0: Digitalização como vantagem competitiva no Brasil – [www.pwc.com/industry4.0](http://www.pwc.com/industry4.0), 2016.

Redmond, Richard A.; Curtis, Elizabeth A. - Focus groups: principles and process, 2009.

Resch, Winfried - Germany - *Reliable partner for sustainable and smart metallurgical equipment*, VDMA, Press Conference, 2016.

Rüttimann, Bruno G.; Stöckli, Martin - *Lean and Industry 4.0 — Twins, Partners, or Contenders? A Due Clarification Regarding the Supposed Clash of Two Production Systems*, 2016;

Saltiel, Renan Mathias Ferreira; Nunes, Fabiano - Indústria 4.0 e Sistema Hyundai de Produção: suas interações e diferenças, V Simpósio de Engenharia de Produção – SIMEP, (2017).

Salvador, F. – *Toward a product system modularity construct: Literature review and reconceptualization – IEEE Transactions on Engineering Management*, 2007.

Sanders, Adam; Elageswaran, Chola; Wulfsber, Jens – *Industry 4.0 Implies Lean Manufacturing: Research Activities in Industry 4.0 Function for Lean Manufacturing*, *Journal of Industrial Engineering and Management*, 2016.

Sanders, Adam; Subramanian, Karthik R. K.; Redlich, Tobias; Wulfsberg, P. – *Industry 4.0 and Lean Management – Synergy or Contradiction?* 2017.

Starr, B. M. K. – *Modular Production – A New concept* – Harvard Business Review, 1965.

Scheer, August-Wilhelm – *CIM – Computer Integrated Manufacture*, 1994.

Scheer, August-Wilhelm - *Industry 4.0: from Vision to Implementation*, 2015.

Schuh, Gunther; Anderl, Reiner; Gausemeier, Jurgen; Hompel, Michael ten; Wahlster, Wolfgang – *Industrie 4.0 Maturity Index – Managing the Digital Transformation of Companies* – Acatech Study, 2017.

Schuh, G.; Stich, V.; Nyhuis, P.; Ortlinghaus, P.; Franzkoch, B.; Troger, K.; Hering, N. Potente, T.; Hempel, T.; Schiemann, D. – *Cyber physical production control*, 2014.

Schumacher, Andreas; Erol, Selim; Sihn, Wilfried – *A maturity model for assessing Industry 4.0 readiness and maturity of manufacturing enterprises*, Science Direct, 2016.

Schwab, Klaus - *A Quarta Revolução Industrial* 1ª Edição, 2016.

Sgarabotto, Ismael; Antunes, José Antônio Valle Jr; Baroni, Alexandre – *Análise dos Métodos de Modularização de Produtos: uma proposta de conexão com planejamento estratégico dos produtos*, 2016.

Shingo, Shigeo; - *Sistemas de Produção com Estoque Zero, O Sistema Shingo para Melhorias Contínuas*; Bookman, 1996.

Simon, H. *The sciences of the artificial*. Cambridge: The MIT Press, 1996.

Sirotek, Stefanie; Firlus, Benjamin - *Does organizational learning pay off? A case study of Norwegian and German firms regarding the link between organizational learning and the maturity of Industry 4.0 implementation*, Norwegian University of Science and Technology, 2016.

Skinner, Wickham – *Manufatura – o elo perdido na estratégia corporativa* – Harvard Business Review, 1969.

Sloan, Alfred P. Sloan Jr – *Meus Anos com a General Motors* – Negócio Editora, 2001.

Sugayama, R.; Negrelli - *Connected vehicle on the way of Industry 4.0*. Anais do XXIV Simpósio Internacional de Engenharia Automotiva - SIMEA 2016, 2015.

Teixeira, Rafael; Lacerda, Daniel Pacheco; Antunes, Junico; Veit, Douglas – *Estratégia de Produção – 20 artigos clássicos para aumentar a competitividade da empresa* – Bookman, 2014.

Tortorella, Guilherme Luz; Fettermann, Diego - *Implementation of Industry 4.0 and lean production in Brazilian manufacturing companies* - International Journal of Production Research, 2017.

Vaishnavi, V., Kuechler, W. - *Design Research in Information Systems*, 2007 Disponível em <<http://home.aisnet.org>>. Acesso em Out/2014.

Van Aken, J. E. - *The Research Design for Science Research in Management*, Eindhoven, 2011.

VDMA - *Guideline Industrie 4.0 – Guiding principles for the implementation of Industrie 4.0 in small and medium sized business*, Frankfurt am Main, 2015.

Vieiro, Carlos Frederico; - *Metodologia de Projeto para Arranjo Estrutural de Carroceria de Ônibus através de Sistemas Modulares: um Estudo de Caso*. - 2013

[www.internetworldstats.com](http://www.internetworldstats.com), 2016.

Yin, R. Estudo de Caso: Planejamento e Métodos. 4ª Ed. Porto Alegre: Bookman, 2010.

Zilbovicius, M. – Modelos para produção, produção de modelos. Annablume/Fapesp, 1999.

## APÊNDICE A – TERMOS DE BUSCA E RESULTADOS

Quadro 17: Termos de busca e resultados

Termos de Busca	TD	Títulos de referências com os termos de busca
<i>Implementation of Industry 4.0</i>		<ol style="list-style-type: none"> <li>1. <u><i>Industry 4.0 in the field of textile machinery-first steps of implementation.</i></u></li> <li>2. <u><i>Process Stabilization - key assumption for implementation of Industry 4.0 concept in industrial company</i></u></li> <li>3. <u><i>Engineering design education for industry 4.0: implementation of augmented reality concept in teaching cad courses</i></u></li> <li>4. <u><i>Does organizational learning pay off? A case study of Norwegian and German firms regarding the link between organizational learning and the maturity of Industry 4.0 ...</i></u></li> <li>5. <u><i>Application and Validation of an Existing Industry 4.0 Guideline for the Development of Specific Recommendations for Implementation</i></u></li> <li>6. <u><i>The Planning and Implementation of Product Data Management System in the Industry 4.0 Environment</i></u></li> <li>7. <u><i>Concept of information system implementation (CRM and ERP) within industry 4.0</i></u></li> </ol>
<i>Assessment of Industry 4.0</i>		<ol style="list-style-type: none"> <li>8. <i>In-situ assessment of manufacturing defects—a contribution to industry 4.0</i></li> <li>9. <i>Industry 4.0—Background Paper on the pilot project" Industry 4.0: Foresight &amp; Technology Assessment on the social dimension of the next industrial ...</i></li> <li>10. <i>Internet of Things (IoT) Embedded Future Supply Chains for Industry 4.0: An Assessment from an ERP-based Fashion Apparel and Footwear Industry</i></li> </ol>
<i>Application of Industry 4.0</i>		<ol style="list-style-type: none"> <li>11. <i>First Application of Robot Teaching in an Existing Industry 4.0 Environment: Does It Really Work?</i></li> <li>12. <i>Industry 4.0 Development and Application of Intelligent Manufacturing</i></li> </ol>

		<p>13. <i>The Application of Industry 4.0 in Customized Furniture Manufacturing Industry</i></p> <p>14. <i>Health 4.0: Application of Industry 4.0 Design Principles in Future Asthma Management</i></p> <p>15. <i>Research of Construction and Application of Cloud Storage in the Environment of Industry 4.0</i></p> <p>16. <i>Research on the Application and Development of Intelligent Science in the 4.0 Era of Industry</i></p> <p>17. <i>Application and Validation of an Existing Industry 4.0 Guideline for the Development of Specific Recommendations for Implementation</i></p> <p>18. <i>Smart Factory and Industry 4.0. The Current State of Application Technologies</i></p>
<i>Diagnosis of Industry 4.0</i>		19. <i>The design and fabrication of a temperature diagnosis system for the intelligent rotating spindle of industry 4.0</i>
<i>Implementation of Fourth Industrial Revolution</i>	ero	-
<i>Assessment of Fourth Industrial Revolution</i>		20. <i>Assessment of Industrie 4.0 as the fourth industrial revolution-a Delphi study</i>
<i>Application of Fourth Industrial Revolution</i>	ero	-
<i>Diagnosis of Fourth Industrial Revolution</i>	ero	-
<i>Implementation of Smart Factory</i>		21. <i>Multi-agent system "Smart Factory" for real-time workshop management: Results of design &amp; implementation for Izhevsk Axion-Holding Factory</i>

		<p>22. <i>Design and Implementation of M2M-based Smart Factory Management Systems that controls with Smart Phone</i></p> <p>23. <i>In the Automation Environment of Factory and Production, the Implementation of Security-enhanced Mobile Device Management System using Android-based Smart ...</i></p> <p>24. <i>Implementation of a Smart IoT Factory Using an Agricultural Grade Sorting Device</i></p>
<i>Assessment of Smart Factory</i>	ero	-
<i>Application of Smart Factory</i>		<p>25. <i>Smart tool, machine and special equipment: overview of the concept and application for the toolmaking factory of the future</i></p> <p>26. <i>An application of Directory Service for a Smart Factory</i></p> <p>27. <i>Application of Smart Factory Design in Nuclear Energy Industry with Focus on Safety</i></p> <p>28. <i>The Application of Smart Vehicle Deployment System in Asphalt Concrete Factory</i></p> <p>29. <i>Smart Factory and Industry 4.0. The Current State of Application Technologies</i></p>
<i>Diagnosis of Smart Factory</i>		<p>30. <i>A diagnosis and evaluation method for strategic planning and systematic design of a virtual factory in smart manufacturing systems</i></p>

Fonte: Elaborado pelo autor

## APÊNDICE B – REFERÊNCIAS APÓS CRITÉRIO DE INCLUSÃO E MÉTODO BOLA DE NEVE

Quadro 18: Referências após Critério de Inclusão e método Bola de Neve

Fase de escolha	Referência Bibliográfica
Após filtro de critério de Inclusão	<ol style="list-style-type: none"> <li>1. <u>ABERSFELDER, Sandra; BOGNER, Eva; HEYDER, Andreas and FRANKE, Joerg - Application and Validation of an Existing Industry 4.0 Guideline for the Development of Specific Recommendations for Implementation, Trans Tech Publications, Switzerland, 2016.</u></li> <li>2. <u>CHROMJAKOVA, Felicita - Process stabilization - key assumption for implementation of Industry 4.0 concept in industrial company, Journal of Systems Integration, 2017.</u></li> <li>3. <u>SIROTEK, Stefanie; FIRLUS, Benjamin - Does organizational learning pay off? A case study of Norwegian and German firms regarding the link between organizational learning and the maturity of Industry 4.0 implementation, Norwegian University of Science and Technology, 2016.</u></li> <li>4. <u>MAJEED, M. Aabid A; RUPASINGHE, Thashika D. - Internet of Things (IoT) Embedded Future Supply Chains for Industry 4.0: An Assessment from an ERP-based Fashion Apparel and Footwear Industry, International Journal of Supply Chain Management, 2017.</u></li> <li>5. CHENG, Guo-jian; LIU, Li-ting; QIANG; Xin-jian; LIU, Ye - <i>Industry 4.0 Development and Application of Intelligent Manufacturing, International Conference on Information System and Artificial Intelligence, 2016.</i></li> </ol>
Bola de Neve com critério de inclusão	<ol style="list-style-type: none"> <li>1. <i>DORST, Wolfgang; Bitkom e.V. - Implementation Strategy Industrie 4.0 – Report on the results of Industrie 4.0 Platform, Bitkom, VDMA, ZVEI, 2016.</i></li> <li>2. <i>RESCH, Winfried - Germany - Reliable partner for sustainable and smart metallurgical equipment, VDMA, Press Conference 17 May 2016.</i></li> <li>3. <i>McKinsey&amp;Company, VDMA - How to succeed: Strategic options for European machinery, June 2016.</i></li> <li>4. <i>BAUERNHANSL, Thomas; HOMPEL, Michael ten; VOGEL-HEUSER, Birgit - Industrie 4.0 in Produktion, Automatisierung und Logistik - Anwendung · Technologien · Migration - Vieweg, Teubner Verlag, 2014.</i></li> </ol>

	<p>5. HUBER, Walter - <i>Industrie 4.0 in der Automobilproduktion_ Ein Praxisbuch</i> - Springer Vieweg, 2016.</p>
--	--

Fonte: Elaborado pelo autor

## **APÊNDICE C – LISTA DE PROFISSIONAIS DO GRUPO NEMA - PARTICIPANTES DO PAINEL DE EXPERTS VIA GRUPO FOCAL**

1. Alexandre Balestrim Corrêa – Mestre em engenharia da Produção e Sistemas, MBA e bacharel em Ciências da Computação. Atua como Diretor da Elipse Software – empresa de atuação global, atuando em mais de 20 países e mais de 20.000 sistemas instalados. Elipse é provedora de sistemas de Informação e Gerenciamento (PIMS), SACADA (Supervisório, Controle e Aquisição de Dados) e HMI (Interfaces Homem-Máquina) para Processos de automação industrial.
2. Alexandre Baroni – Pós-Doutor em Engenharia de Materiais. Doutor em Engenharia (UFRGS). Mestre em Engenharia de Materiais (PUCRS) com ênfase em engenharia de Produção. Possui especializações em Mecatrônica (PUCRS). Graduado em Engenharia Mecânica. Consultor associado da Prodttare. Atua há mais de 15 anos em execução, implantação e gestão de desenvolvimento de produtos industriais, especialmente no ramo metal-mecânico. Atuou e projetos de implantação de sistemas CAD/CAE/CAM/PDM/PLM e Modularização em empresas como: PPH, Riocell, Tramontina, AGCO, John Deere, GKN, RANDON Implementos, Suspensys, MASTER, JOST, GSI Agromarau, Andreas Sthill, SIEMENS Iriel, Freios CONTROIL, Comil Carrocerias, Tecnomoageira, SULMAQ, Demuth. Coordenador e Professor em disciplinas de graduação e pós-graduação na PUCRS, Uniritter, FTEC e FEEVALE.
3. Alexandre Garcia - mestre em Administração pela Unisinos, especialista em Gestão Empresarial pelo Cesuca Faculdade Inedi e graduado em Comunicação Social Habilitação Relações Públicas pela Unisinos. Professor titular no CESUCA Faculdade Inedi, desde 2008 nos cursos de Administração, Ciências Contábeis, Tecnológico em Comércio Exterior e Engenharia da Produção e Tecnológico em Processo Gerenciais -EaD.
4. Alexandre Gewehr – Gerente TI de Manufatura do grupo AGCO - Administrador com MBA em Engenharia da produção. Profissional com grande histórico em TI de Manufatura em Multinacionais, aplicado no

desenvolvimento do negócio através de projetos de engenharia, logística, serviços, manufatura, controle de custos, material, vendas e outras áreas do negócio. Trabalhou por muitos anos na indústria automotiva DANA.

5. Aziz Eduardo Calzolaio - Pesquisador sobre política produtiva. Trabalhou na secretária de inovação do Estado do RS. Lecionou em universidade. Trabalhou na iniciativa privada. Participou do programa Doutorado Sanduíche na Scuola Superiore Sant'Anna, Pisa - Itália. Atualmente possui uma bolsa de pós-doutorado na UFRGS, na Secretaria de Desenvolvimento Tecnológico, pesquisando sobre o processo de transferência de tecnologia da universidade para o setor produtivo.
6. Cristina Orsolin Klingenberg – Administradora com mestrado em Administração e Doutoranda em Engenharia da Produção. Professora de Gestão de Operações na Unisinos, mestre em Administração e bacharel em Administração de Empresas pela Unisinos. Trabalhou na Petrobras por oito anos em gerenciamento de projetos. Tem experiência nas áreas de gerenciamento de projetos, gestão de processos e logística. Atualmente faz doutorado em Engenharia de Produção e Sistemas e pesquisa a Indústria 4.0 e suas implicações para os negócios.
7. Flávio Pizzato - Especializações em Engenharia da Produção, Enologia e Marketing. Bacharel em Engenharia Elétrica Eletrônica. Bacharel em Enologia. Atuou nas áreas de Eletrônica Digital e TI e, posteriormente, em Engenharia da Produção e Sistemas, além de Enologia. Empreendedor e fundador de várias iniciativas empresariais, desde 1989.
8. Ingomar R. Goltz – Gerente de Manufatura Mahindra – Engenheiro Mecânico, MBA e Mestrado em Gestão e Negócios. Profissional com ampla experiência em Engenharia de Manufatura, Produção, Programação, Controle e Gestão de Materiais em empresas metalmecânicas do ramo agrícola. Trabalhou por muitos anos na indústria do ramo agrícola AGCO.

9. Ivan De Pellegrin – Doutor em Sistemas de Produção pela COPPE/UFRJ. Mestre em Engenharia de Produção pela UFRGS. Especialização em Gestão Empresarial na FGV. Engenheiro Mecânico pela UFSC. Cursos executivos no MIT, Fundação Don Cabral, ANPEI, entre outros. Diretor da Prodttare Consultores Associados. Experiência profissional de mais de 25 anos tendo atuado como executivo nos setores público e privado, além de atividades como instrutor e como consultor em empresas de diversos setores, nas áreas de Estratégia de Operações, Sistemas de Produção, Logística, PPCPM, Gestão de Programas e Projetos. Atuou ainda como Professor em cursos de Especialização e Extensão nas áreas de PPCPM, Logística, Sistemas de Produção, Estratégia de Operações e Gestão da Inovação em instituições tais como: IBGEN/RS, UNISINOS/RS (Porto Alegre, São Leopoldo, Caxias, Bento Gonçalves), UCS (Caxias do Sul/RS), URI (Erechim/RS), FARS (Porto Alegre/RS), FTEC (Caxias do Sul/RS), PUC-RS (Porto Alegre/RS), ULBRA (Canoas/RS), Academia SAP (São Paulo/SP).
10. Marco Siqueira Campos – Mestrando em Data Science com bacharel em Estatística. Diretor e fundador da Siqueira Campos Associados e sos-stat, organização que atua em treinamento, consultoria e desenvolvimento em métodos quantitativos, Data Analytics e mensuração da satisfação do cliente. A sos-stat atua no suporte a teses de mestrado, doutorado e artigos científicos em estatística e data analytics.