



Universidade Estadual de Campinas
Faculdade de Ciências Aplicadas



RENATO MANA

Análise da aderência da Indústria 4.0 ao *Lean Manufacturing*
utilizando análise de correspondência múltipla

Analysis of Industry 4.0 adherence to Lean Manufacturing using
multiple correspondence analysis

LIMEIRA-SP

2018

RENATO MANA

Análise da aderência da Indústria 4.0 ao *Lean Manufacturing* utilizando análise de correspondência múltipla

Analysis of Industry 4.0 adherence to Lean Manufacturing using multiple correspondence analysis

Dissertação apresentada à Faculdade de Ciências Aplicadas da Universidade Estadual de Campinas como parte dos requisitos exigidos para a obtenção do título de Mestre em Engenharia de Produção e de Manufatura, na área de Pesquisa Operacional e Gestão de Processos.

Dissertation presented to the School of Applied Sciences of the University of Campinas in partial fulfillment of the requirements for the degree of Master of Science in Management in the area of Production and Manufacturing Engineering, in the area of Operational Research and Processes Management.

Orientadora: Profa. Phd. Ieda Kanashiro Makiya
Coorientador: Prof. Dr. Francisco Ignácio Giocondo César

Este exemplar corresponde à versão final da dissertação defendida pelo aluno Renato Mana, e orientado pela Profa. PhD. Ieda Kanashiro Makiya.

Assinatura do Orientador

LIMEIRA-SP

2018

Agência(s) de fomento e nº(s) de processo(s): Não se aplica.

ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-0673-8319>

Ficha catalográfica
Universidade Estadual de Campinas
Biblioteca da Faculdade de Ciências Aplicadas
Sueli Ferreira Júlio de Oliveira - CRB 8/2380

Mana, Renato, 1986-
M311a Análise da aderência da Indústria 4.0 ao Lean Manufacturing utilizando análise de correspondência múltipla / Renato Mana. – Limeira, SP: [s.n.], 2018.

Orientador: Ieda Kanashiro Makiya.

Coorientador: Francisco Ignácio Giocondo César.

Dissertação (mestrado) – Universidade Estadual de Campinas, Faculdade de Ciências Aplicadas

1. Indústria 4.0 2. Lean Manufacturing. I. Makiya, Ieda Kanashiro. II. Giocondo Cesar, Francisco Ignacio. III. Universidade Estadual de Campinas. Faculdade de Ciências Aplicadas. IV. Título

REFERÊNCIA BIBLIOGRÁFICA

Mana, Renato. Análise da aderência da Indústria 4.0 ao Lean Manufacturing utilizando análise de correspondência múltipla. 2018. Dissertação (mestrado em Pesquisa Operacional e Gestão de Processos) – Universidade Estadual de Campinas, Limeira, SP.

Informações para Biblioteca Digital

Título em outro idioma: Analysis of Industry 4.0 adherence to Lean Manufacturing using multiple correspondence analysis.

Palavras-chave em inglês:

Industry 4.0

Lean Manufacturing

Industrial impacts

Área de Concentração: Pesquisa Operacional e Gestão de Processos

Titulação: Mestre em Engenharia de Produção e Manufatura

Banca Examinadora:

Ieda Kanashiro Makiya

Aníbal Tavares de Azevedo

Iris Bento da Silva

Data de defesa: 26-10-2018

Programa de Pós-Graduação: Engenharia de Produção e Manufatura

FOLHA DE APROVAÇÃO

Autor: Renato Mana

Título: Análise da aderência da Indústria 4.0 ao Lean Manufacturing utilizando análise de correspondência múltipla.

Natureza: Dissertação

Área de Concentração: Engenharia de Produção e Manufatura / Pesquisa Operacional

Instituição: Faculdade de Ciências Aplicadas – FCA/UNICAMP

Data de Defesa: Limeira, SP, 26 de outubro de 2018.

Banca Examinadora:

Profa. PhD. Ieda Kanashiro Makiya (orientadora)

Prof. Dr. Aníbal Tavares de Azevedo (FCA-UNICAMP)

Prof. Dr. Iris Bento da Silva (POLI-UFSCAR)

A ATA de Defesa com as respectivas assinaturas dos membros da banca encontra-se no processo de vida acadêmica do aluno.

Dedico este trabalho primeiramente à Deus, nada seria sem a fé que tenho Nele. À minha família e amigos, em especial a meus pais que sempre me ajudaram a ser uma pessoa melhor, e à minha esposa e filha por todo carinho e apoio incondicional.

Agradecimentos

Primeiramente gostaria de agradecer a Deus, por prover fontes constantes de inspirações e oportunidades para superar todos os desafios envolvidos durante toda a jornada do mestrado.

A meus pais, por terem traçado toda minha formação intelectual até aqui, de forma íntegra e honesta.

A minha esposa, por todo amor e carinho, e por ter proporcionado a força essencial nesta trajetória.

A minha filha Helena, minha maior fonte de inspiração diária.

A minha orientadora Ieda Kanashiro Makiya, pelo incentivo constante e imensa fonte de sabedoria.

Ao meu coorientador/amigo Francisco Ignácio Giocondo César, por toda sabedoria compartilhada, por todo suporte necessário de forma sempre vibrante.

A todos meus amigos e colegas que me ajudaram nesse percurso de luta e aprendizagem.

Ao diretor geral da empresa WIKA do Brasil Ind. E Com. Ltda, Sr. Carlos Guapyassu Machado, pelo incentivo e confiança inestimáveis.

*"A alegria está na luta, na tentativa, no sofrimento envolvido,
e não na vitória propriamente dita".*

*"Você nunca sabe que resultados virão da sua ação.
Mas se não fizer nada, não existirão resultados".*

(Mahatma Gandhi)

MANA, Renato. Análise da aderência da Indústria 4.0 ao Lean Manufacturing utilizando análise de correspondência múltipla. 2018. Dissertação (Mestrado em Engenharia de Produção e Manufatura) – Faculdade de Ciências Aplicadas, Universidade Estadual de Campinas – UNICAMP, Limeira, SP.

Resumo

Diante do novo cenário globalizado e competitivo, a busca das empresas por menores prazos e custos, melhor qualidade e flexibilidade é uma constante. A Indústria 4.0 (I.4.0) trás intrínseco a necessidade de atualização de todo o sistema de gestão industrial anteriormente dominado pelo Lean Manufacturing (LM), o que conduz à formulação de alguns questionamentos acerca do tema e que são merecedores de pesquisa. Tendo em vista estes dois conceitos (I.4.0 e LM), o objetivo desse trabalho é verificar, por meio de uma revisão bibliográfica, *Survey* e análise de correspondência, a aderência dos novos conceitos da I.4.0 aos conceitos já consolidados do LM, bem como o ponto de integração de ambos os conceitos e filosofias, buscando analisar a contribuição de sua integração. Dessa forma, neste trabalho, são discutidos os aspectos complementares e divergentes entre os dois conceitos, levantado e explanado os métodos e procedimentos qualitativos e correlacionais adequados e finalmente definido os pontos de aderência entre eles. Trata-se de uma pesquisa quali-quantitativa exploratória, baseada em pesquisa bibliográfica, concluída por meio de pesquisas com especialistas da área e também validada através de uma análise multivariada de dados, a análise de correspondência. Os resultados da pesquisa são apresentados com o objetivo de contribuir para uma possível tomada de decisão para todos que desejam integrar os conceitos, e também servir de base para o estudo de novos conceitos de gestão ou no desenvolvimento de futuras pesquisas complementares.

PALAVRAS-CHAVE: Indústria 4.0; Lean Manufacturing; Impactos Industriais; Análise de correspondência.

MANA, Renato. Analysis of Industry 4.0 adherence to Lean Manufacturing using multiple correspondence analysis. 2018. Dissertation (Master in Production and Manufacturing Engineering) – Faculdade de Ciências Aplicadas, Universidade Estadual de Campinas – UNICAMP, Limeira, SP.

Abstract

Given the new globalized and competitive scenario, the search for companies for shorter terms and costs, better quality and flexibility is a constant. Industry 4.0 (I.4.0) brings back the need to update the entire industrial management system previously dominated by Lean Manufacturing (LM), which leads to the formulation of some questions about the subject and which are worthy of research. Considering these two concepts (I.4.0 and LM), the objective of this work is to verify, through a literature review, Survey and correspondence analysis, the adherence of the new I.4.0 concepts to the already consolidated concepts of LM as the point of integration of both concepts and philosophies, seeking to analyze the contribution of their integration. In this way, in this work, the complementary and divergent aspects between the two concepts are discussed, the appropriate qualitative and correlational methods and procedures are raised and explained and finally the points of adhesion between them are defined. It is an exploratory qualitative-quantitative research, based on bibliographic research, completed through research with specialists in the field and also validated through a multivariate data analysis, correspondence analysis. The results of the research are presented with the objective of contributing to a possible decision making for all who wish to integrate the concepts, as well as being the basis for the study of new management concepts or the development of future complementary researches.

KEY-WORDS: Industry 4.0; Lean Manufacturing; Industrial Impact; Correspondence analysis.

Lista de Figuras

Figura 1 - Estrutura da dissertação	21
Figura 2 - Guardo-chuva do Kaizen	29
Figura 3 - Demonstração do ciclo dos 5S.....	30
Figura 4 - Distinção dos sistemas de produção empurrado e puxado	31
Figura 5 - Estágios de aplicação do SMED.....	33
Figura 6 - Arranjos físicos Fluxo Contínuo e Celular	35
Figura 7 - Exemplo de quadro de gestão completo	36
Figura 8 - Exemplo de um mapa de fluxo de valor	37
Figura 9 - Exemplo de Quadro de Sistema de Kanban.....	38
Figura 10 - Exemplo de Poka Yoke	39
Figura 11 - Componentes do tempo de ciclo.....	40
Figura 12 - Exemplo de folha de trabalho padrão	42
Figura 13 - Os quatro estágios da revolução industrial	43
Figura 14 - Integração horizontal através de rede de valores.....	46
Figura 15 - Integração vertical e rede de sistemas de manufatura.....	46
Figura 16 - Engenharia <i>end-to-end</i> por toda a cadeia de valores	47
Figura 17 - Perspectiva macro da Indústria 4.0.....	47
Figura 18 - Perspectiva micro da I.4.0.....	48
Figura 19 - As principais técnicas disponíveis conforme conceitos I.4.0	53
Figura 20 - Justificativa da escolha das técnicas	55
Figura 21 - Exemplos de tags de RFID	56
Figura 22 - Exemplo de aplicação de realidade aumentada	58
Figura 23 - Exemplo de aplicação de realidade virtual	59

Figura 24 - Exemplo de interação do Big Data	60
Figura 25 - Mapa estratégico genérico	61
Figura 26 - Exemplo de funcionamento de Cloud Computing.....	62
Figura 27 - Exemplo de funcionamento de Manufatura Aditiva.....	63
Figura 28 - Exemplo de funcionamento de um AGV	64
Figura 29 - Exemplo de CAD/CAE/CAM	65
Figura 30 - Exemplo da arquitetura de um sistema supervisório	66
Figura 31 - Exemplo de simulação com o Flexsim	67
Figura 32 - Países que consideram People Analytics	68
Figura 33 - Dimensões agrupadas do Lean Manufacturing	71
Figura 34 - Impactos da I.4.0 no fator de fornecedor	72
Figura 35 - Impacto da I.4.0 no fator de processo	76
Figura 36 - Impacto da I.4.0 no fator humano e controle	79
Figura 37 - Métodos e técnicas de pesquisa da metodologia científica.....	84
Figura 38 - Classificação da pesquisa	87
Figura 39 - Etapas do método de pesquisa	88
Figura 40 - Etapas de desdobramento de uma pesquisa	89
Figura 41 - Processo de levantamento de pesquisa	98
Figura 42 - Diversidade das nacionalidades dos respondentes.....	103
Figura 43 - Mapa geográfico dos respondentes.....	104
Figura 44 - Nível dos respondentes da pesquisa.....	104
Figura 45 - Classificação das empresas pelo número de funcionários	105
Figura 46 - Representação gráfica das medidas de discriminação	110
Figura 47 - Representação das medidas de discriminação do VSM para as técnicas da I.4.0	112

Figura 48 - Representação das medidas de discriminação do Kaizen para as técnicas da I.4.0	114
Figura 49 - Representação das medidas de discriminação do 5S para as técnicas da I.4.0....	116
Figura 50 - Representação das medidas de discriminação do JIT para as técnicas da I.4.0...	117
Figura 51 - Representação das medidas de discriminação do Kanban para as técnicas da I.4.0	119
Figura 52 - Representação das medidas de discriminação do Poka-Yoke para as técnicas da I.4.0.....	121
Figura 53 - Representação das medidas de discriminação do SMED para as técnicas da I.4.0	123
Figura 54 - Representação das medidas de discriminação do Takt Time para as técnicas da I.4.0.....	125
Figura 55 - Representação das medidas de discriminação do Layout para as técnicas da I.4.0	126
Figura 56 - Representação das medidas de discriminação da Gestão Visual.....	128
Figura 57 – Mapa das principais relações entre as técnicas	130
Figura 58 – Gráfico de aderência das técnicas da I.40 ao LM	131

Lista de Tabelas

Tabela 1 - Distinção entre ferramenta, técnica e filosofia	22
Tabela 2 - Principais técnicas e ferramentas associadas ao LM	25
Tabela 3 - Princípios relacionados à I.4.0	49
Tabela 4 – Principais recursos relacionados à I.4.0	50
Tabela 5 - Tabela das principais técnicas associadas à Indústria 4.0	54
Tabela 6 - Resumo da integração das dimensões LM, desafios e soluções	82
Tabela 7 - Classificação da pesquisa	85
Tabela 8 - Tabela de Contingência Genérica	91
Tabela 9 - Matriz de Correspondência P	92
Tabela 10 - Tabulação dos dados de questionário para cálculo do alfa de Cronbach	101
Tabela 11 – Caracterização do ramo de atividade das empresas respondentes	105
Tabela 12 – Tabela de variáveis descartadas após Alpha de Cronbach	106
Tabela 13 - Resumo das relações analisadas via SPSS v.24	107
Tabela 14 - Resumo do modelo estudado após Alpha de Cronbach	108
Tabela 15 - Tabela de medidas de discriminação	109
Tabela 16 - Alpha de Cronbach para VSM x I.4.0	111
Tabela 17 - Tabela de medidas de discriminação do VSM	111
Tabela 18 - Alpha de Cronbach para Kaizen x I.4.0	113
Tabela 19 - Tabela de medidas de discriminação do Kaizen	113
Tabela 20 - Alpha de Cronbach para 5S x I.4.0	114
Tabela 21 - Tabela de medidas de discriminação do 5S	115
Tabela 22 - Alpha de Cronbach para JIT x I.4.0	116
Tabela 23 - Tabela de medidas de discriminação do JIT	117

Tabela 24 - Alpha de Cronbach para Kanban x I.4.0	118
Tabela 25 - Tabela de medidas de discriminação do Kanban	118
Tabela 26 - Alpha de Cronbach para Poka-Yoke x I.4.0	120
Tabela 27 - Tabela de medidas de discriminação do Poka-Yoke	120
Tabela 28 - Alpha de Cronbach para SMED x I.4.0	121
Tabela 29 - Tabela de medidas de discriminação do SMED	122
Tabela 30 - Alpha de Cronbach para Takt Time x I.4.0	123
Tabela 31 - Tabela de medidas de discriminação do Takt Time	124
Tabela 32 - Alpha de Cronbach para Layout/Arranjo Físico x I.4.0	125
Tabela 33 - Tabela de medidas de discriminação do Layout/Arranjo Físico	126
Tabela 34 - Alpha de Cronbach para Gestão Visual x I.4.0	127
Tabela 35 - Tabela de medidas de discriminação do Gestão Visual	127
Tabela 36 - Tabela das principais correspondências entre os conceitos	129

Lista de Abreviaturas e Siglas

LM	<i>Lean Manufacturing</i>
I.4.0	Indústria 4.0
FCA	Faculdade de Ciências Aplicadas
JIT	<i>Just in Time</i>
VSM	<i>Value Stream Mapping</i>
SMED	<i>Single Minute Exchange of Die</i>
PFT	Princípios, ferramentas e técnicas
SPSS	<i>Statistical Package for the Social Sciences</i> – software científico
TPS	<i>Toyota Production System</i>
AC	Análise de Correspondência
ACM	Análise de Correspondência Múltipla
CPS	<i>Cyber Physical Systems</i>
IoT	<i>Internet of Things</i>
IoS	<i>Internet of Services</i>
IP	<i>Internet Protocol</i>
PME	Pequenas e médias empresas
ERP	Enterprise Resource Planning

Sumário

1	INTRODUÇÃO	19
1.1	Caracterização do Problema	20
1.2	Objetivo	20
1.3	Estrutura da dissertação	21
1.3.1	Desenvolvimento Teórico	21
1.3.2	Metodologia	22
1.3.3	Resultados e conclusão	22
2	REFERENCIAL TEÓRICO	22
2.1	Lean Manufacturing	23
2.1.1	As principais técnicas do <i>Lean Manufacturing</i>	26
2.1.1.1	Kaizen	28
2.1.1.2	5S	29
2.1.1.3	JIT – Just in Time (JIT)	30
2.1.1.4	SMED – Single Minute Exchange of Die	32
2.1.1.5	Arranjo físico / Layout	33
2.1.1.6	Gestão Visual	35
2.1.1.7	<i>Value Stream Mapping</i> (VSM)	36
2.1.1.8	Kanban	37
2.1.1.9	Poka Yoke	38
2.1.1.10	Tempo Takt e trabalho padrão	39
2.2	Indústria 4.0	43
2.2.1	As técnicas da I.4.0	52
2.2.1.1	RFID	55
2.2.1.2	Realidade Aumentada (AR)	57
2.2.1.3	Realidade Virtual (VR)	58
2.2.1.4	Big Data	59
2.2.1.5	Data Mining	61
2.2.1.6	Cloud Computing	62
2.2.1.7	Manufatura aditiva (Impressora 3D)	63
2.2.1.8	AGV (Autonomous Guided Vehicle)	64
2.2.1.9	CAD/CAM/CAE	65
2.2.1.10	Sistema supervisor	66

2.2.1.11	Flexsim (Ferramenta/técnica de simulação de processos industriais)	67
2.2.1.12	People Analytics	68
2.3	Contribuições da I.4.0 ao LM	69
2.3.1	Fator de fornecedor	71
2.3.1.1	<i>Feedback</i> do fornecedor	72
2.3.1.2	Entrega Just-In-Time (JIT) pelos fornecedores	73
2.3.1.3	Desenvolvimento de fornecedores	74
2.3.2	Fator de cliente	74
2.3.2.1	Envolvimento do cliente	75
2.3.3	Fator de processo	76
2.3.3.1	Produção puxada	76
2.3.3.2	Fluxo contínuo	77
2.3.3.3	Redução de tempo de <i>Setup</i>	78
2.3.4	Fator humano e controle	78
2.3.4.1	Manutenção Produtiva/preventiva total	79
2.3.4.2	Controle estatístico do processo	80
2.3.4.3	Envolvimento dos funcionários	81
2.3.5	Considerações sobre a integração I.4.0 no LM	82
3	METODOLOGIA DE PESQUISA	84
3.1	Classificação da pesquisa	85
3.2	Etapas da pesquisa	88
3.3	Técnica estatística aplicada – Análise de Correspondência	90
3.3.1	Formulação Matemática da Análise de Correspondência	91
3.3.1.1	Inércia Total e Autovalores	93
3.3.1.2	Análise gráfica da AC	96
3.4	<i>Survey</i>	97
3.4.1	A utilização da escala Likert nos dados da <i>Survey</i>	99
3.4.2	Análise e interpretação dos dados da <i>Survey</i>	100
3.4.3	Técnica para aumentar a confiabilidade – Alfa de Cronbach	100
3.4.4	Resumo da metodologia aplicada	102
3.5	Análise da amostragem	103
4	ANÁLISE DOS RESULTADOS	106
4.1	Análise dos Resultados Globais	107
4.2	Análise dos Resultados Individuais	110
4.2.1	Análise do VSM para cada variável/técnica da Indústria 4.0	111

4.2.2	Análise do Kaizen para cada variável/técnica da Indústria 4.0	112
4.2.3	Análise do 5S para cada variável/técnica da Indústria 4.0	114
4.2.4	Análise do JIT para cada variável/técnica da Indústria 4.0	116
4.2.5	Análise do Kanban para cada variável/técnica da Indústria 4.0	118
4.2.6	Análise do Poka-Yoke para cada variável/técnica da Indústria 4.0	119
4.2.7	Análise do SMED para cada variável/técnica da Indústria 4.0	121
4.2.8	Análise do Takt Time para cada variável/técnica da Indústria 4.0.....	123
4.2.9	Análise do Layout/Arranjo Físico para cada variável/técnica da Indústria 4.0.....	125
4.2.10	Análise da Gestão Visual para cada variável/técnica da Indústria 4.0	127
4.3	Análises Individuais.....	129
5	CONSIDERAÇÕES FINAIS.....	132
5.1	Contribuições do estudo.....	133
5.2	Sugestões para estudos futuros.....	133
	REFERÊNCIAS	135
	ANEXO 1.....	150
	ANEXO 2.....	151

1 Introdução

A necessidade de consumo seja de bens ou serviços, cresce naturalmente de acordo com o crescimento da população mundial. Incluso neste contexto estão as indústrias de manufatura como um todo, sendo consideradas geradoras de riquezas responsáveis por suprir essa demanda cada vez mais crescente.

Por outro lado, um ambiente cada vez mais competitivo faz com que as empresas de manufatura trabalhem em um ambiente cada vez mais desafiador, no qual fatias do mercado são disputadas entre as grandes empresas assim como com as empresas de menor porte e, muitas vezes, um pequeno detalhe em sua gestão é que se torna o diferencial. Surge então a necessidade de criar ambientes no qual a gestão de desenvolvimento de novos produtos e serviços seja cada vez mais eficaz e cada vez mais rápida. Dento desse conceito, Vermulm e Eber (2002) destacam o setor de bens de capital, definido como sendo aquele que fabrica máquinas e equipamentos utilizados pelos demais setores para produzir bens e serviços, o qual será um dos focos da aplicação desse estudo.

Um relatório da *World Investment Report* (UNITED NATIONS, 2005), constata que o Brasil está sendo impactado pela globalização das atividades de pesquisa e desenvolvimento realizadas por empresas multinacionais principalmente por ser um país em desenvolvimento.

Essa globalização faz com que todas as empresas sintam a necessidade de atualização tecnológica para que possam continuar competitivas em um mercado cada vez mais exigente. Tendo em vista esta necessidade de atualização tecnológica, este trabalho fomenta a ideia de verificar a integração das novas tecnologias difundidas pela I.4.0 e os conceitos já largamente fundamentados e aplicados do LM pelas empresas dos mais diversos setores.

No que tange o desenvolvimento tecnológico, a I.4.0 busca uma (r)evolução na forma de como o processo de controle e monitoramento industrial estão sendo tratados. Ações anteriormente não tão preocupantes passa a ser algo que estão sendo identificados por empresas cada vez mais competitivas, como por exemplo a precisão na coleta e análise de dados, com o objetivo de uma correta tomada de decisão fomentada por objetivos cada vez mais difíceis de serem atingidos.

1.1 Caracterização do Problema

Conforme apresentado por Pfeiffer (2015), a I.4.0 é uma mudança sistêmica que tem provocado grandes alterações no mundo, não somente pela infinidade de tecnologias e formas de aplicação, mas também pela introdução de novas tecnologias que demandem adaptação gradual dos sistemas de trabalho, com diferentes graus de maturidade técnica e efeitos sistêmicos. A I.4.0 trás intrinseco a necessidade de atualização de todo o sistema de gestão industrial anteriormente muito difundido por meio do LM, o que conduz à formulação de alguns questionamentos acerca do tema e que são merecedoras de pesquisa apropriada para a resposta, como por exemplo:

- Qual a aderência da I.4.0 ao LM?
- Qual a contribuição/influência da I.4.0 ao LM?
- Quais técnicas do LM serão afetadas por esse novo conceito?
- Qual a integração do LM com a I.4.0?

Diante desses novos desafios, a integração entre a I.4.0 e o LM, faz-se necessário para o aumento da competitividade das empresas, tendo baseado em estudos significativamente positivos em que ambos conceitos são de grande valia e de resultados otimistas.

1.2 Objetivo

Nesse contexto o objetivo desse trabalho é traçar, por meio de uma revisão bibliográfica da literatura, uma matriz, de aderência a I.4.0 no LM, bem como a integração entre ambos conceitos e tecnologias realizando uma pesquisa quali-quantitativa e que a integração desse processo atenda as demandas desse novo modelo de gestão industrial. Ao final será realizada uma pesquisa *Survey* com especialistas da área, validada através da análise de correspondência, que tem como objetivo dar uma transparência ao leitor quanto a uma possível escolha de aplicação das técnicas.

1.3 Estrutura da dissertação

A estrutura deste trabalho será composta por três etapas principais de desenvolvimento, conforme será apresentado na figura a seguir.

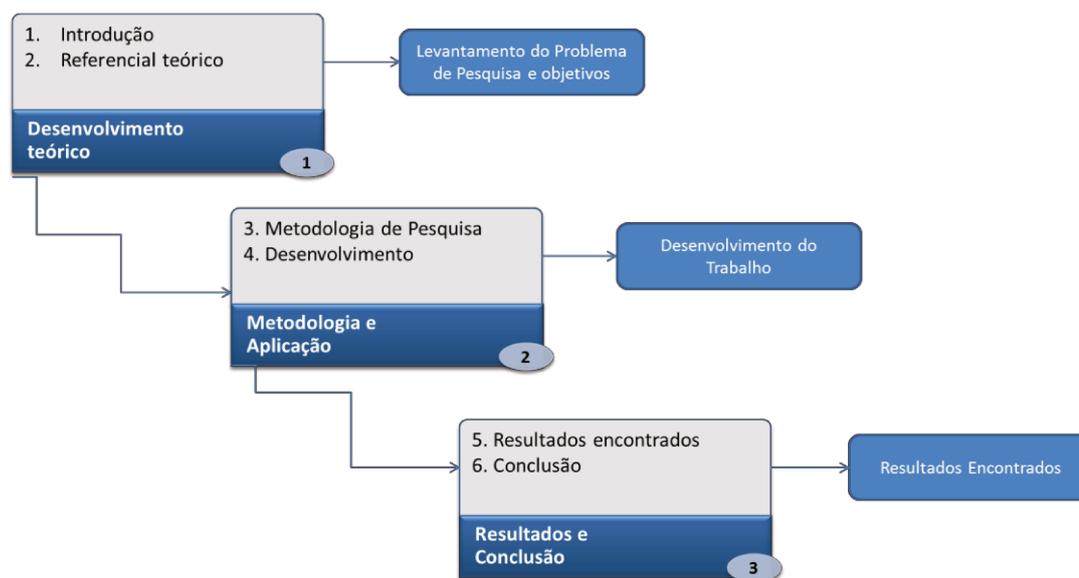


Figura 1 - Estrutura da dissertação

A figura 1 visa demonstrar de forma clara e resumida a estrutura utilizada nesta dissertação na qual contará com três passos principais, os quais serão apresentados de forma mais abrangente nos tópicos a seguir.

1.3.1 Desenvolvimento Teórico

O desenvolvimento teórico apresenta uma visão geral deste trabalho auxiliando na identificação do problema de pesquisa bem como nos objetivos. Nesta parte do trabalho será apresentado o fundamento da pesquisa e sua importância, bem como será realizado todo o levantamento teórico do trabalho. Este levantamento teórico entende-se como sendo a revisão bibliográfica dos principais conceitos da I.4.0 e do LM, pesquisados entre o período de 2012 e 2018, devido ao fato de que o início do conceito I.4.0 ter sido criado a partir de tal data, considerando as principais bases de dados acadêmicos disponíveis para consulta.

1.3.2 Metodologia

Nesta parte do trabalho será apresentada a integração dos conceitos LM e I.4.0 bem como o desenvolvimento do modelo proposto. Esta parte será responsável por toda a análise e pesquisa aplicada com o objetivo de prover informações necessárias para responder aos questionamentos da parte anterior.

1.3.3 Resultados e conclusão

A partir dos dados levantados através da metodologia e aplicação, serão apresentados e discutidos os resultados obtidos e a conclusão que foi obtida por meio dos dados levantados durante o desenvolvimento deste trabalho. A conclusão é baseada no levantamento bibliográfico, na pesquisa com os especialistas e na análise de correspondência.

2 Referencial Teórico

Este capítulo busca trazer a contextualização dos principais temas abordados por este trabalho. Foi realizado um levantamento sobre os principais conceitos do LM mencionados em artigos científicos e que possuem uma congruência com os conceitos da I.4.0.

Como introdução para a apresentação dos conceitos do LM e da I.4.0, é de grande valia salientar que existe uma distinção entre ferramenta, técnica e filosofia.

Tabela 1 - Distinção entre ferramenta, técnica e filosofia

	Aurélio (2013)	Basu (2009)
Ferramenta	Conjunto de instrumentos e utensílios empregados em um ofício.	Uma ferramenta é um recurso que tem uma função clara e bem definida. Sendo de uso restrito a sua função.
Técnica	Conjunto dos métodos, práticas e processos essenciais à execução perfeita de uma arte ou profissão.	A técnica requer um processo intelectual maior, mais habilidade, conhecimento, compreensão e formação, a fim de usá-la de forma eficaz.
Filosofia	Conjunto de estudos ou de considerações que tendem a reunir uma ordem determinada de conhecimento ... E um número reduzido de princípios que lhe servem de fundamento ...	São procedimentos mais elaborados que envolvem a cultura da organização.

Fonte: Adaptado de César (2017)

A tabela 1 apresenta a diferença entre ferramenta, técnica e filosofia, levando em consideração duas visões diferentes (AURÉLIO, 2013 e BASU, 2009), com o intuito de apresentar a distinção entre os conceitos apresentados, o que vem a ser importante para o desenvolvimento do trabalho, facilitando ao leitor a interpretação das informações contidas neste trabalho.

2.1 Lean Manufacturing

Conforme Ohno (2002), o sistema de produção *Lean Manufacturing* foi desenvolvido logo após a Segunda Guerra Mundial, em meados da década de 1950 pela *Toyota Motors* como resposta as dificuldades financeiras a qual passava o Japão no pós-guerra, porém só veio a ser conhecida no ocidente a partir da década de 1970, em decorrência da primeira crise do petróleo, no qual chamou a atenção sobre a indústria japonesa. Durante esta crise, pela primeira vez, os gerentes das indústrias ocidentais notaram os resultados que a Toyota estava conseguindo com a sua implacável perseguição à eliminação dos desperdícios (WOMACK et al, 2004).

A partir de então, a Toyota se tornou referência no ramo produtivo em questão do novo sistema de gerenciamento e produção implementado, conforme afirmado por Amasak (2002).

Segundo Liker (2005), pela primeira vez esse sistema de produção LM, durante a década de 80, inicialmente chamado de Sistema Toyota da Produção (TPS) que chamou a atenção quando ficou claro que havia algo de diferente na eficiência e qualidade da indústria automobilística japonesa, porém, o STP vai muito além de sua aplicação automobilística.

Já Benders (2004) entende que a reputação em qualidade e rapidez da Toyota se dá em razão da aplicação do TPS (*Toyota Production System*), principalmente em questão do processo de desenvolvimento de produtos no mundo.

Arbós (2002) enfatiza que a área de serviços atingiu melhores níveis de eficiência e competitividade devido aos princípios enxutos utilizados pela Toyota.

Para o melhor entendimento do LM, existem dois métodos alternativos de organização de produção: o primeiro método é de produção empurrada, método este que consiste em "... Processamento de grandes lotes de produtos em um ritmo máximo, com base em previsão de demanda, movimentando esses lotes para o processo seguinte, fluxo abaixo, sem levar em conta as variações do processo seguinte." (LEAN ENTERPRISE INSTITUTE, 2003). O segundo método tratado é o de produção puxada que tem como método "... de controle da

produção em que as atividades de fluxo abaixo avisam às atividades fluxo acima sobre suas necessidades...” (LEAN ENTERPRISE INSTITUTE, 2003). Contudo, a produção puxada tenta eliminar a produção em excesso, e o Lean é baseado neste método.

De acordo com Hayes (1982) e Krafcik (1988), há algumas décadas, o conceito de produção LM era visto como uma alternativa ao modelo tradicional de manufatura e, atualmente, é um paradigma indiscutível para as operações, e sua influência pode ser amplamente encontrada nas estratégias de manufatura e serviços (KATAYAMA e BENNETT, 1996).

Na última década a literatura tem documentado a implantação da produção LM, sendo empregada em vários setores industriais no ocidente. O LM é considerada a mais popular prática de produção industrial desde o final da década de 1990, quando a divulgação de suas práticas teve início, o que tornou as indústrias do setor automotivo do mundo mais competitivas (MARUDHAMUTHU e KRIDHNASWAMY, 2012), com o objetivo de otimizar a produção e no uso de recursos ao longo de toda a cadeia produtiva e vem gerando resultados positivos, auxiliando na eliminação das atividades que não agregam valor (CORBETT e KLASSEN, 2006).

Para o embasamento da escolha das técnicas a serem consideradas neste estudo, uma tabela desenvolvida por Pettersen (2009) e Shah e Ward (2003) foi levada em consideração. Esta tabela apresenta as principais técnicas do LM citadas na literatura, segundo esses autores, e foram classificadas de acordo com sua frequência encontrada na literatura.

Tabela 2 - Principais técnicas e ferramentas associadas ao LM

Técnicas Lean	Ganhos (ver nota)									Ocorrência %
	(1)	(2)	(3)	(4)	(5)	(6)	(7)	(8)	(9)	
Kaizen	X	X	X	X	X	X	X	X	X	100
SMED	X	X	X	X	X	X	X	X	X	100
JIT/Kanban	X	X		X	X	X	X	X	X	89
Poka Yoke		X	X	X	X	X	X	X	X	89
Heijunka	X	X	X	X	X	X	X		X	89
Trabalho Padrão		X	X	X	X	X	X	X	X	89
Gestão Visual		X	X	X	X	X	X	X	X	89
5S	X	X	X	X		X	X	X		80
Andon	X	X			X	X	X	X	X	78
Lotes Reduzidos		X	X		X	X	X	X	X	78
Treinamento	X	X	X	X	X	X	X			78
Eliminação de Perdas	X	X	X	X		X		X	X	78
Redução de Inventário	X	X		X		X	X	X	X	78
Envolvimento dos fornecedores	X	X	X	X	X		X			66
Tempo Takt		X	X	X	X		X		X	66
TPM		X	X	X	X	X		X		66
Jidoka		X		X			X	X	X	55
CEP	X		X		X		X	X		55
Teamwork	X	X		X	X	X				55
Redução da força de trabalho				X		X	X	X	X	55
Inspeção 100%		X		X				X	X	44
Adequação do Layout				X			X	X	X	44
Hoshin Kanri	X	X	X	X						44
CCQ		X		X			X	X		44
Análise de causa raiz	X	X	X			X				44
VSM	X	X	X	X						44
On the Job Training		X			X			X		33
Envolvimento dos funcionários	X	X		X						33
Redução do lead time		X		X			X			33
Multi tarefa						X	X		X	33
Manufatura de fluxo contínuo		X						X	X	33
Manufatura celular			X		X					22

Fonte: Adaptado de Pettersen (2009); Shah e Ward (2003)

Notas:

(1) Redução de defeitos e antecipação da demanda – Womack et al (2004); Womack e Jones (2004)

(2) Fluxo de uma peça – Liker (2005, 2007)

- (3) Redução de perdas e agregação de valor – Bicheno (2004)
- (4) Foco no cliente (alta qualidade, baixo custo, tempo curto) – Dennis (2002)
- (5) Operações produtivas robustas – Feld (2001)
- (6) Redução de custo – Ohno (2002)
- (7) Eliminação das perdas e redução do custo – Monden (1998)
- (8) Melhoria da qualidade e da produtividade – Schonberger (2007)
- (9) Redução de custo por meio da eliminação das perdas – Shingo (1986)

Para finalidade deste trabalho e com base nos estudos de Pettersen (2009) e Shah e Ward (2003), das técnicas listadas acima, algumas delas serão abordadas de forma mais detalhada junto às técnicas da I.4.0 devido à facilidade de integração tecnológica disponível e também, principalmente, devido ao maior número de ocorrências quando relacionado a pesquisa de “*Lean Manufacturing*”. Das 32 técnicas consideradas do LM, foram escolhidas as 8 primeiras por possuírem um maior porcentual de ocorrência (acima de 80%), e adicionalmente 2 técnicas que foram escolhas do próprio autor da pesquisa para que seja feita a análise. Esta escolha das duas técnicas pelo autor foi levada em consideração sua experiência na indústria e aplicação em campo. Outro motivo das duas técnicas (VSM e Tempo Takt) escolhidas pelo autor é devido ao fato de que as duas das principais técnicas com maior incidência segundo a tabela 2 (Kaizen e 5S) são de caráter conceitual/comportamental, levando também uma mudança de cultura e comportamento por parte dos envolvidos. Já as duas técnicas escolhidas pelo autor possuem um caráter mais operacional, focados mais em resultados operacionais e menos em mudança de comportamento propriamente dito.

A seguir as técnicas de análise serão listadas também salientando seu grau de contribuição junto à I.40, grau este que será abordado posteriormente ao estudo proposto neste trabalho.

- | | | |
|-------------------------------|--------|-----------------------|
| • Kaizen | SMED | JIT |
| • Gestão Visual | 5S | Arranjo físico/Layout |
| • VSM | Kanban | Poka-Yoke |
| • Takt Time / Trabalho Padrão | | |

2.1.1 As principais técnicas do *Lean Manufacturing*

Para cumprimento de um dos objetivos deste trabalho, a integração entre o LM e I.4.0, será necessário descrever alguns dos principais conceitos de cada um dos assuntos mencionados anteriormente.

Como uma breve introdução às técnicas do LM, será apresentado o conceito dos 7 desperdícios, que foram premissas para o desenvolvimento de muitas técnicas. Os 7 desperdícios da produção foram identificados e categorizados por Taiichi Ohno (2002), um engenheiro de produção da Toyota que iniciou sua carreira no setor automotivo em 1943 e é considerado o pai do *Lean Manufacturing*. Segundo Ohno (2002) os 7 desperdícios podem ser categorizados da seguinte forma:

- **Excesso de produção:** está relacionado ao fato de se produzir mais do que o requerido pela demanda dos clientes ou por produzir em um ritmo acima do necessário. Portanto, dentro do TPS a produção deve ser sustentada pela filosofia *Just-In-Time* (JIT), que significa produzir peças ou produtos exatamente na quantidade requerida, quando requerida, e não antes disso.
- **Espera:** é a atividade de ter que esperar para processar determinada peça, o que constitui em desperdício. Ohno (2002) cita que existem dois tipos de espera: a de processo e a de lotes. Espera do processo ocorre quando um lote inteiro de itens não processados permanece esperando enquanto o lote precedente é processado, inspecionado ou transportado; ou quando há acumulação de estoque excessivo a ser manufaturado ou entregue. Espera do lote ocorre quando durante as operações ou processamento de um lote, o lote inteiro, com exceção da parte que está sendo processada, encontra-se parada (esperando). Aguardando a peça processada, outras para ser trabalhada ou ainda o restante do lote para prosseguir.
- **Transporte desnecessário:** esse elemento é de grande importância na produção devido ao seu envolvimento com as entregas aos clientes, de peças e materiais dos fornecedores e entre os processos envolvidos no chão-de-fábrica (OHNO, 2002).
- **Processo desnecessário:** a atividade de acrescentar ao processo mais trabalho ou esforço do que requerido pelas especificações dos clientes também deve ser tratada como desperdício. O valor deve ser criado pelo produtor, e o cliente deve enxergá-lo e querer pagar por ele. Dessa forma, o “pensamento enxuto”

deve começar com uma tentativa consciente de se definir precisamente o valor nos produtos.

- **Estoque desnecessário:** quando ocorre excesso de fornecimento de peças entre os processos ou muitas peças são entregues pelos fornecedores com o intuito de abastecer a fábrica, ocorre o que se chama de inventário. Esse estoque exige capital de giro para sua manutenção, gera custo, caracteriza dinheiro parado (perdas). Quanto maior o inventário, maior o desperdício.
- **Defeito:** pode-se dizer que este item está entre os piores fatores de desperdício, pois os mesmos podem gerar retrabalho e alto custo de recuperação ou mesmo a perda do material. Além do risco de se perder clientes os produtos devem ser manufaturados de forma correta logo na primeira vez, caso contrário será adicionado tarefas desnecessárias para sua finalização.
- **Movimento desnecessário:** este item está relacionado à desorganização do ambiente de trabalho (*layout*). As movimentações dentro do setor produtivo devem ser aquelas que são necessárias para o processamento de atividades. Muitas vezes essas movimentações podem ser reduzidas, agrupadas ou até mesmo eliminadas. O ideal para a produção é que as atividades de movimentação sejam realizadas sem comprometimento do ciclo produtivo e do rendimento do operador.

Nos próximos tópicos, serão apresentadas as principais técnicas do LM a serem abordados neste trabalho de acordo com os critérios informados anteriormente.

2.1.1.1 Kaizen

Ortiz (2009) afirma que *Kaizen* é um termo japonês que pode ser interpretado como melhoria contínua do homem. No entanto quando aplicado à empresa é interpretada também como melhoria continuada dos processos de produção e administrativos, buscando a perfeição do processo produtivo. Uma vez que esses necessitam sempre serem aperfeiçoados, após um Kaizen sempre deverá haver outros, mantendo sempre “aceso” o sistema.

O evento Kaizen é tratado por diversos autores variando desde 3 até 5 dias, com determinadas etapas do processo, porém para objetivar o trabalho em questão, as informações relativas à implementação do evento Kaizen não será detalhada, será apenas explanada sua

aplicação e abrangência. Conforme Ohno (2002), os principais temas de sugestões para aplicação dessa prática de melhoria são:

- Melhoramentos no próprio trabalho;
- Economia de energia, de materiais, entre outros recursos;
- Melhoramentos no ambiente de trabalho, máquinas e processos;
- Melhoramentos nos dispositivos e ferramentas;
- Melhoramentos no trabalho de escritório;



Figura 2 - Guarda-chuva do Kaizen

Fonte: Imai (1988)

Imai (1988) cita através da figura 2, de um guarda-chuva, o conteúdo abordado pelo Kaizen, conservando também as relações operativas entre administração e mão-de-obra da empresa.

2.1.1.2 5S

Carvalho (2006) comenta que o método 5S é considerado pelos japoneses uma filosofia que tem como preceito organizar e gerenciar o espaço de trabalho, com o intuito de

melhorar a eficiência por meio da eliminação de materiais não mais utilizados, tempos e processos desnecessários; melhorando assim o fluxo de trabalho.

Godoy e Matos (2004) ressaltam que os passos estão divididos em palavras japonesas iniciadas com a letra "S" que compõem os 5S: *Seiri* (descarte), *Seiton* (arrumação), *Seiketsu* (limpeza), *Seiso* (padronização) e *Shitsuke* (disciplina).

Conforme salientado por Tapping et al (2002), esses novos hábitos devem ser fortemente trabalhados pelos líderes para que os funcionários se comprometam com o sistema, porém uma equipe de gerenciamento também deve ser criada com a finalidade de verificar a adesão à padronização e manutenção do padrão, por meio de auditorias, fazendo uso de formulários devidamente elaborados. Posteriormente os resultados dessas auditorias devem ser divulgados a todos, para que as pessoas tenham conhecimento dos pontos fortes e fracos, de forma que as aplicações de melhorias contínuas possam ser implementadas.



Figura 3 - Demonstração do ciclo dos 5S

Fonte: Adaptado de Habu (1992)

A figura 3 apresenta os cinco conceitos do 5S de forma resumida utilizando as palavras em Japonês (Seiri, Seiton, Seisou, Seiketsu e Shitsuke) alinhada com sua tradução para o português (Utilização, organização, limpeza, saúde e disciplina).

2.1.1.3 JIT – Just in Time (JIT)

De acordo com Correa e Gianesi (2011), o JIT é um sistema de produção no qual o produto é puxado de acordo com a demanda do cliente produzindo somente o necessário,

quando necessário e na quantidade necessária. O JIT se baseia no nivelamento da produção, e é formado por três elementos operacionais básicos: o sistema puxado (kanban), o tempo *takt* e o fluxo contínuo, tendo como objetivo a total eliminação dos desperdícios para atingir a melhor qualidade possível, o custo mais baixo possível, o menor tempo de produção e o menor *lead time* de entrega.

Hirano (2008) relata que o sistema de gestão JIT criado pela cultura japonesa em meados da década de 50 é composto de práticas gerenciais que podem ser aplicadas em qualquer parte do mundo e em qualquer organização, tendo por objetivo a melhoria contínua do processo produtivo.

Chase et al. (2005) destaca que o sistema JIT tem merecido grande destaque em todo o mundo, em virtude de administrar a produção de forma que nada deve ser produzido, transportado ou comprado antes da hora, apresentando um índice muito satisfatório de redução de estoques e custos na área de produção.

Chambers et al (2002) ressalta que as principais vantagens em termos de critérios competitivos que se podem obter com a adoção de um sistema de gestão da produção JIT são a melhoria em: custos, qualidade, flexibilidade, velocidade e confiabilidade.

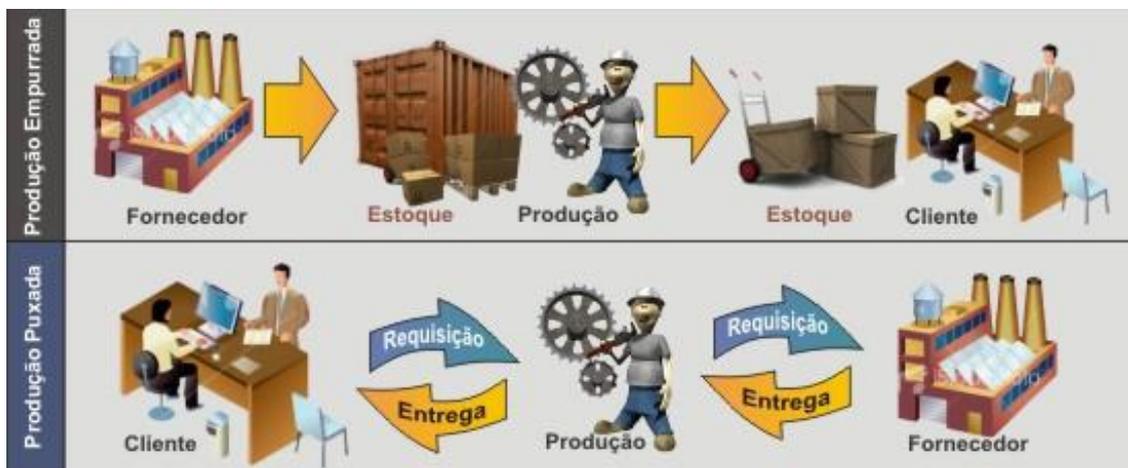


Figura 4 - Distinção dos sistemas de produção empurrado e puxado

Fonte: Adaptado de Correa e Giansesi (2011)

A figura 4 apresenta os dois conceitos de produção, puxada e empurrada, demonstrando de forma simplificada o fluxo de processo no qual busca-se a eliminação de estoques intermediários.

2.1.1.4 SMED – Single Minute Exchange of Die

Conforme destacado por Gouberghen e Landeghem (2012), a definição de lotes mínimos, variação mínima de modelo e redução de tempo, estão entre os aspectos de maior impacto na produtividade. O tempo de *setup* é compreendido entre a última unidade produzida de um ciclo até a primeira unidade, com qualidade, do ciclo seguinte.

Ohno (2002), afirma que antes da definição do método SMED, a troca de ferramenta (ou tempo de *setup*), era tratado como um elemento do processo produtivo que reduzia a eficiência e aumentava os custos de produção, entretanto não havia esforços específicos para trabalhar na melhoria deste ponto. Após a busca pela redução dos tempos de *setup* é que se chegou a conclusão da utilização de sistemas puxados de produção. O método denominado SMED em sua concepção inicial não contempla a viabilização de custos ligados ao tempo de *setup*, mas sim uma falta de flexibilidade que conseqüentemente leva a uma perda de produção e produtividade, ocasionando assim menos ganho aos não praticantes do método (OHNO, 2002).

Desde os indícios da criação da metodologia, o SMED é estruturado em três etapas para o desenvolvimento em que foi concebida ao longo de 19 anos de estudo, conforme Shingo (2000). A primeira etapa é relativa à identificação e classificação como *setup* interno do conjunto de atividades realizadas com a máquina parada, e *setup* externo como o conjunto de operações realizadas com a máquina em funcionamento. A segunda etapa dá-se no momento da duplicação de ferramentas com o intuito de separar o *setup*, ou seja, o *setup* de ferramenta seria realizado de forma paralela gerando um aumento na produção. A terceira etapa trata basicamente de conversão de *setup* interno em *setup* externo, isto é, a transferência de algumas atividades com a máquina para o momento que esta estiver funcionando, no qual atrás dessa ideia está o conceito do SMED: troca de ferramenta em menos de dez minutos (SHINGO, 2000).

Para exemplificar e facilitar a estrutura mencionada por Shingo (2000), abaixo está demonstrada na figura 5, o conceito desenvolvido de acordo com os estágios de aplicação.

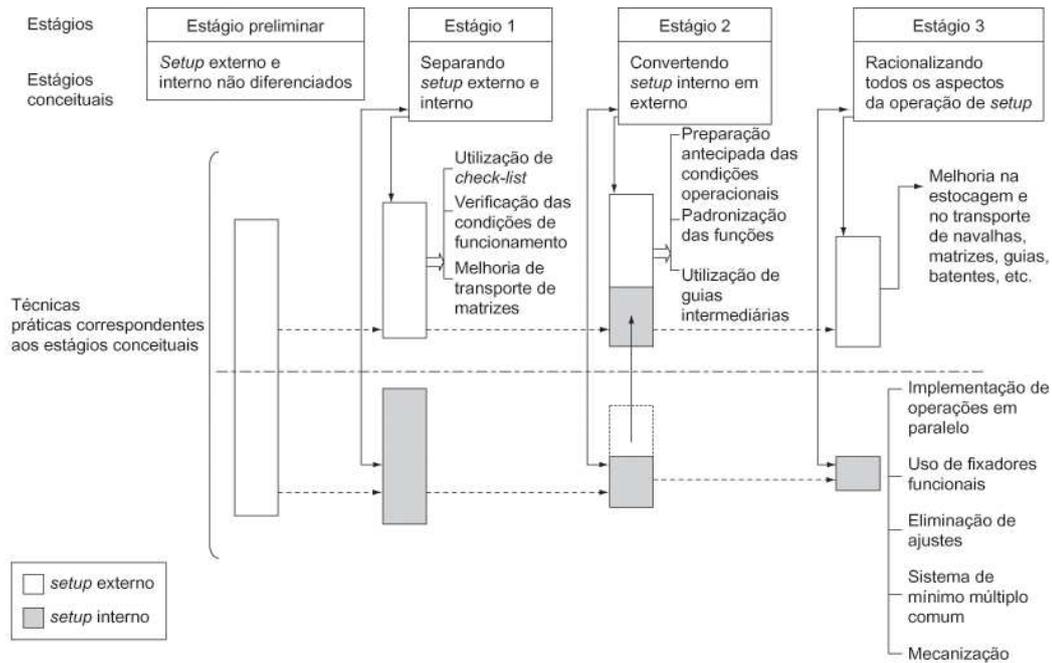


Figura 5 - Estágios de aplicação do SMED

Fonte: Shingo (2000)

Conforme Shingo (2000), *setup* é definido como tudo relativo ao que antecede uma operação, regulagem, troca de dispositivo, preparação seja em um processo de transformação industrial ou serviço. Este mesmo autor também define como termo *setup* o tempo decorrido entre o final da produção de uma determinada peça ou equipamento até o início da produção da próxima peça ou equipamento diferente, estando contido neste tempo todo o tempo necessário para que o início do ciclo produtivo seja reestabelecido.

Ainda tratando de *setup*, Shingo (2000) não esgotou a resolução de todos os problemas existentes nas operações de sua redução. Naturalmente, esta não era a sua proposta quando elaborou sua metodologia. Este item do trabalho apresenta alguns aspectos relevantes da atividade de *setup* que influenciam no processo produtivo e que não foram apontados no SMED.

2.1.1.5 Arranjo físico / Layout

Cury (2005) lembra que o *layout* corresponde ao arranjo dos diversos postos de trabalho nos espaços existentes na organização, envolvendo além da preocupação de melhor se adaptar as pessoas ao ambiente de trabalho segundo a natureza da atividade desempenhada, a arrumação dos móveis, máquinas, equipamentos e matérias-primas.

Araújo (2009) comenta que o estudo do arranjo físico é de fundamental importância na otimização das condições de trabalho, aumentando tanto o bem-estar como o rendimento das pessoas. Já Slack (2002) destaca que o *layout* é muito utilizado para se reorganizar da melhor forma a disposição do espaço, para tanto são necessários:

- Minimizar o investimento no equipamento e o tempo de produção;
- Utilizar o espaço existente da forma mais eficiente possível;
- Providenciar ao operador um posto de trabalho seguro e confortável;
- Flexibilidade nas operações diminuindo o custo de tratamento do material;
- Reduzir a variação dos tipos de equipamentos de tratamento do material;
- Melhorar a o processo de produção e a estrutura da empresa;

Camarotto (1998) menciona que existem diversos tipos de *layout* e os mesmos se enquadram no modelo posicional, funcional, linear ou em grupo, sendo que cada um destes *layouts* se adequa a determinadas características, quantidades, diversidade e movimentações dos materiais dentro da empresa.

Slack (2002) aponta que o movimento e o fluxo de materiais, a distribuição física e a logística estão relacionados com o planejamento das instalações. Os padrões de fluxo são vistos sob o ponto de vista do fluxo nas estações de trabalho, nos departamentos e entre os departamentos e também ressalta que o planejamento do fluxo é uma combinação entre os padrões de fluxo existentes, buscando haver um movimento progressivo entre os departamentos.

Durante a levantamento bibliográfico deste trabalho, ainda houve uma divisão do fluxo de trabalho em dois tipos: Manufatura de Fluxo Contínuo e Manufatura Celular. Será apresentado a seguir algumas características de ambos os modelos mencionados:

- Manufatura de Fluxo Contínuo: Onde a peça em processo flui suavemente por meio de seus processos de transformação, uma peça por vez, com o mínimo (ou nem um) estoque entre as etapas do processo de manufatura. É uma forma de eliminar vários tipos de perdas (ex. inventário, espera, transporte, etc.). O fluxo contínuo pode ser conseguido de várias maneiras, desde a utilização de linhas de montagem até as células manuais. Também chamadas de fluxo de uma peça (one-piece-flow) (LIKER, 2005).

- **Manufatura Celular:** É a localização de etapas de processamento para um produto similar a outro, de modo que as peças, documentos, etc, possam ser processados em um fluxo muito próximo de contínuo, seja um por vez ou em pequenos lotes, mantido ao longo da sequência completa de processamento. Na Manufatura Celular, equipamentos e trabalhadores são arranjados em sequência para manter um fluxo suave de materiais e componentes ao longo do processo, com o mínimo transporte ou demora. A forma em U é comum, pois vista que se percorra distâncias muito grande e possibilita combinações diferentes de tarefas para os operadores. Esta é uma consideração importante na produção Lean, pois o número de operadores em uma célula irá mudar conforme alterar a demanda (LEAN, 2003).

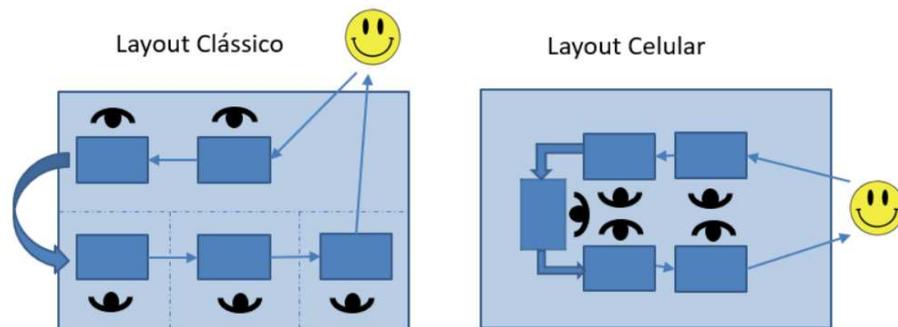


Figura 6 - Arranjos físicos Fluxo Contínuo e Celular

Fonte: Adaptado de Lean (2003)

Na figura acima é fácil a percepção da diferença entre um *layout* clássico e um *layout* celular, conforme a adaptação de Lean (2003). A aproximação das estações de trabalho para facilitar a operabilidade e diminuir movimentos desnecessários são analisados de forma rápida.

2.1.1.6 Gestão Visual

Conforme Rother e Shook (2005), o sistema de Gestão Visual é uma poderosa ferramenta para organizar empresas e equipes de forma prática e simples que permite um gerenciamento fácil, organização de informação adequada com baixo custo e muita eficiência. Esta visualização deve conter as informações que os gestores julguem necessárias contendo os resultados atuais, os resultados que pretendem ser alcançados (metas) e as ações a serem tomadas.

A seguir, a figura 7 apresenta o exemplo de um quadro de gestão visual produtivo no qual são contempladas as informações de um sistema de produção completo.

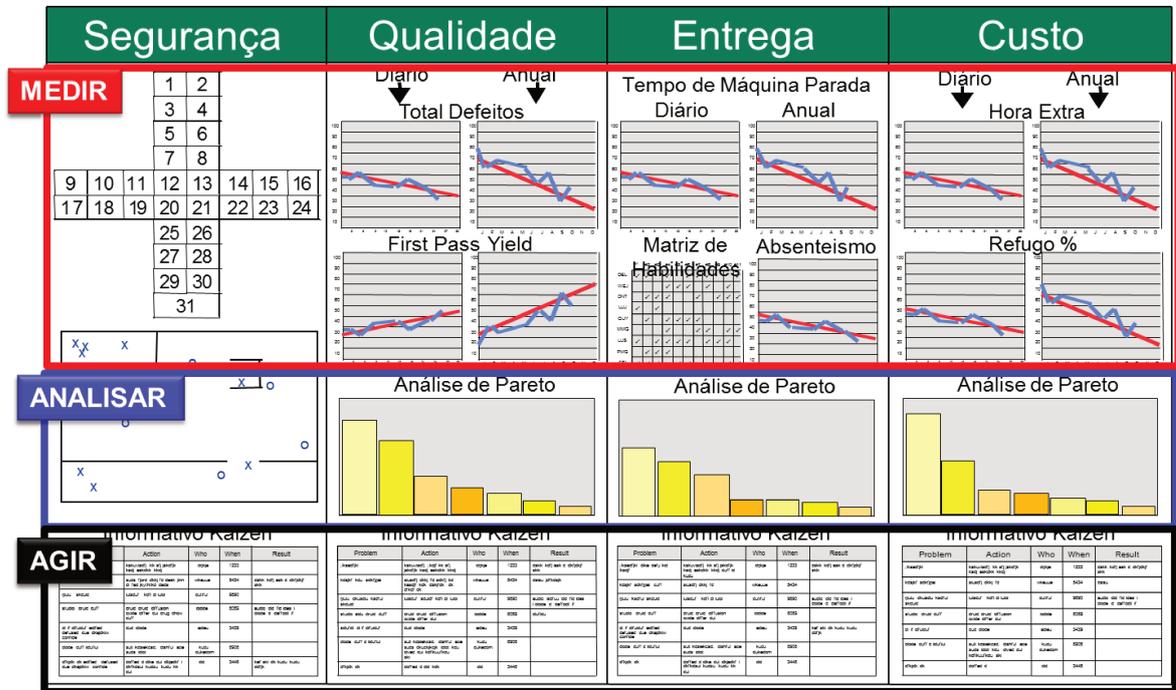


Figura 7 - Exemplo de quadro de gestão completo

Fonte: Autor

O quadro acima resume as informações básicas de controle e monitoramento de um Sistema Produção LM, nos quais todos os quesitos (segurança, qualidade, entrega e custo) devem ser medidos, analisados e tomadas as ações necessárias para que o sistema esteja em melhoria contínua.

2.1.1.7 Value Stream Mapping (VSM)

Conforme abordado por Tapping et al (2002), o mapa de fluxo de valor ou *Value Stream Mapping* (VSM) relata o estado atual do fluxo de seu produto dando condições a uma visão de projeto de um estado futuro, nos quais os esforços correrão na eliminação de desperdícios ainda existentes, redução de tempos e flexibilidade do sistema para atendimento ágil da necessidade do cliente. Eles ainda afirmam que o mapa de fluxo de valor considera o sistema todo, não só os processos individuais que aperfeiçoam as partes envolvidas, focalizando a melhoria do todo. Isso requer extrapolar seus limites e percorrer o caminho no qual o produto atravessa, por várias empresas, antes de chegar ao braço do consumidor final.

Confirme descrito por Rother e Shook (2005), a ferramenta utilizada para obtenção de um mapa de fluxo é essencialmente o lápis e o papel, cuja função é registrar e ajudar a enxergar todo o fluxo de material e de informação na medida em que o produto segue o fluxo de valor.

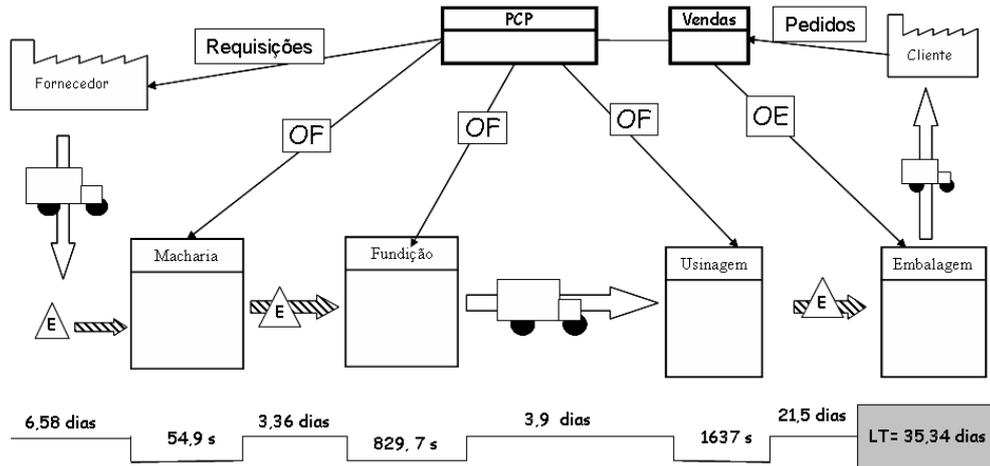


Figura 8 - Exemplo de um mapa de fluxo de valor

Fonte: Adaptado de Rother e Shook (2005)

A figura 8 apresenta um modelo clássico para realizar a avaliação do mapa de fluxo de valor de uma empresa, levando em consideração suas diversas etapas de trabalho, bem como seus diversos pontos de controle e abastecimento.

2.1.1.8 Kanban

Conforme apresentado por Moura (2003), Kanban é uma técnica para programação de produção, que se utiliza de um quadro e cartões para a produção ou para a retirada de itens em um sistema puxado. É um dispositivo sinalizador que fornece instruções para produção de itens. Os cartões Kanban são o exemplo mais conhecido e comum de sinalização.

Lage (2008) comenta que, por meio de um cartão retangular de dimensões reduzidas que encontrasse descritas informações que, anexas em um quadro, expressaram a situação de um determinado material, indicando sua necessidade de produção ou não. Já Peinado (2000) e Tardin (2001) expressam a finalidade da adoção dos cartões *Kanban* para controlar a produção entre os fluxos, adotando um quadro subdividido com nichos, no qual um *mix* de produtos pode ser controlado, onde os cartões ali depositados expressam a situação de fluxos de produção, visando o balanceamento e redução de geração de desperdícios.

Algumas citações comentam o dimensionamento de *Kanban* e buscam soluções, dentre estas Vergara et al (2002) propõem um sistema puxado que busca a sincronização da cadeia por meio da utilização de um algoritmo e sua metodologia avalia simultaneamente o custo de transporte e a programação de múltiplos níveis da cadeia. Alguns autores afirmam que desenvolveram um modelo alternativo de Kanban, como é o caso de Tardif e Maaseidvaag (2001), que define o momento de reposição através de dados como demanda do cliente, nível de estoque e pedidos não atendidos.

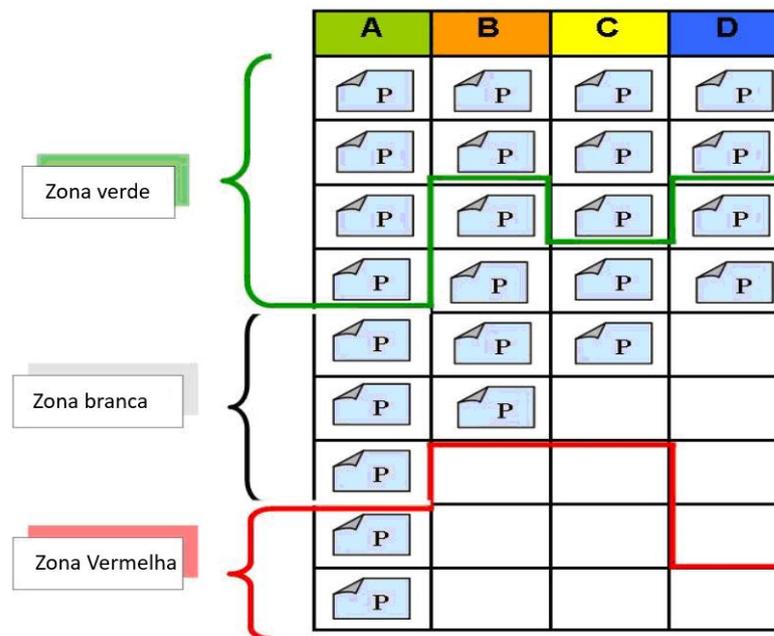


Figura 9 - Exemplo de Quadro de Sistema de Kanban

Fonte: Adaptado de Murino et al (2014)

A figura 9 apresenta um exemplo clássico de um quadro Kanban no qual as zonas representam diferentes etapas e, conforme Murino et al (2014), a zona verde apresenta o maior custo de produção que possui a menor prioridade de processamento. A zona branca (também pode ser amarela), representa uma produção normal que possui a mesma de prioridade da zona verde, porém possui um sinal de alerta que tende a atingir a zona vermelha. A zona vermelha representa um estado de emergência, produção urgente. Isso significa que há falta de estoque para aquele produto e uma reposição imediata é necessária para que o equipamento esteja disponível.

2.1.1.9 Poka Yoke

De acordo com Nikkan (1987), *Poka-Yoke* são métodos de detecção de erros que ajudam os operadores a evitar erros em seu trabalho, tais como: escolha de peças errada, erro no posicionamento da peça em um dispositivo, montagem incorreta de uma peça, esquecimento de um componente, etc. É dispendioso realizar inspeção em todas as peças em todos os estágios de fabricação, o uso de Poka Yoke realiza este trabalho a zero custo.

Shingo (2000) destaca que o *Poka Yoke* é uma técnica de detecção de anormalidades que acoplado a uma operação impede a execução irregular de uma atividade. O *Poka Yoke* é uma forma de bloquear as principais interferências na execução da operação, antecipando e detectando defeitos potenciais e evitando que cheguem ao cliente. Já Rother e Shook (2005) salientam que o uso dessa ferramenta auxilia as etapas do chão-de-fábrica a produzir de forma balanceada, no qual cada grupo trabalha num ciclo igual ao tempo *takt*.

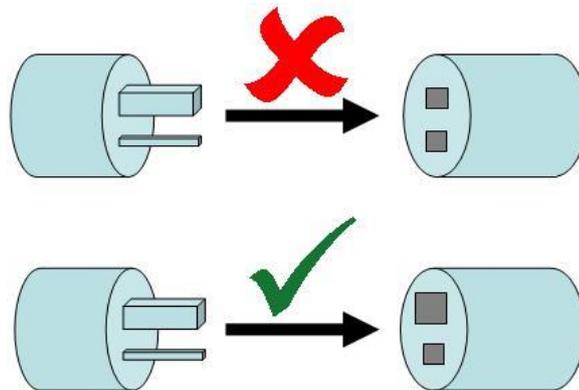


Figura 10 - Exemplo de Poka Yoke

Fonte: Industria Hoje (2018)

A figura 10 demonstra o sistema de dispositivo a prova de erros, no qual há somente uma possibilidade de montagem/encaixe dos componentes, fazendo com que o erro do operador seja minimizado aumentando a repetibilidade e padronização do processo.

2.1.1.10 Tempo Takt e trabalho padrão

Santos (1999) e Lopes (2008), afirmam que o tempo de ciclo é composto de vários componentes, onde vários fatores compõem o conceito de tempo de ciclo implicando no processo produtivo. Um destes componentes é o *lead-time*, compreendido como o tempo total necessário para produção de uma peça ou equipamento desde a chegada da ordem de produção, até o momento em que a peça ou equipamento seja entregue ao cliente, da

maneira à qual foi contratada. Intrinsecamente a esse período está incluso o tempo gasto com filas, tempos de setup, tempo de processamento e tempo de transporte e/ou instalação.

Conforme apresentado por Santos (1999), demonstrado na figura 11, o tempo de ciclo pode ser contextualizado sendo composto pela transformação, inspeção, atividades de espera e movimentação, levando em consideração que as atividades de transformação são as únicas atividades que agregam valor ou produto.

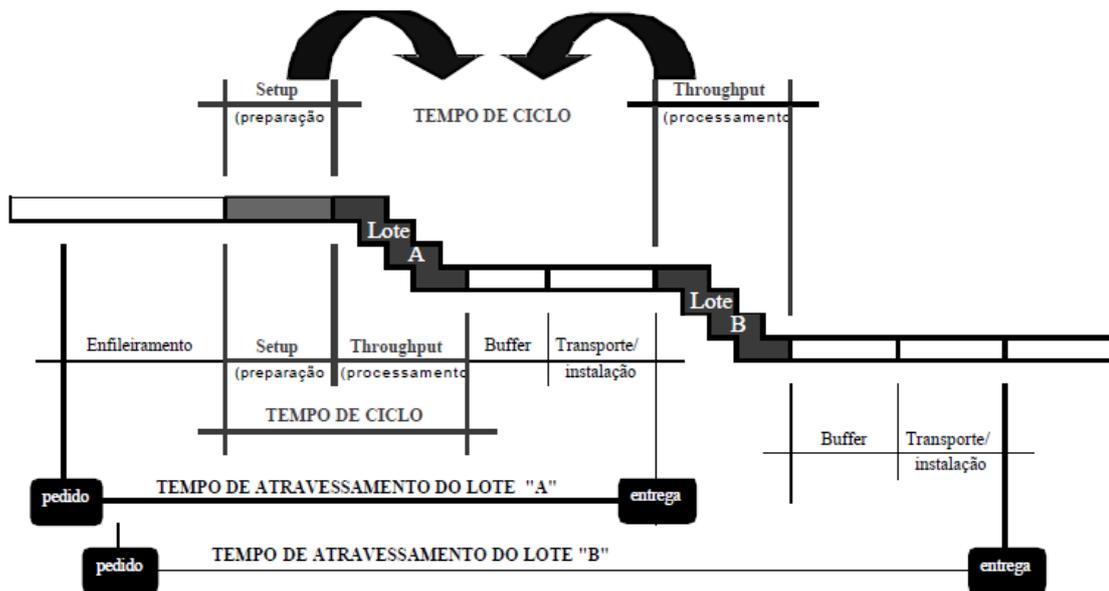


Figura 11 - Componentes do tempo de ciclo

Fonte: Santos (1999)

Conforme mencionado Kumar et al (2015), o planejamento da produção é uma atividade ligada ao tempo, em termos de anos, meses, semanas e/ou dias, que é uma parte integral de todo o processo de planejamento de uma empresa.

Womack et al (2004), afirmam que o *mix* de produto é tido como sendo a variedade de produtos com características diferentes, a serem fabricados em uma mesma linha/célula de produção com diferentes tempos de produção bem como diferentes tempos de setup de máquinas e equipamentos. A influência do melhor *mix* de produto para fabricação em uma mesma linha/célula de produção irá influenciar diretamente no rendimento da mesma devido aos tempos desperdiçados em operações que não agregam valor.

Trabalho padrão é o estabelecimento de um procedimento de trabalho no qual é estabelecido o melhor método e sequência de se executar uma tarefa, para cada processo e para cada trabalhador. É um método que ajuda a determinar qual metodologia e sequência de trabalho é a mais eficiente. O trabalho padrão auxilia na maximização do desempenho enquanto minimiza as perdas em cada operação e carga de trabalho (LEAN, 2003).

Conforme Moreira (2008) o trabalho padrão se baseia em 3 elementos:

- **Tempo Takt:** a palavra alemã "*Takt*" serve para designar o compasso de uma composição musical, tendo sido introduzida no Japão nos anos 30 com o sentido de 'ritmo de produção', quando técnicos japoneses estavam a aprender técnicas de fabricação com engenheiros alemães (SHOOK, 1998). O *takt-time* é definido a partir da demanda do mercado e do tempo disponível para produção; é o ritmo de produção necessário para atender a demanda. Matematicamente, resulta da razão entre o tempo disponível para a produção e o número de unidades a serem produzidas. Iwayama (1997) afirma que o *takt-time* é o tempo alocado para a produção de uma peça ou produto em uma célula ou linha. A idéia de 'alocação' de um tempo para produção pressupõe, naturalmente, que alguém 'aloca'; o *takt-time* não é dado absoluto, mas sim determinado. É preciso esclarecer que a empresa pode realizar opções tanto quanto aos níveis de atendimento da demanda como aos de utilização da capacidade.
- **Sequência exata de trabalho:** é o conjunto de operações executadas por um operador em uma sequência determinada, permitindo-lhe repetir o ciclo de forma consistente ao longo do tempo. A determinação de uma rotina-padrão de operações evita que cada operador execute aleatoriamente os passos de um determinado processo, reduz as flutuações de seus respectivos tempos de ciclo e permite que cada rotina seja executada dentro do *takt-time*, de forma a atender à demanda.
- **Estoque padrão:** a mínima quantidade de peças em circulação necessária para se manter o fluxo constante e nivelado de produção. Esse nível pode variar de acordo com os diferentes *layouts* de máquinas e rotinas de operações. Se a rotina de operações segue a mesma ordem do fluxo do processo é necessária somente uma peça em processamento, sendo dispensável manter qualquer estoque entre as máquinas. Se a rotina é executada em direção oposta à

sequência de processamento é necessário manter no mínimo uma peça entre as operações. Na determinação da quantidade-padrão de inventário em processamento devem ser considerados os pontos de teste e verificação do produto. Pequenas quantidades podem ser requeridas nesses pontos.

Araújo (2009) destaca que o trabalho padrão pode ser entendido como uma técnica efetiva e organizada de se produzir sem perdas. Já Corrêa e Corrêa (2005) comentam que a padronização das operações procura obter o máximo de produtividade por meio da identificação e utilização dos elementos de trabalho que agregam valor e eliminam as perdas.

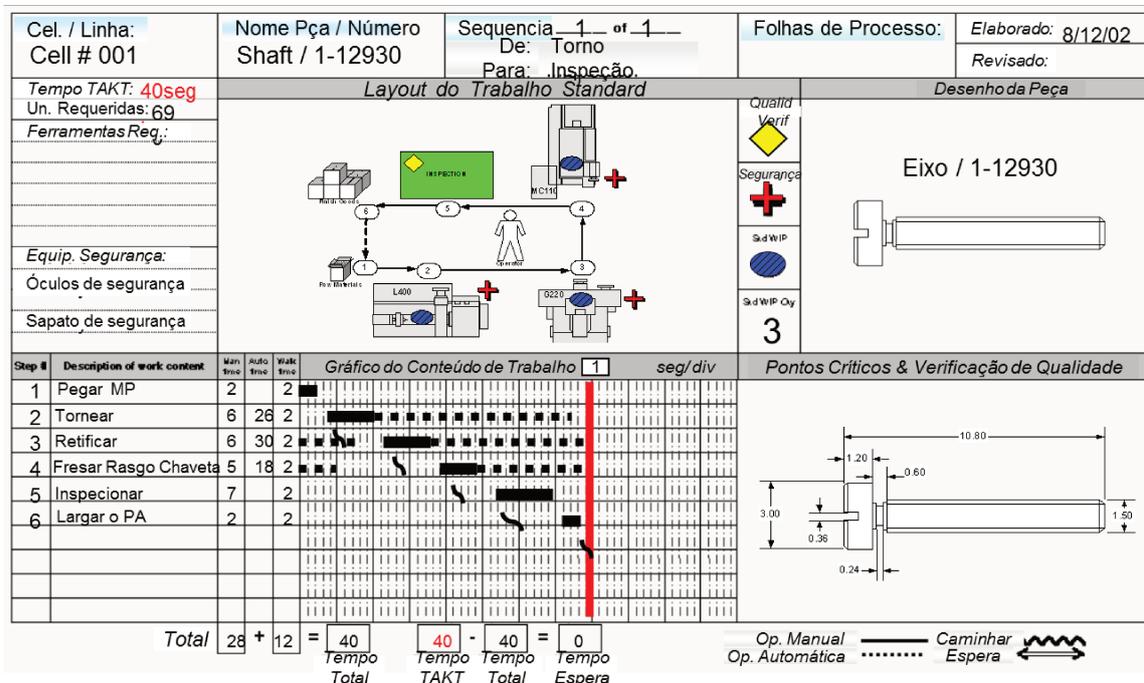


Figura 12 - Exemplo de folha de trabalho padrão

Fonte: Autor

A folha de trabalho padrão acima demonstra os conceitos mencionados anteriormente tais como: *tempo takt*, sequência de trabalho, estoque padrão, dentre outros. Esta folha de trabalho visa orientar o colaborador quanto ao correto procedimento e tempo de processo, visando garantir sempre a produtividade e qualidade do produto.

As técnicas apresentadas anteriormente visam detalhar ao leitor os principais conceitos teóricos do LM que serão abordados com maior intensidade neste trabalho, servindo como orientação para uma melhor análise e compreensão do estudo.

2.2 Indústria 4.0

De acordo com Schwab (2016), a quarta revolução Industrial, teve seu início registrado na Alemanha sob o conceito “Indústria 4.0”, em 2011 em uma feira na cidade de Hannover, chamada *Hannover Fair*, no qual foi mencionado o quanto as organizações e sua cadeia global serão revolucionadas pela chegada dos novos conceitos tecnológicos que tendem a transformar as indústrias em fábricas inteligentes (smart factories). Essa chamada de quarta revolução industrial fará com que venha a ser criada, em termos globais, uma integração completa entre a virtualidade e os sistemas físicos de manufatura que irão cooperar entre si de forma flexível. A figura abaixo apresenta a evolução das quatro revoluções industriais.

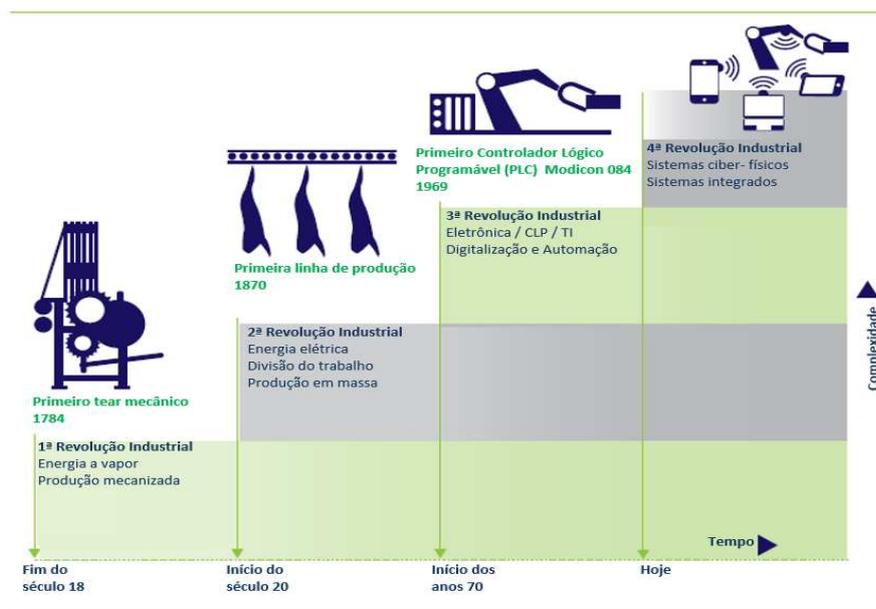


Figura 13 - Os quatro estágios da revolução industrial

Fonte: Adaptado de Kagermann et al (2013)

Resumindo a figura 13, podemos afirmar que a primeira revolução industrial datada em 1784, deu-se devido ao aprimoramento das máquinas a vapor, passando a criação do tear mecânico. A segunda revolução industrial foi considerada a partir de 1870 com a utilização do aço em maior escala na produção industrial, o uso da energia elétrica, motores elétricos e combustíveis derivados do petróleo e também o início da primeira linha de produção. Já a terceira revolução inicial teve seu início em 1969 com o avanço da eletrônica, início da utilização de sistemas computadorizados e robótica na indústria.

Na concepção alemã, I.4.0 relaciona sistemas *cyber* físicos (CPS), internet das coisas (IoT), internet de serviços (IoS) e fábricas inteligentes. A I.4.0 é um termo que conceitualiza a organização da cadeia de valor pelas tecnologias. Nas fábricas inteligentes CPS's criam cópias virtuais do mundo físico, monitoram e tomam decisões. Com IoT os CPS's cooperam e se comunicam entre si e com humanos em tempo real. Na IoS serviços inter-organizacionais e internos são utilizados e ofertados aos membros da cadeia de valor (KIESEL e WOLPERS, 2015).

Conforme mencionado por Anderl (2014), a abordagem fundamental da I.4.0 está usando o sistema *cyber-físico* para proporcionar comunicação e inteligência para sistemas artificiais, sistemas técnicos chamados “*smart systems*”, ou sistemas inteligentes. Estes sistemas inteligentes podem ser entendidos como uma consequente tecnologia sucessora de sistemas mecatrônicos e automatizados. A principal característica é a integração dos sistemas *cyber-físicos* para permitir a comunicação inter-sistemas e a operação do sistema controlado automaticamente.

De acordo com Kagermann et al (2013), o desenvolvimento da I.4.0 tem uma influência substancial na indústria de transformação. Uma das vertentes deste desenvolvimento é baseada no conceito de “*Smart Factories*”, ou fábricas inteligentes, produtos inteligentes e serviços inteligentes embutidos na “*Internet of Things*” (IoT) e também serviços conhecidos como Internet Industrial.

Kagermann et al (2013), também afirma que a I.4.0 pode ser definida como a combinação de máquinas inteligentes, processos, produção e sistemas que formam uma rede interconectada de alta sofisticação, que enfatiza a ideia de ligação e digitalização das unidades de manufatura em uma dada economia, tendendo a virtualizar o mundo real em uma grande rede de sistema de informação centralizada. A I.4.0 envolverá a integração técnica do CPS na produção e logística e a utilização da IoT em processos industriais que anteriormente não eram tão amplamente aplicados.

De acordo com Manhart (2015), o conceito “Indústria 4.0” significa um desenvolvimento que muda fundamentalmente as indústrias tradicionais. O projeto futuro I.4.0 apoia a customização em massa da produção com flexibilidade e integração de clientes e fornecedores de negócios em processos de criação de valor. Devido à volatilidade do mercado, a produção flexível será apoiada de forma a responder em tempo hábil a uma permanente mudança de requisitos, atendendo todas as demandas (BMBF, 2014).

A I.4.0 ainda pode ser definida como sendo um conceito abstrato que irá cada vez mais integrar estreitamente o mundo físico com o mundo virtual (WAN et al, 2015), ou

ainda, como algo que propaga uma visão em que se espera que os recentes desenvolvimentos em tecnologia da informação permitam inteiramente novas formas de engenharia cooperativa e de produção, onde a ideia chave é que os produtos e máquinas – movidos por dados em tempo real, software incorporado e internet – são organizados como agentes autônomos dentro de uma rede difundida e ágil de criação de valor.

O Ministro Federal da Economia da Alemanha, Gabriel (2015), mencionou durante a feira Internacional da Indústria Alemã de Hannover (Alemanha), 5 tópicos que são classificados para a implementação da I.4.0:

1. Política Industrial: Desenvolvimento de novos modelos de negócios, com base em cadeias de valores tradicionais;
2. Política de Emprego: Desenvolvimento de postos de trabalho altamente qualificados;
3. Segurança de Dados: Proteção ativa de dados confidenciais contra o acesso não autorizado;
4. Política de empresas de Médio Porte: Ação de inovação por parte de empresas de médio porte;
5. Regulamentação: Criação de arquiteturas de referência e exemplos de aplicação com o intuito de alcançar vantagens competitivas.

Conforme mencionado por Kagermann et al (2013), o desenvolvimento da I.4.0 será atingido somente se a relação de liderança entre fornecedor e cliente (mercado) for coordenada de forma a garantir os benefícios para ambas às partes. Contudo, esta aproximação da cadeia de suprimentos deve ser referida como estratégia dupla. As estratégias incorporam três características:

- ✓ Desenvolvimento da cadeia de valores *inter-company* e integração por meio de redes horizontais;
- ✓ Engenharia digital *end-to-end* pela cadeia de valores de forma completa entre ambos os lados, produto e sistema de produção;
- ✓ Desenvolvimento, implantação e integração vertical de um sistema de manufatura flexível e reconfigurável;

Na figura 14, é apresentada a integração horizontal que busca prover respostas a questões de cooperação entre estratégias de negócios, novos valores de redes comunicação e novos modelos sustentáveis através de um rede *cyber-física*.

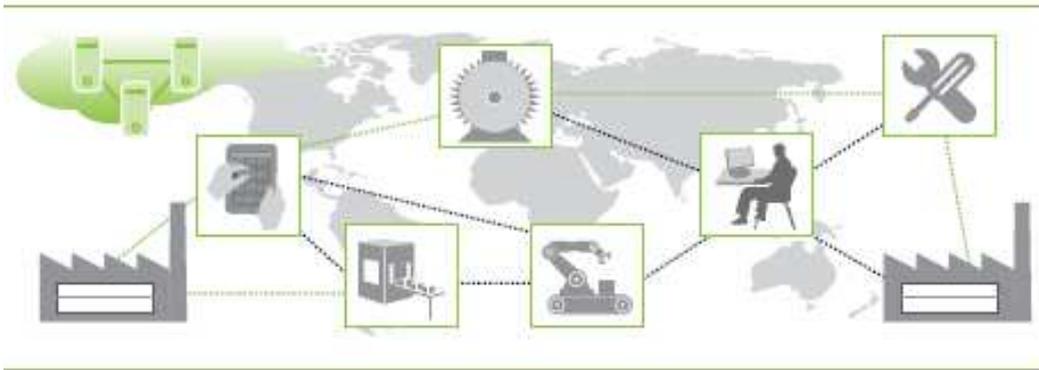


Figura 14 - Integração horizontal através de rede de valores.

Fonte: Kagermann et al (2013)

A figura 15 busca a representação da integração vertical por meio de sistemas de manufatura avançada flexíveis e reconfiguráveis.



Figura 15 - Integração vertical e rede de sistemas de manufatura

Fonte: Kagermann et al (2013)

Kagermann et al (2013) destaca que o sistema *end-to-end* deve ser analisado de uma maneira mais completa, levando em consideração toda a cadeia de valores buscando fomentar a integração digital da engenharia de processos para que o mundo real e o mundo virtual sejam integrados ao longo de toda a cadeia de valor.



Figura 16 - Engenharia *end-to-end* por toda a cadeia de valores

Fonte: Adaptado de Kagermann et al (2013)

Conforme apresentado na figura 16, a engenharia *end-to-end* do ponto de vista macro é a conexão entre as partes interessadas, produtos e equipamentos ao longo do ciclo de vida de um produto, desde a fase de aquisição de matéria-prima finalizando no fim de vida do produto. Este ciclo de vida consiste na fase de aquisição da matéria-prima, fabricação (desenvolvimento e produção do produto), utilização e serviço, fim de vida (contendo reutilização, reciclagem, valorização e eliminação), bem como o transporte entre todas as fases (STOCK e SELIGER, 2016).

Este conceito de ciclo é apresentado na figura 17 no qual representa uma perspectiva macro da I.4.0, tendo uma abrangência em praticamente todos os setores, sendo considerado uma integração vertical.

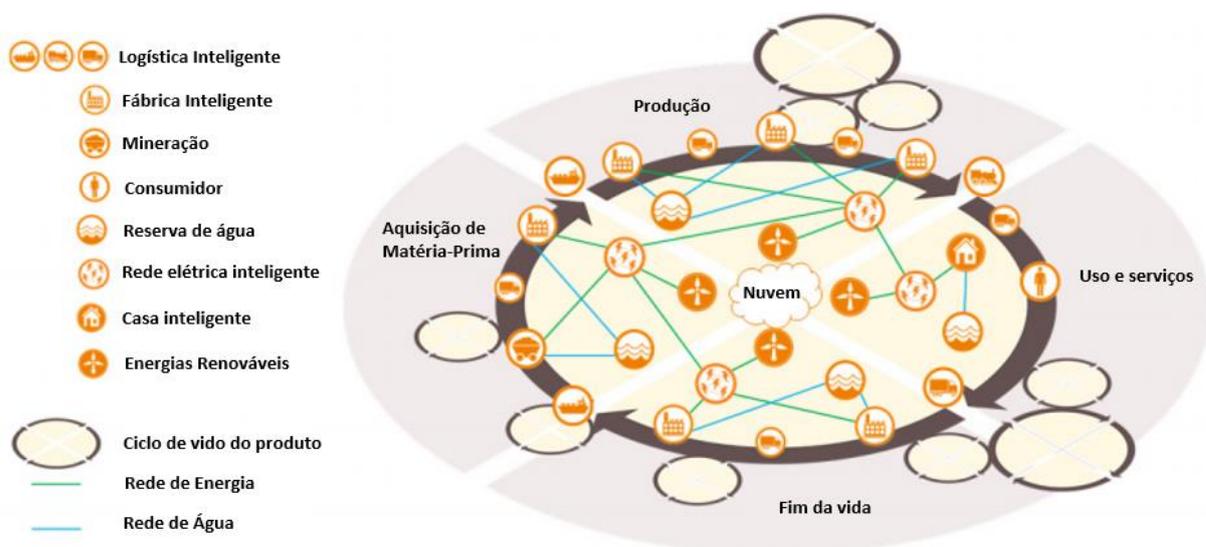


Figura 17 - Perspectiva macro da Indústria 4.0

Fonte: Adaptado de Stock e Seliger (2016)

Ainda sobre a figura 17, busca-se apresenta de forma clara a integração em toda a cadeia industrial, fazendo com que toda a rede de abastecimento esteja interligada. É de fácil notoriedade que o conceito de perspectiva macro abrange desde o fornecimento de energias renováveis, passando por utilidades e serviços, afetando a indústria de manufatura e concluindo até mesmo em “smart home” e consumo de produtos.

De acordo com a figura 18, a perspectiva micro da I.4.0 abrange principalmente a integração horizontal, bem como a integração vertical dentro de fábricas inteligentes (*smart factories*), mas também é parte da engenharia *end-to-end* (STOCK e SELIGER, 2016).

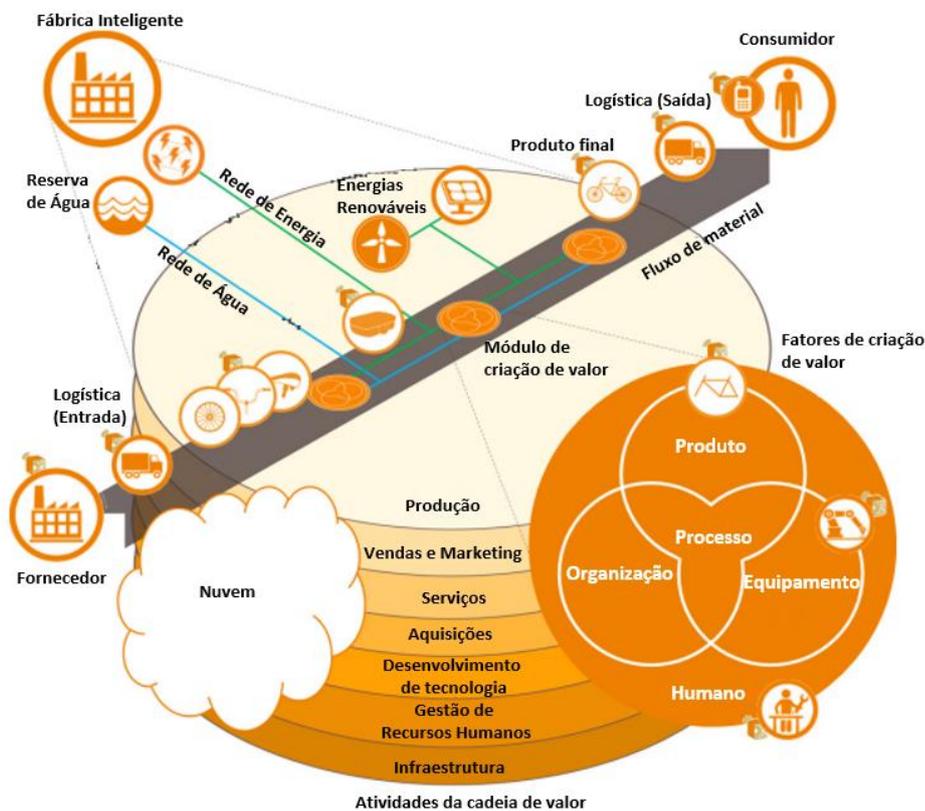


Figura 18 - Perspectiva micro da I.4.0

Fonte: Adaptado de Stock e Seliger (2016)

Stock e Seliger (2016) destacam que uma importante tecnologia utilizada no conceito I.4.0 é a relação *Business-to-Business* (B2B). Esta relação geralmente refere-se a transações de negócios entre duas empresas e a troca de ambos os produtos e serviços, incluindo a venda de matéria-prima de um lado e confirmado pelo outro, sendo que a vantagem econômica básica do comércio *B2B* que a I.4.0 carrega é:

- ✓ Simplificar o processo de aquisição adicionando eficiência para este aspecto do processo de produção global (ALBRECHT et al, 2005);
- ✓ Redução no custo de aquisição antes da transação, reduzindo os custos de pesquisa associados com entradas de aquisição e aumentando a facilidade de fixação de preços (KANDAMPULLY, 2003);
- ✓ Redução dos custos ligados com o monitoramento do desempenho contratual e do produto ou a prestação de serviços (KAPLAN e SAWHNEY, 2000);

Conforme afirmado por Chen et al (2012), o *BI* ou inteligência de negócios, se refere às tecnologias, sistemas, técnicas, metodologias, práticas e aplicações de análises críticas de dados de um dado negócio para auxiliar empresas a enxergar melhor seus negócios e o mercado em que estão inseridas e reduzir o tempo de tomada de decisão. Com base em *BI* as *smart factories* ampliam a transparência das informações conferindo autonomia à empresa de manufatura (RADZIWON, et al., 2014).

2.2. Princípios, ferramentas e técnicas relacionados à I.4.0

O conceito I.4.0 possui seus princípios relacionados ao tema, e foram abordados por Hermann et al. (2015) conforme apresentado na tabela a seguir:

Tabela 3 - Princípios relacionados à I.4.0

Princípios	Definição
Interoperabilidade	É a capacidade de um sistema de se comunicar de forma transparente com outro sistema, semelhante ou não;
Virtualização	É a capacidade de um sistema monitorar processos físicos de forma virtual;
Descentralização	É a capacidade de um sistema de tomar decisões próprias, por meio de computadores embarcados conversando com o sistema CPS;
Trabalho em Tempo Real	É o rastreamento e análise contínua da operação, reagindo rapidamente contra algum desvio;
Orientação a Serviços	É a disponibilidade dos serviços da empresa também para outros participantes do processo, interna e externamente, por meio da IoS (Internet, Tecnologia de produção, Personalização etc.);
Sistema Modular	Significa flexibilidade em se adaptar às mudanças de requisitos, substituindo ou expandindo módulos individuais, facilmente adaptados em casos de flutuações sazonais ou mudança de características do produto, baseados em interfaces padronizadas de <i>software e hardware</i> .

Fonte: Hemann et al (2015)

A tabela 3 apresenta os princípios básicos da I.4.0 apresentado por Hermann et al (2015), sendo considerado os pilares iniciais deste novo conceito industrial.

A seguir será apresentado em forma de tabela os recursos da I.4.0, com o objetivo de demonstrar de forma clara sua abrangência levando em consideração sua definição base.

Tabela 4 – Principais recursos relacionados à I.4.0

Recurso	Definição
CPS <i>Cyber Physical Systems</i>	Podem ser definidos como a fusão dos sistemas físicos e virtuais (KAGERMANN et al., 2013), de modo que sensores forneçam indicadores para que os atuadores modifiquem os ambientes (físico e virtual) em que operam (ZANNI, 2016), projetando-os para representar seu comportamento no tempo (ANDERL, 2014).
IoT <i>Internet of Things</i>	A Internet das coisas compreende a comunicação de sistemas inteligentes usando IP (ANDERL, 2014). É um sistema de dispositivos de computação inter-relacionados, máquinas mecânicas e digitais, objetos, animais ou pessoas que são fornecidos com identificadores únicos e têm a capacidade de transferir dados por meio de uma rede sem a necessidade de interação humano-humano ou humano-computador.
IoS <i>Internet of Service</i>	A IoS compreende novos paradigmas de serviços, tais como a arquitetura orientada a serviços (ANDERL, 2014). É o sistema que permite que fornecedores possam oferecer seus serviços por meio da internet. A IoS é composta por participantes, vários fornecedores e estão conectados com os usuários e consumidores, e são acessados por meio de vários canais, por uma infraestrutura de serviços, por modelos de negócio e os próprios serviços com valor agregado.
IoD <i>Internet of Data</i>	Trata-se da grande quantidade de dados em massa que é gerada pela IoT e do seu gerenciamento: como transferir e armazená-los de maneira adequada e das tecnologias para análise destes dados (ANDERL, 2014).
Integração Vertical	É a integração das redes dos sistemas de manufatura (KAGERMANN et al., 2013);
Integração Horizontal	É a integração por meio das redes de valores da empresa (KAGERMANN et al., 2013);
Inteligência Artificial	Pode ser entendida, numa definição extremamente simples, como o conjunto de técnicas e metodologias de programação usadas para tentar resolver os problemas de forma mais eficiente que soluções algorítmicas, e fazendo isso o mais próximo possível de um ser humano (SATO, 2017).
Sistema de Automação	A automação é um sistema que faz uso de técnicas computadorizadas ou mecânicas com o objetivo de dinamizar e otimizar todos os processos produtivos dos mais diversos setores da

	<p>economia. A ideia de automação está diretamente ligada à ideia das máquinas, que agilizam as tarefas quase sempre sem a interferência humana (GUGELMIN, 2017).</p>
Robótica	<p>É uma área da ciência e tecnologias que envolve computadores, mecanismos e sistemas, que trata de sistemas compostos por partes mecânicas automáticas e controladas por circuitos integrados tornando sistemas mecânicos motorizados, controlados manualmente ou automaticamente por circuitos elétricos.</p>
Rastreabilidade	<p>Um conceito que surgiu devido à necessidade de saber em que local é que um produto se encontra na cadeia logística sendo também muito usado em controle de qualidade. Em termos práticos, rastreamento é saber “o que” (o produto ou bem), “de onde” veio (a origem) e “para onde” foi (destino) (WIKIPÉDIA, 2017a).</p>
Big Data Analytics	<p><i>Analytics</i> aplicado em <i>Big Data</i> é o processo de examinar big data para descobrir padrões escondidos, correlações desconhecidas e outras informações úteis que podem ser utilizadas para a melhor tomada de decisão. Com análise de <i>big data</i>, cientistas de dados e outras pessoas podem analisar grandes volumes de dados que o <i>analytics</i> convencional e as soluções de <i>business intelligence</i> não podem tocar (SAS, 2017).</p>
Pallet Management System	<p>É um componente-chave de qualquer plataforma de soluções de gerenciamento de cadeia de suprimentos dentro de indústrias “paletizadas”. Eles compartilham muitos dos mesmos elementos de outros sistemas, como o uso de códigos de barras ou RFID e dispositivos móveis para identificação automática e coleta de dados (AIDC), rastreamento de localização e elementos potencialmente funcionais como recebimento, entrada em depósito, picking etc. (RADIANT WAVE, 2003).</p>
Manutenção Preditiva	<p>É a atuação realizada com base na modificação de parâmetros de condição ou desempenho, cujo acompanhamento obedece a uma sistemática. Seu objetivo é prevenir falhas nos equipamentos ou sistemas por meio de acompanhamento de parâmetros diversos, permitindo a operação contínua do equipamento pelo maior tempo possível (KARDEC, 2009).</p>
Smart Factory	<p>O termo se refere a fábricas que possuem sistemas de produção inteligente, capazes de gerir a complexidade de um sistema produtivo, de maneira autônoma, em que homens e máquinas interagem naturalmente (KAGERMANN et al., 2013). Possuem Sistemas ciber-físicos que se comunicam por meio da Internet das Coisas, auxiliando pessoas e máquinas na execução das tarefas de forma otimizada (HERMANN et al 2015).</p>
Smart Products	<p>Um Produto Smart (Inteligente) é uma entidade (objeto tangível, <i>software</i> ou serviço) projetado e feito para se auto-organizar, para incorporar diferentes ambientes (inteligentes) ao longo do seu ciclo de vida, proporcionando maior simplicidade e maior interação, tendo um comportamento proativo, com interfaces naturais (MUHLHAUSER, 2008).</p>
Smart Building	<p>É qualquer estrutura que utiliza processos automatizados para</p>

	controlar automaticamente as operações do edifício, incluindo aquecimento, ventilação, ar condicionado, iluminação, segurança e outros sistemas. Um edifício inteligente utiliza sensores, atuadores e <i>microchips</i> , para coletar dados e gerenciá-los de acordo com as funções e serviços de uma empresa (TRACY, 2016).
Smart Grids	<i>Smart Grids</i> , ou Redes Inteligentes, são os sistemas de distribuição e de transmissão de energia elétrica que foram dotados de recursos de Tecnologia da Informação (TI) e de elevado grau de automação, de forma a ampliar substancialmente a sua eficiência operacional. Graças ao alto nível de tecnologia agregado, as <i>Smart Grids</i> conseguem responder a várias demandas da sociedade moderna, tanto no que se refere às necessidades energéticas, quanto em relação ao desenvolvimento sustentável (CPFL, 2017).
Smart Mobility	A Mobilidade Inteligente é muitas vezes apresentada como uma das opções para procurar sistemas de transporte mais sustentáveis. Poderia também ser visto como um conjunto de coordenadas destinadas a melhorar a eficiência, a eficácia e a sustentabilidade ambiental das cidades (BENEVOLO, 2016).
Smart Logistics	Logística Inteligente é a capacidade de desenvolver todos os serviços da logística tradicional, utilizando as novas tecnologias, com a finalidade de economizar tempo e custo (ID LOGISTICS, 2013).

Fonte: Adaptado de Cesar et al, 2017.

Os recursos apresentados na tabela 4 visam abranger de forma simplificada algumas definições básicas da I.4.0 para que o leitor possa ter um rápido guia conceitual sobre as interações e recursos atuais.

2.2.1 As técnicas da I.4.0

As ferramentas, conforme Holanda (2010) são um conjunto de instrumentos e utensílios empregados em um ofício; para Basu (2009), uma ferramenta é um recurso que tem uma função clara e bem definida, sendo de uso restrito à sua função. Baseado nos conceitos da I.4.0, diversas técnicas têm se destacado na pesquisa sobre o tema.

De forma a completar os estudos relacionados a I.4.0, as técnicas envolvidas, conforme Holanda (2010), são um conjunto de métodos, práticas e processos essenciais à execução perfeita de uma arte ou profissão; Basu (2009) destaca que a técnica requer um processo intelectual maior, mais habilidade, conhecimento, compreensão e formação, a fim de usá-la de forma eficaz.



Figura 19 - As principais técnicas disponíveis conforme conceitos I.4.0

Fonte: Autor

A figura 19 apresenta as principais técnicas levantadas durante o desenvolvimento deste trabalho, baseados no levantamento bibliográfico realizado entre os anos de 2012 e 2018 nas principais bases de dados disponíveis para consulta. Estas bases de dados foram: *Web of Science*, *Scopus*, *Science Direct*, *EBESCO*, *Springer* e *Google Scholar*. A apresentação das principais técnicas deste estudo pode ser verificada com mais detalhes no Anexo A deste trabalho.

Das técnicas levantadas, foi realizado um estudo da maior frequência de citação da técnica associada ao tema I.4.0. de todas as técnicas analisadas, as técnicas “Sensores e Atuadores”, “Protocolos de Comunicação” e “Sistemas Embarcados”, foram desconsideradas da lista de citações por se tratarem de técnicas/ferramentas de suporte que já tinham sua origem anterior ao desenvolvimento do tema I.4.0 e suas alterações conceituais foram mínimas. As técnicas consideradas neste estudo, foram baseadas no maior número de incidência de citações,

Tendo como base 74 artigos levantados na análise, 8 dessas técnicas foram consideradas as principais e, adicionalmente, 2 técnicas adicionais também serão consideradas neste trabalho por serem técnicas novas e não possuir estudos específicos a respeito, porém devido ao estudo realizado pelo autor deste trabalho faz-se necessário a inclusão dessas técnicas para que seja considerada sua tendência de aplicação e associação entre ambos os conceitos (LM e I.4.0). Referente às técnicas escolhidas pelo número de citação, na pesquisa foram considerados resultados idênticos ao nome das técnicas, por exemplo: o nome da técnica procurada tem de ser idêntico ao nome considerado no estudo, por exemplo: “Realidade Virtual”, salvo suas traduções para outros idiomas, tais como Inglês e Alemão. As técnicas “sensores e atuadores”, “protocolos de comunicação” e “sistemas embarcados” foram retirados da análise por se tratarem de conceitos da Indústria 3.0, embora amplamente mencionados nas bases pesquisadas, conforme mencionado anteriormente.

O valor da incidência apresentado na tabela abaixo pode ser analisado de forma mais abrangente e completa nos anexos deste trabalho.

Tabela 5 - Tabela das principais técnicas associadas à Indústria 4.0

Técnica	Incidência
RFID	14,1%
Realidade Aumentada	8,1%
Realidade Virtual	7,0%
Big Data	18,5%
Data Mining	8,1%
Cloud Computing	19,3%
Manufatura Aditiva	9,6%
Sistema Supervisório	6,7%
Flexsim	Considerado pelo autor
People Analytics	Considerado pelo autor

Fonte: Autor

A tabela 5 corresponde as principais técnicas associadas à I.4.0, que serão objeto de estudo deste trabalho devido a dois motivos: as oito primeiras são devido ao fato de possuírem o maior número de incidência em citações nos documentos pesquisados durante o levantamento bibliográfico e as duas últimas são referentes a novas técnicas que não possuem estudos significativos disponíveis nas bases de dados internacionais disponíveis devido ao fato de serem recentes, porém serão consideradas pelo autor para que seja possível fazer uma inferência aos conceitos de LM. Outro motivo que contribui para justificar a escolha das duas

técnicas escolhidas pelo autor é o fato de que as duas técnicas (*Flexsim e People Analytics*) escolhidas pelo autor possuem um caráter mais conceitual/comportamental, levando também uma mudança de cultura e comportamento por parte dos envolvidos. Já as duas técnicas com maior incidência de citações (RFID e Realidade Aumentada) possuem um caráter mais operacional, focados mais em resultados operacionais e menos em mudança de comportamento propriamente dito.

Anteriormente à apresentação das técnicas a serem consideradas neste estudo, faz-se necessário a apresentação gráfica da justificativa das técnicas consideradas em ambos conceitos.

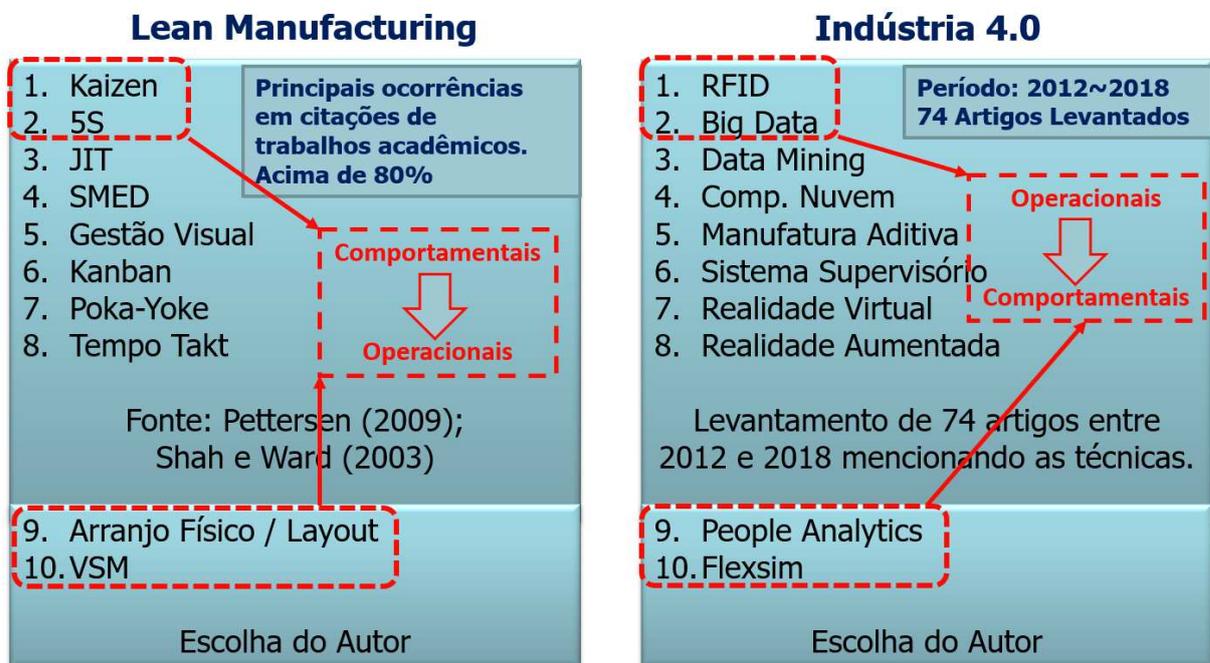


Figura 20 - Justificativa da escolha das técnicas

A figura 20 demonstra de forma clara a justificativa da escolha das técnicas consideradas neste estudo, buscando apresentar de forma gráfica os motivos apresentados anteriormente.

2.2.1.1 RFID

Feldmann, Franke e Schüssler (2010) destacam que uma tecnologia muito importante é a miniaturização da eletrônica, o que significa a fabricação de produtos e dispositivos mecânicos, ópticos e eletrônicos menores. É um facilitador principal para as tecnologias de

identificação automática e coleta de dados e de identificação por radiofrequência – *Radio Frequency Identification* (RFID), que ajudam a coletar, gerenciar e analisar dados nos processos de transporte na cadeia de suprimentos (SMITH e OFFODILE, 2002). De fato, as tecnologias RFID pertencem aos chamados sistemas embutidos. Estes são sistemas baseados em microprocessadores, que são incorporados em produtos físicos para controlar uma função ou uma gama de funções (HEATH, 2002). A comunicação máquina-máquina (m2m) pode ser descrita como a comunicação autônoma e bilateral de máquinas (ZAUS e CHOI, 2014).

Conforme mencionado por Zhou e Piramuthu (2012), a RFID também é utilizada como etiquetas para identificar e rastrear objetos de interesse. Além da capacidade de identificação de nível/item, permitem o armazenamento e a recuperação locais de características relevantes associados a cada item.

Garín et al (2003) conceitualizam esta tecnologia e afirmam que o RFID utiliza campos eletromagnéticos sem fio para transferência de dados. A superioridade da RFID reside na leitura automatizada de alta precisão porque não há contato direto. Algumas tags possuem uma fonte de energia local (bateria). Algumas tags são alimentadas por indução eletromagnética em campos magnéticos que são produzidos perto do leitor. Os outros são transponders passivos que coletam energia das ondas de rádio interrogativas. Já existem vários tipos de etiquetas RFID usadas para identificação de animais, incluindo marcas de botão, circuito eletrônico de ouvido implantável, bolus ruminal eletrônico e passômetro eletrônico. Os pesquisadores descobriram que a posição retroauricular pode ser ideal para injeção, com taxa de retenção segura e sem contato direto.



Figura 21 - Exemplos de tags de RFID

Fonte: Raviraj (2018)

A figura 21 visa demonstrar as diferentes formas e materiais disponíveis atualmente no mercado. A ampla variedade permite que o RFID tenha uma imensa aplicabilidade em praticamente toda a área industrial, fazendo com que sua aplicação seja cada vez mais difundida e detalhada.

2.2.1.2 Realidade Aumentada (AR)

Gomes et al (2017), afirma que a realidade aumentada permite uma grande variedade de aplicações em diversas áreas, como medicina, educação e atividades industriais. A AR está associada à inserção de informações adicionais ou objetos virtuais sobrepostos ou combinados em uma visualização do mundo real (AZUMA, 1997). O uso de técnicas de AR permite ampliar a experiência visual do usuário com a adição de informações à cena real visualizada, contribuindo para um aumento potencial da compreensão de quem utilizada sobre o ambiente físico no qual o usuário se encontra. As informações ou imagens geradas pelos computadores precisam ser registradas na cena real, ou seja, precisam ser posicionados com precisão na visualização do mundo real.

De acordo com Côté (2017), as indústrias exigem aplicações que utilizem a tecnologia AR para treinamento e também para procedimentos de controle e operação. A tecnologia AR tem sido usada de forma bastante limitada, em áreas como arquitetura, engenharia e construção civil. A principal limitação nessas áreas está relacionada ao processamento de alta precisão em tempo real. Outro fator limitante é a complexidade do processo de detecção e o rastreamento de objeto nessas cenas. Isso exige o uso de estratégias e algoritmos de visão por computador que permitem um tempo adequado de processamento para a visualização, entretanto existem diversos centros de estudos focados na ampliação e melhoria da aplicação da tecnologia.

É tratado também como o aprimoramento da percepção humana por meio da utilização de objetos virtuais. Com a AR (*Augmented Reality*, em inglês, ou Realidade Aumentada), as informações relevantes podem ser adicionadas diretamente ao campo de visão do trabalhador. Isso é possível com plataformas móveis, como smartphones, tablets e *smartglasses* (GORECKY et al, 2014).



Figura 22 - Exemplo de aplicação de realidade aumentada

Fonte: Gomes et al. (2017)

A figura 22 apresenta a aplicação da realidade aumentada em uma subestação de fornecimento de energia elétrica, no qual sua aplicação na área de manutenção é aplicada de forma abrangente, minimizando uma possível falha humana e aumentando a eficiência da manutenção preventiva.

2.2.1.3 Realidade Virtual (VR)

Lv et al (2017) destaca que a VR, é a síntese da "realidade" como um meio para criar uma maneira intuitiva para a interação do computador humano. Os participantes no mundo virtual podem completar tarefas que são impossíveis no mundo real. A VR enfatiza a interação em tempo real, sendo uma espécie de nova interface de usuário em 3D. A realidade virtual de interação homem-máquina (h2m), é semelhante às pessoas no ambiente real e a interação dos objetos reais. A informação semântica dos objetos orientados para a cena virtual forma uma cena semântica referindo-se à informação semântica de objetos em que o usuário está interagindo, incluindo a relação entre os objetos na cena virtual e a informação do objeto atribuído à cena compondo uma correspondência unidirecional, embora os mesmos objetos virtuais na cena virtual diferente possam ter semântica diferente.

Com o rápido desenvolvimento da *web*, Lahti (2012) destaca que com a VR, as tecnologias móveis e a adoção em massa de dispositivos móveis e inteligentes por todos os indivíduos da sociedade moderna, foram criadas chances significativas para as aplicações do e-learning.

Outra definição diz ser uma tecnologia de interface capaz de enganar os sentidos de um usuário, por meio de um ambiente virtual, criado a partir de um sistema computacional. Ao induzir efeitos visuais, sonoros e até táteis, a realidade virtual permite a imersão completa em um ambiente simulado, com ou sem interação do usuário (TECHTUDO, 2017a).

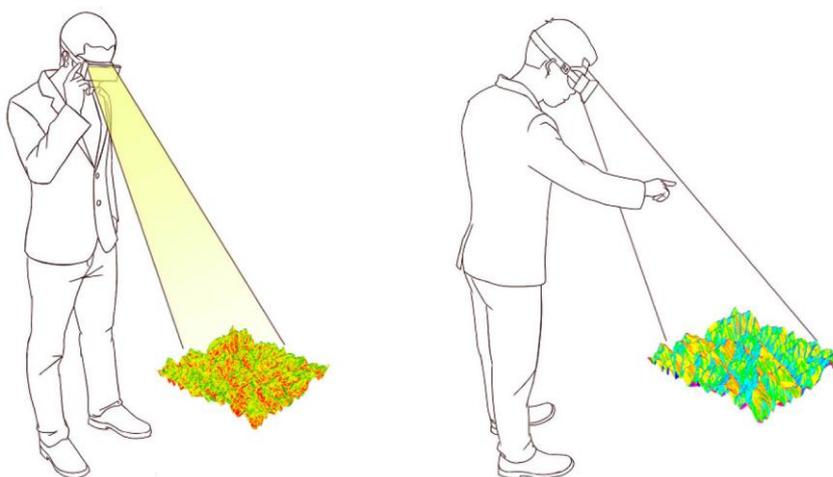


Figura 23 - Exemplo de aplicação de realidade virtual

Fonte: Lv Z. et al. (2017)

A figura 23 apresenta uma aplicação prática e real de VR na qual objetos em 3D são destacados a partir da utilização de óculos adaptado à tecnologia, dando ao usuário a impressão de estar em contato direto com a imagem gerada.

2.2.1.4 Big Data

Atualmente, o aumento explosivo de dados globais torna realidade o conceito de *Big Data*. Este termo é usado principalmente para descrever conjuntos de dados enormes, em comparação com conjuntos de dados tradicionais, incluindo massas de dados não estruturados e dados em tempo real gerados rapidamente que precisam de armazenamento e análise em tempo real. Avanços rápidos em *hardware* de computação, redes, estruturas maciças de processamento paralelo e redução de custos em infra-estrutura de computação facilitaram o

advento de tecnologias de computação, como *Big Data*, *Cloud Computing* e *Internet of Things*, entre outros. Essas tecnologias permitiram uma geração rápida de grandes quantidades de dados (ATZORI et al, 2010, ARMBRUST et al, 2010).

Big Data é o termo que descreve o imenso volume de dados que impactam nos negócios no dia a dia. Mas o importante não é a quantidade de dados, e sim o que as empresas fazem com os dados que realmente importa. *Big Data* pode ser analisado para a obtenção de *insights* que levam as melhores decisões e direções estratégicas de negócio (SAS, 2017).

Gil et al (2017), destaca que as principais tecnologias são complexas de usar e estão mudando continuamente. Há também uma falta de plataformas que podem simplificar a construção e o desenvolvimento de componentes de análise *Big Data* capazes de lidar com a exigência de algoritmos avançados. Além disso, o número de pacotes de *softwares* existentes que fornecem algoritmos para o gerenciamento e análise de *Big Data* ainda é limitado e estão em sua forma canônica (mais simplista). Os algoritmos existentes geralmente funcionam separadamente para tarefas específicas e para domínios específicos, sem fornecer pistas para trabalhar de forma coordenada para abordar tarefas novas, emergentes e desafiadoras. Na verdade, isso geralmente resulta em soluções de dados de baixa qualidade, quando avaliados em um sistema de visualização em painéis de controle *Business Intelligence* (GIL et al, 2017).

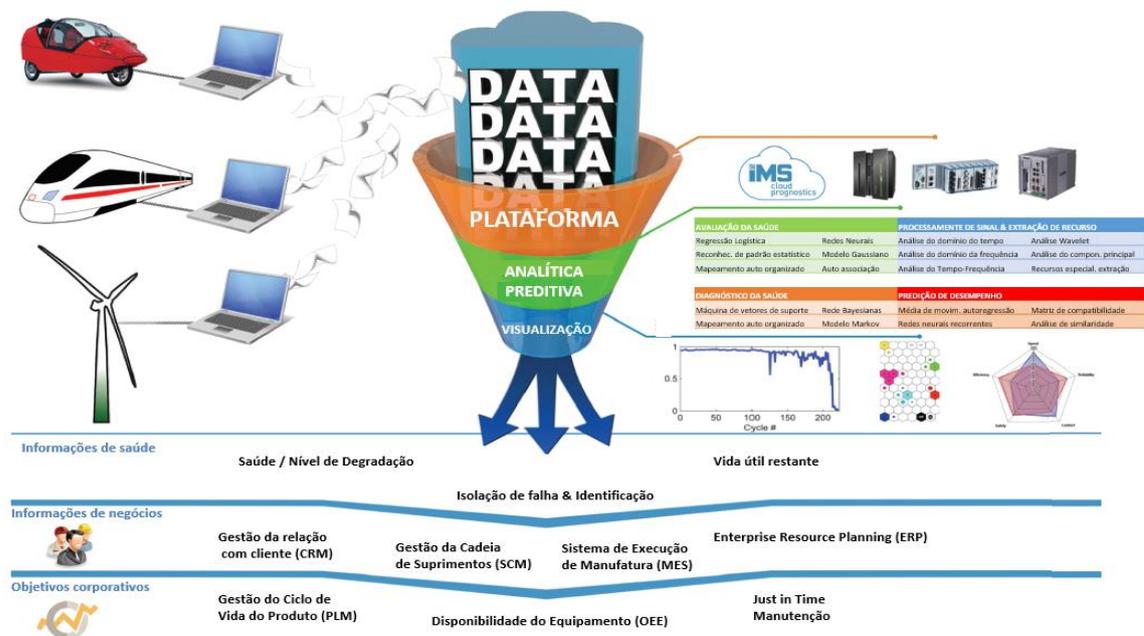


Figura 24 - Exemplo de interação do Big Data

Fonte: Adaptado de Lee et al (2015)

A figura 24 apresenta uma interação de um grande número de dados por meio de uma rede intercomunicada de diferentes origens, possibilitando a integração de todos os sinais de saída de comunicação, compilando estes dados e suportando uma possível tomada de decisão.

2.2.1.5 Data Mining

Carlos (2017) afirma que *o Data Mining* consiste em um processo analítico projetado para explorar grandes quantidades de dados (tipicamente relacionados a negócios, mercado ou pesquisas científicas), na busca de padrões consistentes e/ou relacionamentos sistemáticos entre variáveis e, então, validá-los aplicando os padrões detectados a novos subconjuntos de dados. O processo consiste basicamente em 3 etapas: exploração, construção de modelo ou definição do padrão e validação/verificação.

O *Data Mining* é a capacidade de extrair informações úteis desses grandes conjuntos de dados ou fluxos de dados. Novas técnicas de mineração são necessárias devido ao volume, variabilidade e velocidade desses dados. O desafio do *Data Mining* está se tornando uma das oportunidades mais interessantes para os próximos anos. O trabalho de Fan e Bifet (2013) é um bom ponto de referência, pois oferece uma ampla visão geral do tópico, seu status atual, aspectos controversos e uma visão do futuro (PERAL et al, 2017).

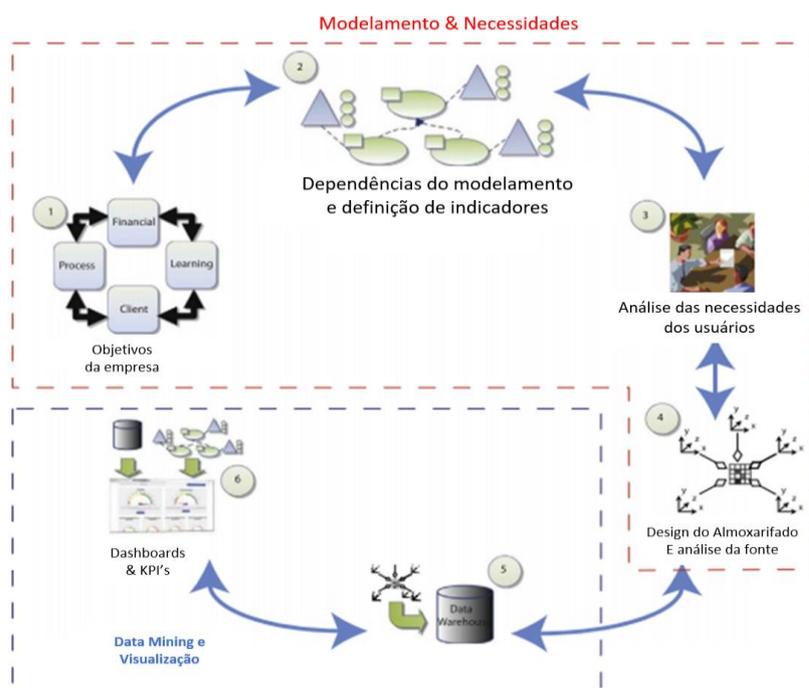


Figura 25 - Mapa estratégico genérico

Fonte: Adaptado de Peral et al. (2017)

A figura 25 apresenta um mapa estratégico de leitura de um *Data Mining* por meio da obtenção de dados de negócios, realizando um modelamento das variáveis, passando por uma análise e armazenamento destes dados até chegar a apresentação destes dados.

2.2.1.6 Cloud Computing

A computação em nuvem é a entrega da computação como um serviço ao invés de um produto pelo qual recursos compartilhados, *software* e informações são fornecidas, permitindo o acesso por meio de qualquer dispositivo conectado à internet (TECHTUDO, 2017b).

A *Cloud Computing* fornece principalmente sites de armazenamento, infra-estrutura de computação, plataformas e serviços de *software* para recursos de dados. No paradigma dos sensores IoT, a coleta e transmissão de dados globais são armazenados e processados na Nuvem. Gil e et al. (2016) apresentam uma pesquisa e novas propostas para serviços inteligentes integrados com várias arquiteturas baseadas em ontologias, links e nuvem. Mayoral et al (2017) destacam que os serviços de computação em nuvem estão se tornando uma parte essencial de qualquer infraestrutura de TI.

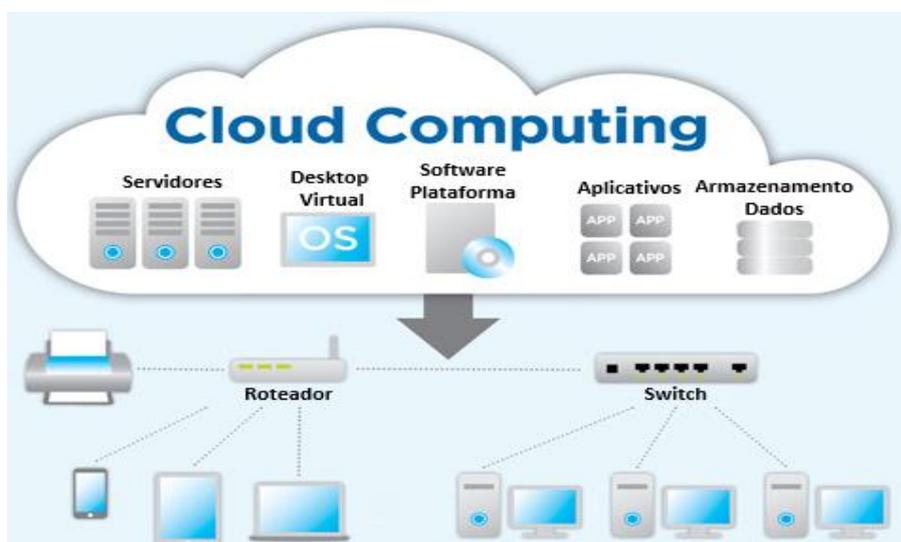


Figura 26 - Exemplo de funcionamento de Cloud Computing

Fonte: Adaptado de Datamation (2017)

A *Cloud Computing* introduziu um novo paradigma de aplicativos na qual as infraestruturas de armazenamento e servidores, são hospedadas e compartilhadas, permitindo a redução de custos e inovação em serviços e aplicações. Essas novas inovações são baseadas

em servidores cortados, apresentando um modelo de repartição. Neste contexto, o conceito de Plataforma como Serviço (PaaS) é introduzido como um novo modelo de serviço para estabelecer a rede da Internet futura (MAYORAL et al, 2017).

2.2.1.7 Manufatura aditiva (Impressora 3D)

Boschetto et al (2016) descrevem a manufatura aditiva (AM), também conhecida como fabricação em camadas ou prototipagem rápida, como um processo de fabricação fundamentalmente diferente dos métodos de fabricação convencionais, integrando o design assistido por computador, ciência de materiais e controle numérico de computador para fabricar protótipos físicos a partir de modelos virtuais (CAD) camada por camada.

Wong e Hernandez (2012) mencionam que nas últimas décadas testemunharam o rápido desenvolvimento de tecnologias AM que foram gradualmente empregadas em uma ampla gama de aplicações, como fabricação de protótipos, desenvolvimento de produtos, engenharia biomédica, dispositivos eletrônicos e arquitetura, etc.

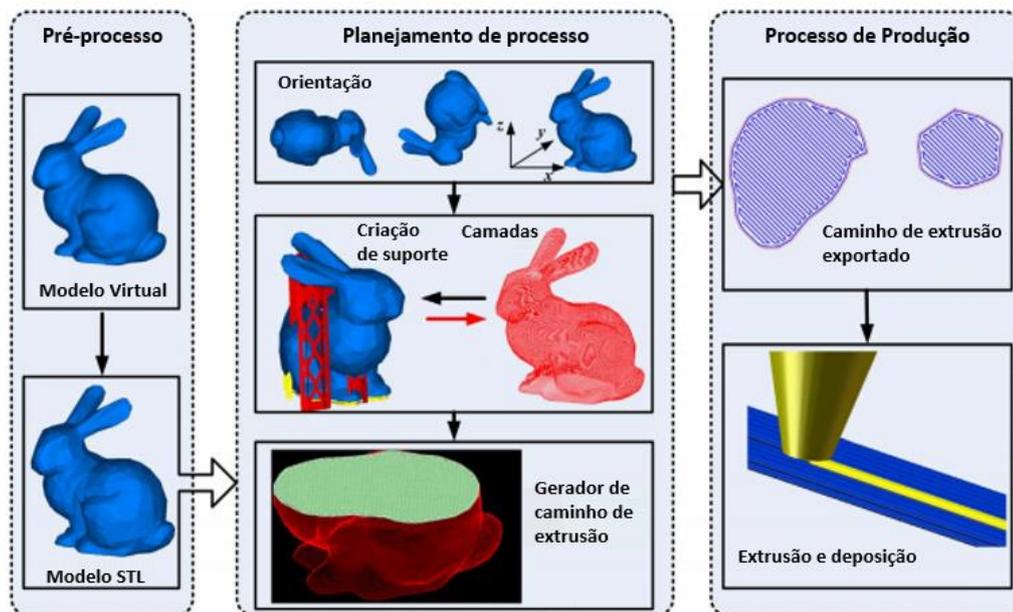


Figura 27 - Exemplo de funcionamento de Manufatura Aditiva

Fonte: Adaptado de Jin et al. (2017)

Além disso, a capacidade de produzir peças personalizadas também estimulou o interesse do público nesta tecnologia. A AM oferece um enorme potencial em muitas aplicações reduzindo o período de desenvolvimento e eliminando alguns estágios de métodos

de fabricação convencionais, bem como a construção de peças sem restrições geométricas (STEUBEN et al, 2016).

2.2.1.8 AGV (Autonomous Guided Vehicle)

Ye et al (2012) concluem que AGV é um equipamento de transporte não tripulado e automatizado, que aumenta a eficiência e reduz custos, ajudando a automatizar uma instalação de fabricação ou armazém. O AGV é um dos principais equipamentos dos sistemas de fabricação flexíveis e tem sido amplamente utilizada na fabricação, edição e impressão na indústria de automóveis, indústria eletrônica, indústria do tabaco, etc.

O *website* Wikipedia (2017b) define como um robô móvel que segue marcadores ou fios no chão ou usa visão, ímãs ou lasers para navegação. São mais frequentemente utilizados em aplicações industriais para mover materiais em torno de uma fábrica ou armazém.



Figura 28 - Exemplo de funcionamento de um AGV

Fonte: INDEVA (2017)

A figura 28 apresenta um exemplo de AGV automaticamente controlado por um sistema *wireless*, destinado ao reabastecimento de componentes em uma indústria de montagem, visando reduzir custos, recursos, tempo e conseqüentemente proporcionar um aumento de produtividade.

2.2.1.9 CAD/CAM/CAE

Lee (1999) definiu que CAD (*Computer Aided Design* - Desenho), CAM (*Computer Aided Manufacturing* – Manufatura), CAE (*Computer Aided Engineering* - Engenharia), são sistemas computacionais (*Softwares*) capazes de realizar tarefas de forma virtual anteriormente à conclusão física do projeto, no qual o CAD é responsável pelo desenho do projeto, o CAE é responsável análise de elementos finitos (estrutural) dos produtos levando em consideração os materiais e esforços à que o produto estará submetido e o CAM é a programação CNC da máquina em que o produto será produzido.

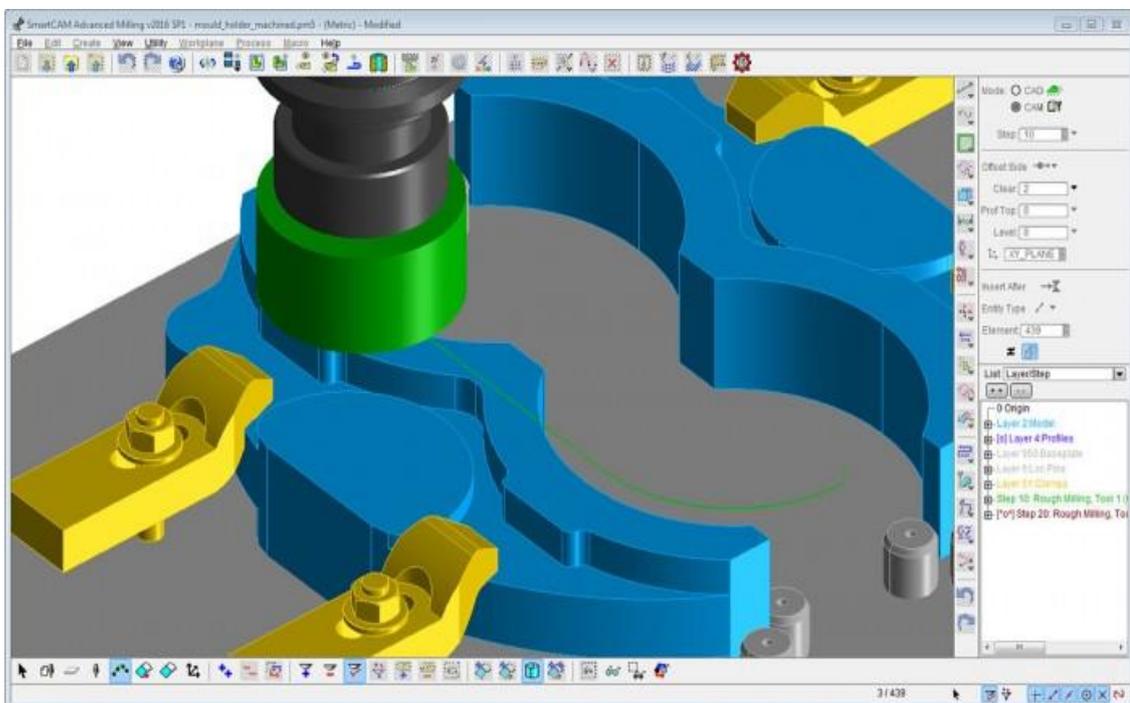


Figura 29 - Exemplo de CAD/CAE/CAM

Fonte: Machiningnews (2018)

Li e Chang (2002), destacam que para uma produção de maior automação, as funções independentes deste sistema não podem satisfazer plenamente as demandas da produção assistida por computador, com isso, a integração desse sistema diversificado em um modelo de computador CAD/CAE/CAM para projetar, analisar e fabricar é requerida pela produção. O sistema é projetado pelo CAD e depois analisado pelo CAE para ver se o conteúdo cumpre os requisitos e finalmente, o sistema é assistido pelo CAM para completar a produção.

2.2.1.10 Sistema supervisório

De acordo com Pereira e Pardi (2003), o sistema supervisório é um sistema de controle capaz de adquirir as informações do processo e torná-la disponíveis para os usuários do sistema. Um sistema supervisório também pode executar tarefas de controle em nível de supervisão, atuando diretamente no processo com um certo nível de inteligência (OZDEMIR e KARACOR, 2002).

Outra definição feita por Jurizato e Pereira (2003), é que os sistemas supervisórios podem ser vistos como sistemas que supervisionam ou monitoram processos executados em uma planta industrial, por meio da visualização de variáveis da planta que está sendo automatizada, bem como das ações tomadas pelo sistema de automação. Sistemas supervisórios são usualmente empregados com a finalidade de tornar possível o reconhecimento de prováveis falhas em componentes da planta antes que essas falhas ocorram efetivamente.

Um sistema supervisório em um ambiente industrial automatizado, segundo Daneels e Salter (1999), é essencialmente composto por 4 elementos: processo físico, *hardware* de controle, *software* de supervisão e rede de comunicação.

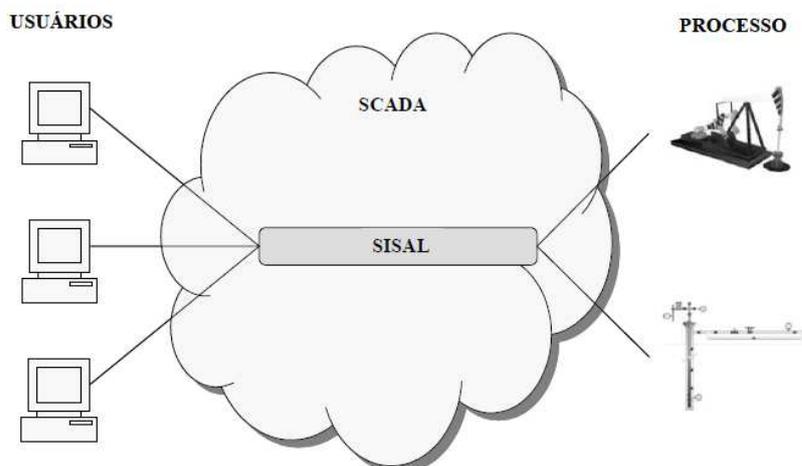


Figura 30 - Exemplo da arquitetura de um sistema supervisório

Fonte: Souza et al. (2006)

A figura 30 apresenta a arquitetura básica de um sistema supervisório, no qual há a coleta de dados no processo (por meio de sensores, atuadores, etc.), estes dados são tratados de acordo com a programação realizada, para então serem publicados aos usuários da forma mais intuitiva possível.

2.2.1.11 Flexsim (Ferramenta/técnica de simulação de processos industriais)

De acordo com Nordgren (2011), Flexsim é um *software* de simulação de processos industriais nos quais todos os modelos de simulação são criados em escala e são apresentados usando uma visualização em 3D, tornando fácil de ver e reconhecer os gargalos na linha de produção ou outras deficiências dentro do sistema. O *software* de simulação Flexsim em um ambiente virtual visa refletir/simular todas as atividades dos processos da linha de produção e suas características, e possui a capacidade de analisar dinamicamente informações em tempo real da linha de produção e do processo para reproduzir as atividades específicas fornecendo informações para tomadas de decisão.

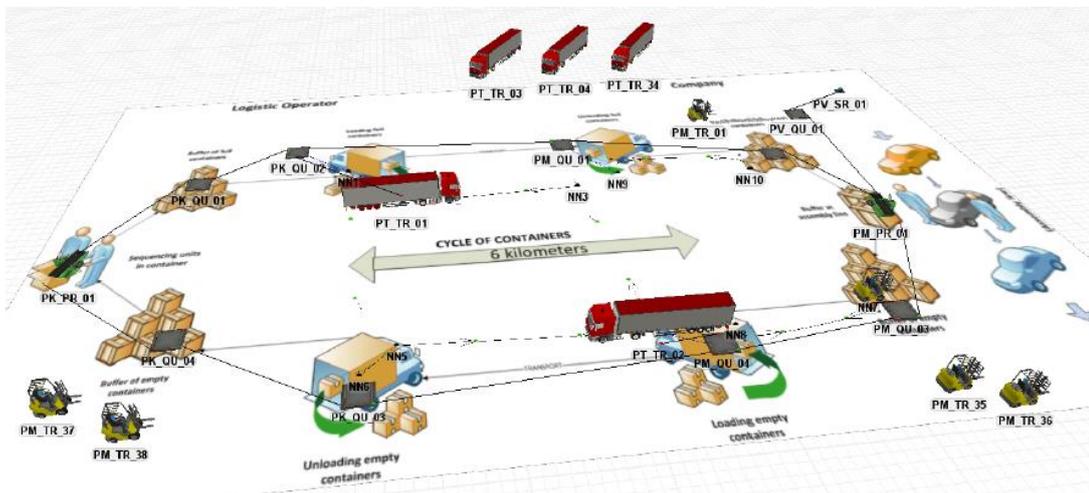


Figura 31 - Exemplo de simulação com o Flexsim

Fonte: Nordgren, W. B. (2011)

A figura 31 destaca a simulação de uma cadeia completa de manufatura, levando em considerações todos os pontos de controle, no qual, por meio dessa simulação, é possível observar e analisar possíveis gargalos de processo e dar subsídios a uma possível tomada de decisão.

O termo/nome “Flexsim” foi adotado em associação à ferramenta/técnica de simulação de processos industriais pois em meios industriais é mais fácil de identificar esta técnica e também auxiliará na pesquisa *Survey* evitando erros de interpretação, muito embora é sabido que existem outras ferramentas/técnicas de simulação de processos industriais compatíveis no mercado.

2.2.1.12 People Analytics

Frente aos desafios atuais em favor da integração estratégica do capital humano às ações organizacionais como um meio de prover a competitividade com qualidade de vida, vislumbra-se uma nova tendência que é adepta a uma visão estratégica de gestão do capital humano e traz consigo respostas aos limites impostos à sustentabilidade das organizações. De acordo com Gustafsson (2012) e Mishra et al (2016), o *People Analytics* (ou, *HR Analytics*), é uma tendência mundial muito forte na área de RH e na gestão estratégica da empresa como um todo.

People Analytics pode ser entendido como abordagem quantitativa que correlaciona dados dos funcionários com desempenho da empresa, visando melhorar a assertividade na gestão do capital humano. Assim, como uma das tendências mais promissoras do mundo corporativo atual, com alto potencial em termos de benefícios científicos, econômicos e sociais, o *People Analytics* consiste em uma abordagem quantitativa à gestão do capital humano, integrando ferramentas, tecnologias e métodos analíticos que garantem qualidade e desígnio estratégico às decisões voltadas ao lado humano das organizações (GUSTAFSSON, 2012; MISHRA et al, 2016).

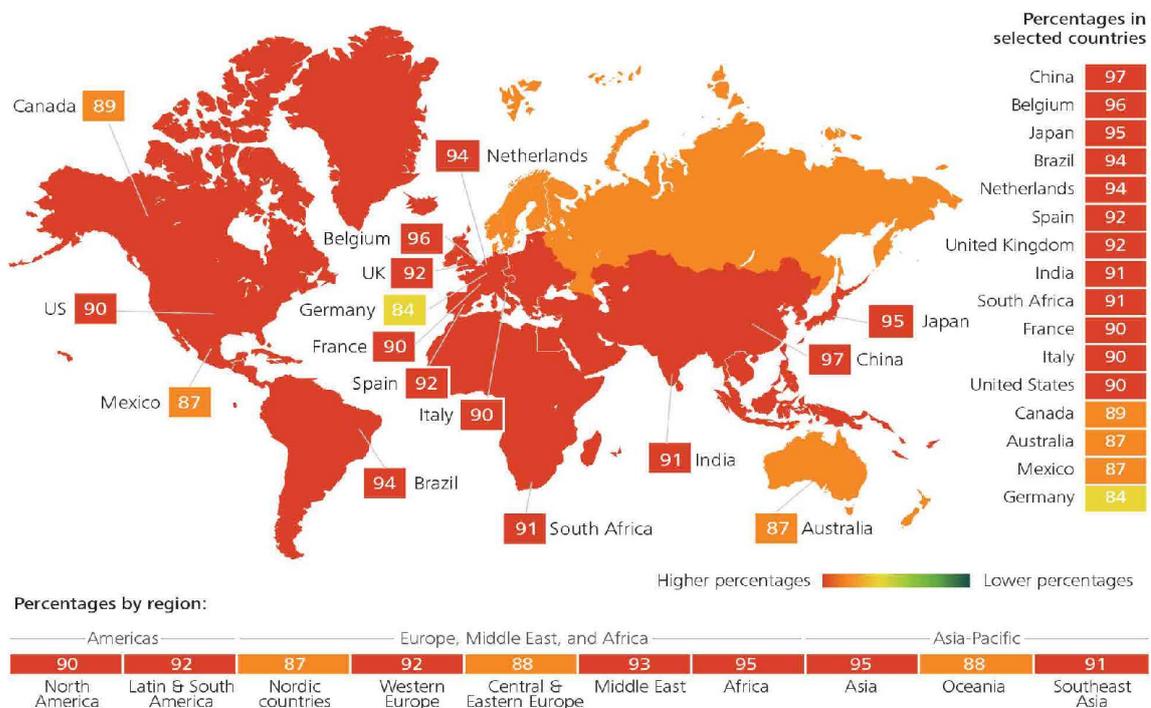


Figura 32 - Países que consideram People Analytics

Fonte: McDowell (2016)

A figura 32 demonstra de forma abrangente os países que mais aderiram as técnicas do *People Analytics* em suas tomadas de decisão referente ao capital humano, destacando-se em primeiro lugar a China, segunda lugar a Bélgica, em terceiro lugar o Japão e em quarto lugar o Brasil.

2.3 Contribuições da I.4.0 ao LM

De acordo com Sanders et al (2016), em muitas indústrias, a personalização levou a uma situação em que muitas empresas de produção oferecem uma grande variedade de produtos para se manterem competitivos. Normalmente, alguns produtos "avançados", de padrão rápido, exibirão uma demanda relativamente estável, enquanto a maioria está em movimento lento e tem demanda mais voláteis. É bem estabelecido na literatura que é necessária uma combinação de abordagens de produção para essas empresas.

O LM pode ser descrito como uma abordagem de produção multifacetada que compreende uma variedade de práticas industriais, direcionadas para a identificação de processos de adição de valor a partir da competência do cliente e permitir o fluxo desses processos na atração do cliente por meio da organização (SHAH e WARD, 2007; WOMACK e JONES, 2004). Ele evoluiu a partir da conceitualização do *Toyota Production System* (TPS) pelas iniciativas de Taichii Ohno na Toyota Motor Company (OHNO, 2002). O impulso central da fabricação enxuta é criar um fluxo simplificado de processos para criar os produtos acabados ao ritmo exigido de clientes com pouco ou nenhum desperdício (SHAH e WARD, 2003). Shah e Ward (2007) realizaram um estudo abrangente e multi-passo para identificar a estrutura dimensional da produção enxuta e desenvolver escalas confiáveis para dar significado a essa estrutura. Eles quantificaram a definição conceitual e a mensuração da produção enxuta em dez fatores, conforme mencionado abaixo:

1. *Feedback* do fornecedor: Críticas e desempenho de produtos e serviços recebidos de clientes para serem periodicamente comunicados aos fornecedores, para transferência efetiva de informações.
2. Entrega *Just-In-Time* (JIT) pelos fornecedores: somente a quantidade necessária de produtos para ser entregue pelos fornecedores no horário especificado quando os clientes os exigirem.
3. Desenvolvimento de fornecedores: Fornecedores a serem desenvolvidos junto com o fabricante, para evitar inconsistências nos níveis de competência.

4. Envolvimento do cliente: os clientes são os principais motores de uma empresa, suas necessidades e expectativas devem ser prioritárias.
5. Produção puxada: iniciação da necessidade do sucessor através do Kanban deve permitir o fluxo de produção do antecessor, significando como produção JIT.
6. Fluxo contínuo: um fluxo aerodinâmico de produtos sem grandes paradas deve ser estabelecido em toda a fábrica.
7. Redução de *setup*: o tempo necessário para adaptar os recursos para as variações nos produtos deve ser mantido pelo menos possível.
8. Manutenção preventiva / produtiva total: a falha de máquinas e equipamentos deve ser evitada por procedimentos de manutenção periódica efetiva. Em caso de falha, o tempo de resposta baixo deve ser mantido.
9. Controle estatístico de processo: a qualidade dos produtos é de primordial importância, nenhum defeito deve ser percolado de um processo para um posterior.
10. Envolvimento dos funcionários: com motivação e direito adequados, os funcionários devem ser capacitados para uma contribuição global para a empresa.

Shah e Ward (2007), por meio de sua pesquisa, fornecem uma definição teórica para o termo "fabricação enxuta" e validado por uma extensa pesquisa de práticas enxutas nas indústrias de manufatura (HASLE et al, 2012). Eles fornecem uma explicação dos princípios subjacentes e uma definição clara para a fabricação LM em uma abordagem sócio-técnica (STAATS et al, 2011). Este modelo de dez elementos inclui pessoas e elementos de processo, bem como fatores internos e externos, que têm foco limitado em pesquisas anteriores (Dora, et al. 2013). Por isso, estas extensas e amplamente aceitas dez dimensões da produção enxuta são usadas nesta pesquisa e são validadas para atingir as tecnologias da I.4.0.

Essas dez dimensões são agrupadas em quatro fatores principais, dependendo das entidades envolvidas em cada uma das dimensões. Conseqüentemente, os fatores descritos na figura 33 são:

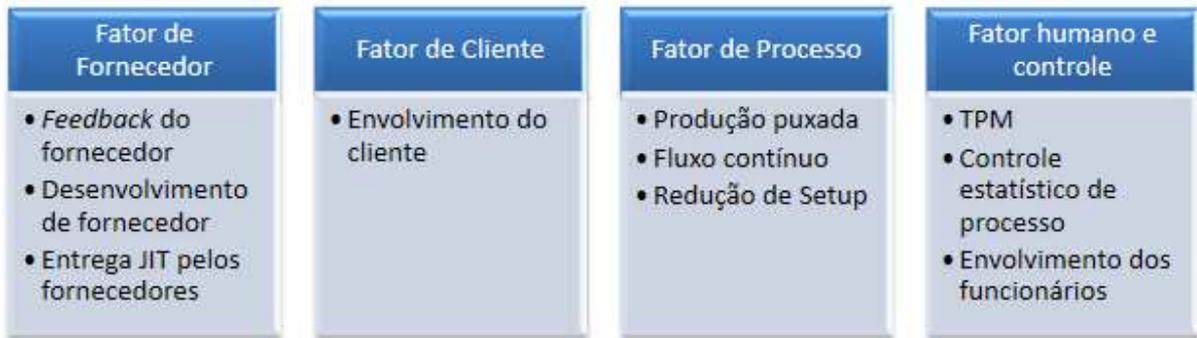


Figura 33 - Dimensões agrupadas do Lean Manufacturing

Fonte: Adaptado de Sanders et al. (2016)

Conforme Sanders et al (2016), os fatores dos fornecedores estão preocupados com a integração com os fornecedores e compreendem as dimensões do *feedback* do fornecedor, o desenvolvimento do fornecedor e a entrega do JIT. O fator do cliente está focado em envolver o cliente nos processos de negócios. Os fatores do processo se concentram nas operações e sequência dos processos e consistem nas dimensões de produção puxada, fluxo contínuo e redução do tempo de *setup*. Os fatores humanos e de controle, como o nome sugere, estão preocupados com o sistema de controle e funcionários. A manutenção produtiva / preventiva total, o controle estatístico de processo e o envolvimento dos funcionários estão nesta categoria.

Nos próximos itens serão abordadas as dez dimensões da produção enxuta dos quatro fatores de agrupamento de acordo com Shah e Ward (2007) e como as técnicas e conceitos da I.4.0 atuam como facilitadores para essas dimensões.

2.3.1 Fator de fornecedor

Os fatores do fornecedor estão preocupados com o fluxo de bens e informações dos fornecedores para o fabricante. É necessário que todas as entidades da cadeia de suprimentos se sincronizem com as mudanças nos processos de negócios do fabricante.

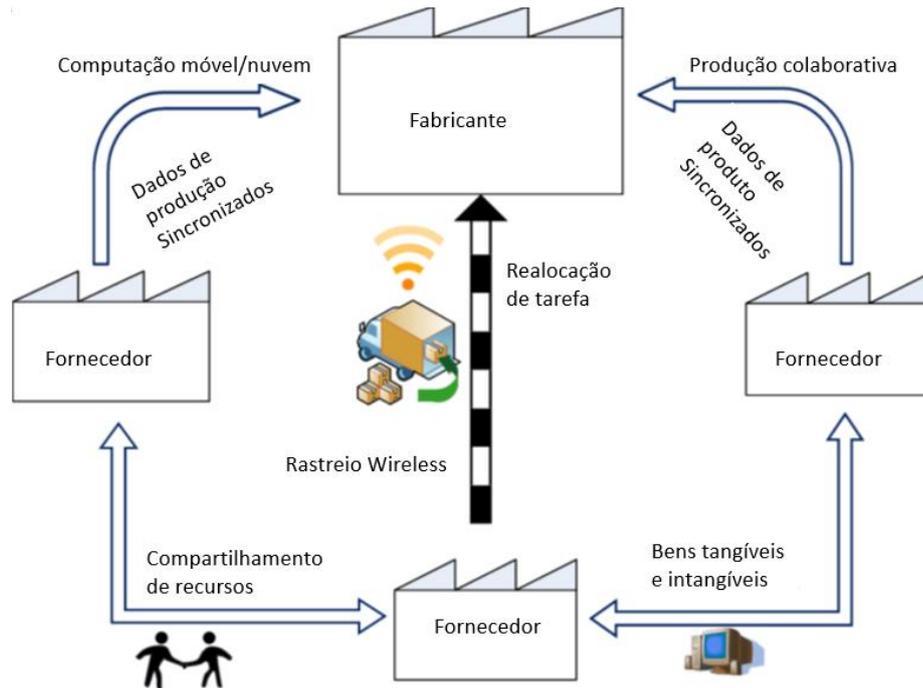


Figura 34 - Impactos da I.4.0 no fator de fornecedor

Fonte: Adaptado de Sanders et al. (2016)

A figura 34 apresenta os impactos da I.4.0 no fator de fornecedor, baseando-se nas dimensões do *feedback* do fornecedor, o desenvolvimento do fornecedor, a entrega do JIT e o impacto da I.4.0 sobre esses fatores. (SANDERS et al, 2016).

2.3.1.1 *Feedback* do fornecedor

De acordo com Sanders et al (2016), a transferência inapropriada de informações entre fabricantes e fornecedores é uma fonte significativa de resíduos, tanto no processo como no produto. Os fornecedores precisam ser regularmente informados sobre o status e condição dos produtos e serviços fornecidos por eles. Isso abre caminho para uma resposta imediata e ação adequada em caso de discrepâncias. Mas a diferença nos modelos de negócios, operação e práticas de manutenção de dados entre os fabricantes e fornecedores não permite aos fabricantes comunicarem facilmente informações com outros parceiros de negócios. Toda indústria não pode ter conhecimentos e recursos em todos os campos exigidos. A I.4.0 fornece as ferramentas necessárias para obter *feedback* imediato e automático aos fornecedores, para superar burocracias e canais de comunicação inadequados.

Brettel et al (2014) definiu que os ambientes de fabricação e desenvolvimento colaborativo no contexto da I.4.0 atendem adequadamente a esses objetivos, especialmente

para as PME com recursos limitados. A experiência combinada de empresas colaboradas expande os horizontes dos negócios, além de mitigação benéfica de risco em caso de catástrofes. Os dados de produtos e processos de produção são compartilhados além dos limites de indústrias individuais, permitindo que estejam altamente sincronizados. Os mecanismos tradicionais de comunicação entre os parceiros de uma empresa são renovados por meio de computação em nuvem e serviços de computação móvel. Apenas por meio de *smartphones* e *tablets* conectados à Internet e à nuvem, poderia ser mantida uma integração fácil e um melhor relacionamento entre os parceiros de negócios (SCHMIDT et al, 2015). Assim, a colaboração, a sincronização e os melhores mecanismos de comunicação servem como facilitadores para manter um *feedback* eficaz dos fornecedores.

2.3.1.2 Entrega Just-In-Time (JIT) pelos fornecedores

Conforme Shah e Ward (2007), a filosofia do Sistema de Produção Toyota exige um nível zero de estoque. Somente o número necessário de produtos deve chegar ao fabricante no momento certo, sem a necessidade de armazená-los antes de serem usados. Mas, nos sistemas de logística atuais, essa entrega pontual nem sempre é possível devido a razões como o status incompleto dos produtos que estão sendo enviados, a falta de correspondência entre os bens necessários e transportados e os atrasos inesperados durante a transferência de mercadorias. A *Internet of Things* está equipada com diferentes dispositivos integrados de comunicação, que gerenciam informações sobre mercadorias transportadas. Todos os itens já armazenados com uma nota de entrega, serão rastreados via *wireless* sobre sua origem, destino e o status atual.

Marcar todos os itens garante o envio de produtos certos para os destinos corretos e a redução dos prazos de distribuição. Isso garante não apenas a entrega pontual dos itens, mas também otimização das rotas de viagem e confiabilidade na logística (SANDERS et al, 2016). Um fornecedor está habilitado a comentar quando seus bens chegaram ao cliente, aumentando a credibilidade e agregando valor aos clientes (BOSE e PAL, 2005; CABALLERO-GIL et al, 2013).

Caso uma entrega pontual não seja possível devido a um engarrafamento imprevisto ou a qualquer outra restrição, um alocador de tarefas inteligente iniciará um processo de negociação simulado, na qual uma ordem será realocada para satisfazer as restrições de tempo exigentes (FISCHER et al, 1996).

2.3.1.3 Desenvolvimento de fornecedores

Com o objetivo de criar um ecossistema enxuto e para melhorar continuamente, todos os parceiros da cadeia de suprimentos devem se desenvolver junto com o fabricante. Se apenas o fabricante se esforçar para implementar a fabricação enxuta e os fornecedores continuam seguindo as práticas operacionais legadas, isso pode criar uma incompatibilidade de bens e fluxo de informações e levar a efeitos adversos. Recursos e conhecimentos inadequados dificultam o crescimento dos fornecedores a par com os fabricantes. Por meio da I.4.0, as redes tecnológicas são estabelecidas entre diferentes parceiros cooperativos. Essas redes auxiliam no compartilhamento de ativos intangíveis, como pesquisa e conhecimento sob a forma de dados e informações, bem como recursos tangíveis, como máquinas, equipamentos e peritos humanos. Esses recursos fazem parte de diferentes organizações, mas atuam no sentido de atingir um objetivo comum. Tais organizações virtuais beneficiam as empresas fornecedoras em diferentes aspectos, não apenas com o modelo de negócios da terceirização, mas uma cooperação mais sinérgica, desde o desenvolvimento de produtos até a produção e vendas (SANDERS et al, 2016).

Neste ambiente, a ênfase é forte na gestão da informação para o desenvolvimento de fornecedores e para se tornar a par com o fabricante (TEPES et al, 2015). Problemas de compatibilidade de *hardware* e *software* entre fornecedores e fabricantes também são uma desvantagem importante para o desenvolvimento colaborativo. Formatos de dados incompatíveis entre dois provedores de serviços diferentes que impedem o fluxo contínuo de informações, embora evitáveis, existem devido a razões de individualidade. Os institutos globais de padronização estão padronizando as interfaces entre equipamentos, que suportam *hardware* e *software* específicos do fornecedor. Muitos provedores de soluções de tecnologia de automação estão dispostos a padronizar suas entidades individuais e protocolos de comunicação, cooperando assim com o objetivo comum da I.4.0 (WEYER et al, 2015).

2.3.2 Fator de cliente

O fator do cliente se concentra no atendimento às necessidades do cliente e a integração ao processo de negócios, a fim de alcançar uma fabricação enxuta (SANDERS et al, 2016). A dimensão do envolvimento do cliente será discutida na seção a seguir.

2.3.2.1 Envolvimento do cliente

Contra a tendência generalizada de fornecer diretamente produtos e soluções aos clientes, o envolvimento dos clientes deve ser estabelecido diretamente das fases de desenvolvimento do produto. Os clientes são o cerne para uma empresa sobreviver e, portanto, sua associação deve ser considerada de grande importância. Mas, uma vez que as especificações são definidas para fabricação, os clientes recebem pouca flexibilidade para alterá-los em uma fase posterior. Através de sistemas inteligentes na fabricação, o início do período de congelamento, ou seja, o período em que os parâmetros de fabricação são congelados e não podem ser alterados, pode ser alongado até o ponto onde os parâmetros inalteráveis são incorporados no produto (SANDERS et al, 2016). Isso é conseguido sem esforço pela integração de diferentes sistemas, como o sistema de execução de fabricação, aplicativos, etc. Isso fornece um sistema para que os clientes sejam mantidos informados sobre o estágio de produção real e conclusão esperada da ordem (CANNATA et al, 2008). Nada mais pode encontrar a velha mentalidade de "vender e esquecer" nas mentes dos fabricantes. Os modelos empresariais estão sendo convertidos em produtos e serviços. Serviços aprimorados, como atualização e remodelação, descobrem novos clientes e aumentam as experiências de clientes existentes (GANIYUSUFOGLU, 2013).

A I.4.0 também emprega técnicas intensivas para análise de clientes e áreas de pesquisa de mercado. As ferramentas de análise tradicionais, como a implantação de funções de qualidade, limitam a quantidade de requisitos dos clientes e sua relação com os requisitos de *design* do produto, além do problema de adquirir necessidades exatas dos clientes. O *Big Data* facilita o cálculo complexo extremo e o processamento da relação entre necessidades e funções para grande volume de dados (LI et al, 2015). Mesmo os produtos desenvolvidos e vendidos aos clientes são chamados de inteligentes, o que significa que eles estão integrados com dispositivos que rastreiam dados de uso e enviam para fábricas inteligentes. A fabricante então coleta e analisa os dados desses dispositivos de diferentes categorias de clientes, o que lhe permite identificar melhor as necessidades e comportamentos dos clientes, a fim de fornecer produtos e soluções mais sustentáveis (SHROUF et al, 2014). Como resultado, o período de congelamento alongado, serviços aprimorados para produtos e análise de uso permitem que as empresas compreendam e atendam melhor os clientes.

2.3.3 Fator de processo

A sequência das operações realizadas no chão de fábrica e o fluxo de produtos desde a fase de matérias-primas até os produtos acabados, conforme observado por Sanders et al (2016), são fatores significativos a serem considerados para implementar o LM. Esses fatores serão discutidos abaixo, e há uma ilustração que descreve o impacto da I.4.0 sobre esses fatores.

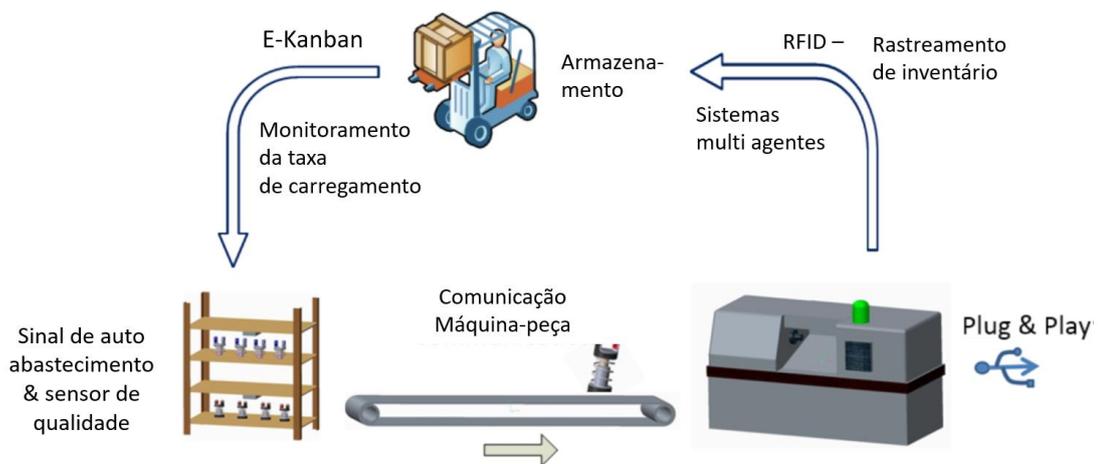


Figura 35 - Impacto da I.4.0 no fator de processo

Fonte: Adaptado de Sanders et al. (2016)

A figura 35 descreve a integração entre conceitos da I.4.0 (comunicação e auto-abastecimento por exemplo) em um fluxo de produtos considerando um ciclo completo de fabricação, desde a entrada de matéria-prima até a fase final de produção considerando o produto acabado.

2.3.3.1 Produção puxada

De acordo com Monden (2011), uma produção de impulso normal levaria a estoque extra, bens não vendidos na fábrica e, por sua vez, leva a custos adicionais de fabricação, manutenção, etc. Trilha inadequada da quantidade de materiais fornecidos na linha de produção e alterações no cronograma após o fornecimento de material afetar severamente o sistema de produção de puxar. Kanban é um dos melhores métodos de implementação de produção de puxada, em que uma estação sucessiva gera cartões kanban para iniciar a operação de uma estação específica.

Ao usar tecnologias de informação e comunicação, um sistema e-kanban reconhece os compartimentos perdidos e vazios automaticamente por meio de sensores e desencadeia o reabastecimento. De acordo com Kolberg e Zühlke (2015), o nível de carga das caixas *bin* também pode ser monitorado e os dados podem ser transmitidos via *wireless* para um sistema de controle de inventário em tempo real. Enquanto o inventário real e o valor no sistema de execução de fabricação corresponderem, falhas no controle de produção podem ser evitadas devido a falta do Kanban. Os sistemas de informação e comunicação *wireless* executam essas operações de rastreamento por meio de etiquetas de identificação por radiofrequência (RFID) para monitorar o status, o número e a localização dos lotes de material. As mudanças nos horários também podem ser monitoradas continuamente e os parâmetros kanban podem ser atualizados através dessas tecnologias (KOURI et al, 2008). Assim, o fluxo de produção geral é transformado em sistema de puxado por meio de monitoramento automático de reposição de material, rastreamento de cronograma e instalações de atualização de kanban da I.4.0.

2.3.3.2 Fluxo contínuo

Sanders et al (2016) afirma que o fluxo de matérias-primas, produtos semi-acabados e acabados, devem ser contínuos de acordo com um fluxo de valor determinado. Como um dos principais conceitos de filosofia de fabricação JIT, os materiais devem chegar apenas no momento da fabricação e não devem ser mantidos em espera por longos períodos ou armazenados como inventário. Todo processo precisa agregar valor e resultar em um fluxo de operações simplificado. Em muitos casos, ocorre uma interrupção no fluxo devido a erros na contagem de inventário, escassez de capacidade e sistemas de controle centralizados, levando a atrasos nas tomadas de decisões. As soluções 4.0 que utilizam tecnologia RFID ajudam a eliminar erros associados ao inventário pelo rastreamento exato em tempo real do inventário (SANDERS et al, 2016). Um status de inventário livre de erros ajuda a manter um baixo nível de inventário e a pedidos oportunos de bens (RAKI, 2014). As empresas em rede da era moderna também facilitam a subcontratação, pelo que recebem recursos e assistência quando necessário, o que ajuda a gerenciar a falta de capacidade. O planejamento integrado e o planejamento da produção são possíveis entre as indústrias subcontratadas. Por exemplo, um fabricante pode acompanhar a capacidade e o progresso das encomendas de um fornecedor e ajustar sua própria produção em conformidade em caso de atrasos. (WIENDAHL e LUTZ, 2002). Com o advento da fabricação holônica, empregando sistemas multiagentes para manuseio, planejamento e controle de materiais, o sistema é mais modularizado e a tomada de

decisões é deslocada de estruturas hierárquicas centralizadas para agentes descentralizados (LEWANDOWSKI et al, 2013).

Wan et al (2014), propuseram um método de distribuição de material baseado em *Internet of Things* em um ambiente de produção JIT para uma oficina de montagem em modelos mistos. Um modelo matemático para distribuição de material com base no *layout* de produção e informações de material em cada estação é construída. Um algoritmo de otimização inteligente foi desenvolvido para resolver este modelo e resultou em um plano otimizado de distribuição de material. Elimina a interrupção e a espera na linha de fabricação e os atrasos na programação, permitindo um fluxo contínuo e simplificado. Dessa forma, o rastreamento de inventário em tempo real, a subcontratação e a tomada de decisões descentralizadas conduzem a um fluxo contínuo e simplificado na linha de produção.

2.3.3.3 Redução de tempo de *Setup*

A Toyota divulgou o conceito de SMED (*Single-Minute Exchange of Die*), no qual demonstrou redução drástica dos tempos de transição. Mas a fabricação de variantes múltiplas com menor tempo de transição sempre foi um desafio. A fabricação moderna está em andamento para a personalização em massa e não pode conter grandes tempos de configuração entre variantes. As adaptações do processo são geralmente realizadas por seres humanos com base no conhecimento prévio (SANDERS et al, 2016).

Com as tecnologias da I.4.0, os sistemas “*plug and play*” e distribuídos são equipados com auto-otimização e comportamento de aprendizado de máquina, que permitem às empresas adaptar máquinas de acordo com os produtos e produzir pequenos tamanhos de lote. As operações a serem executadas em uma peça são inicialmente carregadas na peça através de tags RFID. À medida que a peça atinge a respectiva máquina, ela se comunica diretamente com a máquina por meio de receptores RFID. Isso resulta em uma troca mais rápida dos parâmetros da máquina de acordo com as instruções lidas da peça (BRETTEL et al., 2014).

2.3.4 Fator humano e controle

Os fatores responsáveis pelo controle de qualidade e equipamentos junto com o ambiente de trabalho são considerados nesta categoria. Os fatores humano e controle

consistem nas dimensões de manutenção produtiva / preventiva total, controle estatístico de processo e envolvimento do empregado (SANDERS et al, 2016).

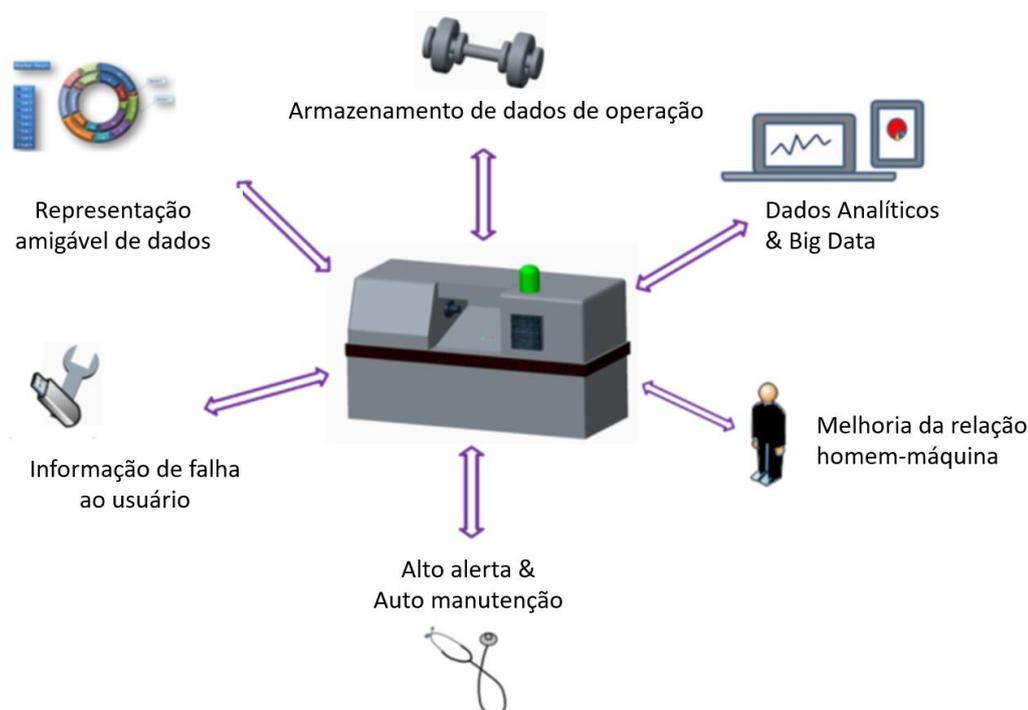


Figura 36 - Impacto da I.4.0 no fator humano e controle

Fonte: Sanders et al. (2016)

A figura 36 destaca o impacto do I.4.0 relacionado ao fator humano e controle, no qual visa melhorar a interação homem-máquina, maior clareza de informação e uma predição cada vez mais assertiva.

2.3.4.1 Manutenção Produtiva/preventiva total

Falhas de máquinas durante a produção levam a efeitos adversos no cronograma de produção, bem como ao moral dos funcionários. As empresas se esforçam por meio de agendamentos de manutenção preventiva e periódica, mas a falha de máquinas nem sempre está sob controle. A produção é interrompida em caso de avaria da máquina, e muitas vezes é gasto um tempo considerável para encontrar a causa raiz e resolver os problemas (SANDERS et al, 2016).

Em uma fábrica inteligente com máquinas interligadas com sistemas de informação e comunicação, quando uma máquina quebra, envia notificações de erro ao respectivo pessoal de manutenção. O trabalhador de manutenção verifica o código de erro para obter soluções e

obtem ferramentas e peças necessárias para reparação. Enquanto isso, o sistema de execução de fabricação pode reprogramar os trabalhos para mitigar o impacto da quebra (LUCKE et al, 2008). Com uma análise mais avançada e um grande ambiente de dados, as máquinas estão equipadas para auto-alerta e auto-manutenção. Essas máquinas avaliam sua própria saúde e degradação e utilizam dados de outras máquinas para evitar potenciais problemas de manutenção (LEE et al, 2014).

A capacidade de antecipar a quebra potencial e identificar a causa raiz deve ser desenvolvida nos sistemas de controle. Por exemplo, sistemas de planejamento de recursos empresariais incluíram estruturas abrangentes para manutenção preditiva. Integra-se entre dados da máquina, dados ERP, dados sensoriais e algoritmos preditivos (HADDARA e ELRAGAL, 2015). Assim, a comunicação da homem-máquina, a avaliação de auto-manutenção e o sistema de controle de manutenção preditiva melhoram notavelmente a manutenção produtiva e preventiva total na fábrica.

2.3.4.2 Controle estatístico do processo

A qualidade dos produtos é de suma importância em qualquer indústria de transformação. Os processos devem estar sempre sob controle e várias técnicas foram desenvolvidas no campo do gerenciamento de qualidade para avaliar os processos. Mas, aumentando a vida útil do produto, diminuindo o tempo de desenvolvimento, preços competitivos e aumentando a complexidade do produto, há necessidade então de um controle de processos de alto desempenho. A ignorância de operadores que executam uma operação e a incapacidade de rastrear o processo de variações contribuem significativamente para defeitos de qualidade nos produtos (SANDERS et al, 2016).

No cenário da I.4.0, os produtos inteligentes vêm com detalhes sobre as operações a serem realizadas neles. A sequência de operações a serem executadas em um produto já está carregada no transportador desse produto. Esta informação já foi transmitida à máquina para operações automatizadas e mostrada com melhores interfaces de visualização as operações manuais. As interfaces homem-máquina melhoradas também apresentam informações de forma mais atraente e evitam a possibilidade de cometer erros nos processos de produção (SCHUH et al, 2015).

O RFID permite a detecção automática de processos para variações lendo as respectivas informações armazenadas em tags RFID. A IoT auxilia na integração de diferentes processos de adição de valor, combinando informações e dados de diferentes máquinas. A

análise avançada combina a inteligência de negócios juntamente com o gerenciamento de fluxos de trabalho do processo, calculando tendências e relacionamentos significativos a partir dos dados disponíveis. Essas três tecnologias contribuem para as macros fases do LM por meio de suas características, como rastreabilidade, visibilidade, memória e localização (NICOLETTI, 2013). Assim, a comunicação entre peças e máquinas, interfaces homem-máquina aprimoradas e rastreamento, integração e gerenciamento de processos, garantem que produtos serão produzidos e vendidos aos clientes sem nenhum defeito.

2.3.4.3 Envolvimento dos funcionários

A produção *Lean* enfatiza fortemente o empoderamento dos funcionários. Os funcionários são responsáveis por realmente trabalhar e criar produtos e serviços, portanto, eles devem ter a flexibilidade e a importância adequadas reconhecidas de suas idéias e sugestões. A alocação incorreta de funcionários em tarefas diferentes, avaliação e treinamento impróprios de desempenho e trabalho monótono são contribuintes significativos para o mau moral no ambiente de trabalho (SANDERS et al, 2016). Em muitos casos, os trabalhadores também acham difícil retratar suas sugestões e comentários nos locais de trabalho atuais.

No ambiente de trabalho da I.4.0, os trabalhadores da produção fornecem *feedback* imediato sobre as condições de produção através de dados em tempo real por meio de seus próprios *smartphones* e *tablets*. Todos estão equipados com um dispositivo portátil inteligente, que está integrado à rede da empresa. Isso apresenta um ambiente extremamente confortável para os funcionários registrarem suas preocupações e comentários diretamente no local de trabalho (SCHUH et al, 2015).

O processo de atribuição de funcionários para diferentes operações com base em sua disponibilidade é assistido pela CPS, fazendo uso das mídias sociais independentemente da disponibilidade espacial e temporal do tomador de decisão. O gerente pode verificar a disponibilidade e alocar os trabalhadores para diferentes operações através dos dispositivos inteligentes portáteis (SPATH et al, 2013). Isso facilita os esforços do gerente na coordenação e manutenção da força de trabalho. A avaliação dos trabalhadores em termos de velocidade, precisão, desempenho e fatores motivacionais também é simplificada por meio de sistemas especializados de suporte ao trabalhador. Eles contribuem para o desenvolvimento de melhores interfaces ou processos de treinamento especializado para funcionários (BRAUNER e ZIEFLE, 2015).

2.3.5 Considerações sobre a integração I.4.0 no LM

De acordo com os aspectos convencionais da produção LM, é um fato bem aceito que, à medida que uma fábrica se torna *Lean*, o fluxo se fortalece e as atividades que não agregam valor ou "desperdícios" diminuem. A diminuição dos resíduos significa também diminuir os custos. Portanto, qualquer esforço para diminuir esse desperdício vale a pena em termos de redução de custos operacionais. Agora, esse esforço vem por meio da digitalização e integração de recursos, no nome I.4.0. Ao implementar a I.4.0, além dos benefícios declarados de tornar a fábrica inteligente, os benefícios financeiros também serão realizados devido à redução ou eliminação de resíduos redundantes. Por conseguinte, embora com uma intensidade de custos, a aplicação dos conceitos da I.4.0 prova ser o valor do investimento por seus benefícios imprevistos. Uma forma de resumir a sugestão de soluções para possíveis desafios do LM pode ser encontrada via tabela (SANDERS et al, 2016).

Tabela 6 - Resumo da integração das dimensões LM, desafios e soluções

Dimensões do <i>Lean Manufacturing</i>	Desafios para implementação do LM da perspectiva de integração	Possíveis soluções fornecidas pela Indústria 4.0
Feedback do fornecedor	Experiência e recursos limitados	Produção colaborativa
	Diferença nos modelos de negócios, práticas de manutenção na operação e dados	Melhores mecanismos de comunicação Sincronização de dados
Entrega Just-In-Time (JIT) pelos fornecedores	Status de envio de mercadorias incompletas	Etiquetagem de itens (rastreamento)
	Incompatibilidade na quantidade de mercadorias transportadas	Rastreamento de bens via wireless
	Atrasos inesperados durante o transporte	Realocação inteligente de ordem
Desenvolvimento de fornecedor	Recursos e conhecimentos inadequados	Interfaces padronizadas
	Compatibilidade de equipamentos entre organizações	Organizações virtuais - cooperação sinérgica
Envolvimento do cliente	Pouca flexibilidade para a alteração do produto	Período de congelamento alongado
	Relacionamento entre necessidades e funções	Grande volume de QFD
	Adquirir necessidades exatas do cliente	Análise de uso
Produção puxada	Rastreo inadequado da quantidade de material fornecido	Monitoramento de reposição de material
	Mudanças no cronograma de produção	Acompanhamento de agendamento e atualização de kanban
Fluxo Contínuo	Erros na contagem de inventário	Rastreamento de inventário em tempo real
	Escassez de capacidade	Subcontratação
	Sistemas de controle centralizados	Tomada de decisão descentralizada

Redução do tempo de <i>setup</i>	Adaptação ao processo baseado na experiência humana	Auto-otimização e aprendizado automático
Manutenção produtiva/preventiva total	Sem controle da quebra da máquina	Comunicação da máquina de trabalho
	Tempo de resolução de problemas desconhecidos	Comunicação de máquina-trabalhador
		Avaliação de auto-manutenção
Controle estatístico do processo		Sistema de controle de manutenção preditiva
	Ignorância dos operadores	Comunicação entre peça-máquina
	Incapacidade de acompanhar as variações do processo	Melhoria na interface homem-máquina
Envolvimento do funcionário		Processamento de rastreamento, integração e gerenciamento
	Mecanismos de feedback inadequados	Dispositivos de feedback inteligentes
	Práticas de avaliação de desempenho	Sistemas de suporte ao trabalhador
	Monotonia no trabalho	Melhoria na interface homem-máquina

Fonte: Sanders et al. (2016)

Conforme Sanders et al (2016), a tabela 6 apresenta as dez dimensões do LM conforme abordado por Shah e Ward (2007), traçando um paralelo entre os desafios dessas dimensões com possíveis soluções encontrados por meio dos conceitos da I.4.0.

Ainda sobre a tabela 6, são apresentados os desafios encontrados nas dimensões do LM, porém não vinculada a solução a uma técnica específica da I.4.0, ou seja, mais uma razão da importância deste trabalho.

3 Metodologia de Pesquisa

Conforme observado por Ruy (2002), a metodologia científica consiste numa série de atividades sistemáticas e racionais para se buscar, de maneira confiável, soluções para um dado problema, sendo ela composta por uma série de metodologias e técnicas, indicadas na figura 37, que aumentam a segurança e a chance de sucesso de uma pesquisa, direcionando a atividade dos pesquisadores e esclarecendo suas decisões por meio de princípios científicos.



Figura 37 - Métodos e técnicas de pesquisa da metodologia científica

Fonte: Ruy (2002)

Os métodos de pesquisa amplos são utilizados geralmente para se tratar de questões genéricas e abstratas da discussão filosófica da ciência e seu significado. De forma simplificada, a principal diferença entre os métodos indutivo e dedutivo é que o primeiro parte da observação de alguns fenômenos para generalizações, já o segundo parte de generalizações aceitas para casos particulares, um é empírico e o outro racional” (RUY, 2002). O método dedutivo busca não a comprovação, mas a contestação de uma teoria, que se torna mais robusta a cada argumentação rejeitada. O método dialético busca evidenciar e resolver as contradições da realidade de uma maneira dinâmica, colocando duas proposições contraditórias em oposição (tese e antítese) e conciliando ambas na síntese, que por sua vez dá início a um novo processo tese-antítese-síntese.

Leedy (2005) ressalta que tanto métodos quantitativos, como qualitativos, podem ser aplicados durante a fase de exploração da pesquisa. A pesquisa quantitativa ou experimental é

utilizada para responder questões de relacionamento entre variáveis previamente medidas, com o objetivo de explicar, prever e controlar um fenômeno. Já a pesquisa qualitativa é tipicamente aplicada para responder questões sobre fenômenos de natureza complexa, frequentemente com o propósito de descrever o entendimento de um fenômeno do ponto de vista dos participantes. Os dois métodos de pesquisa podem fazer parte da mesma pesquisa já que alguns métodos permitem.

3.1 Classificação da pesquisa

Para que o resultado esperado seja alcançado, é realizada nessa dissertação, uma pesquisa aplicada, exploratória, descritiva e quali quanti, sobre a aderência das técnicas disponíveis de ambos os conceitos (YIN, 2009). Para validação da pesquisa será realizada uma pesquisa *Survey* com especialistas da área e para que seja realizada a conclusão do estudo de forma fundamentada, no questionário de pesquisa será utilizado o coeficiente Alfa de Cronbach para maior confiabilidade ao questionário e posteriormente tratando estes resultados por meio da análise de correspondência entre os conceitos levantados durante o estudo.

Tabela 7 - Classificação da pesquisa

<i>Classificação das pesquisas quanto à ...</i>			
<i>Natureza</i>	<i>Forma de abordagem</i>	<i>Aos objetivos</i>	<i>Aos procedimentos técnicos</i>
<i>- Pesquisa Básica</i>	<i>- Pesquisa Quantitativa</i>	<i>- Pesquisa Exploratória</i>	<i>Pesquisa Bibliográfica</i>
			<i>Pesquisa Documental</i>
			<i>Pesquisa Experimental</i>
			<i>Levantamento</i>
<i>- Pesquisa Aplicada</i>	<i>- Pesquisa Qualitativa</i>	<i>- Pesquisa Descritiva</i>	<i>Estudo de caso</i>
			<i>Pesquisa Ex-Post-Facto</i>
			<i>Pesquisa ação</i>
			<i>Pesquisa Participante</i>

Fonte: Adaptado de Silva (2011)

De acordo com Marconi e Lakatos (2011), para ser classificado como científico, o conhecimento necessita ser passível de experimentação, a fim de verificar a sua contingência, ao passo que a organização sistemática proporciona o encadeamento lógico entre conceitos

teóricos. Além disso, a verificabilidade torna o conhecimento aproximadamente exato, uma vez que este não possui caráter definitivo, e pode ser complementado mediante ao advento de novas inferências. De acordo com Gil (2010), a pesquisa quanto a sua natureza, a é de natureza aplicada, pois o conhecimento gerado tem utilidade prática comprovada para uma classe específica de problemas.

Baseando-se nas afirmações de de Dresch et al (2015), verifica-se que o objetivo da pesquisa é exploratório, dado que o grau de imersão ao tema possibilita uma visualização ampla do contexto, fato que proporciona a ponderação de novas ideias e de conjunturas para o processo criativo de geração de alternativas. Do ponto de vista dos objetivos, Sampieri et al (2013) caracteriza-os em exploratório, que indagam a partir de uma nova perspectiva e também por ser um constructo; descritivo, em que são medidos conceitos e determinados variáveis; correlacional, que oferecem prognósticos e relações entre conceitos (relaciona e aglutina conceitos de LM e I.4.0); e explicativos ou causais, que explicam fenômenos mediante a evidências.

A pesquisa é qualitativa, pois, de acordo com Acevedo e Nohara (2006), “... o termo pesquisa qualitativa tem sido utilizada para designar vários métodos de investigação (...). Alguns dos métodos denominados qualitativos pela literatura em metodologia de pesquisa são: as entrevistas em profundidade, os grupos de foco.”.

No que diz respeito à *Survey*, para Yin (2009), a elaboração do protocolo ou questionário deverá não somente conter um instrumento para a investigação, mas também os procedimentos e regras gerais que deviam ser seguidos através do instrumento:

- Visão geral do projeto de estudo (objetivos, temas, leituras, literatura e pesquisa);
- Procedimentos de campo (acesso aos locais de campo, as fontes de informação);
- Estudo de Caso, ou tema de pesquisa, com questões colocadas aos investigadores; classificações-chave;
- Sugestões para prováveis fontes de evidência (não a respostas literais e sim a perguntas a serem feitas);
- Um guia para o relatório de estudo de caso, em caso de necessidade;

A mensagem que antecede o questionário deve ser razoavelmente atrativa aos olhos e breve o suficiente para motivar os respondentes a preencher o questionário sem passar a impressão de exaustão (BUSSAB et al, 1989).

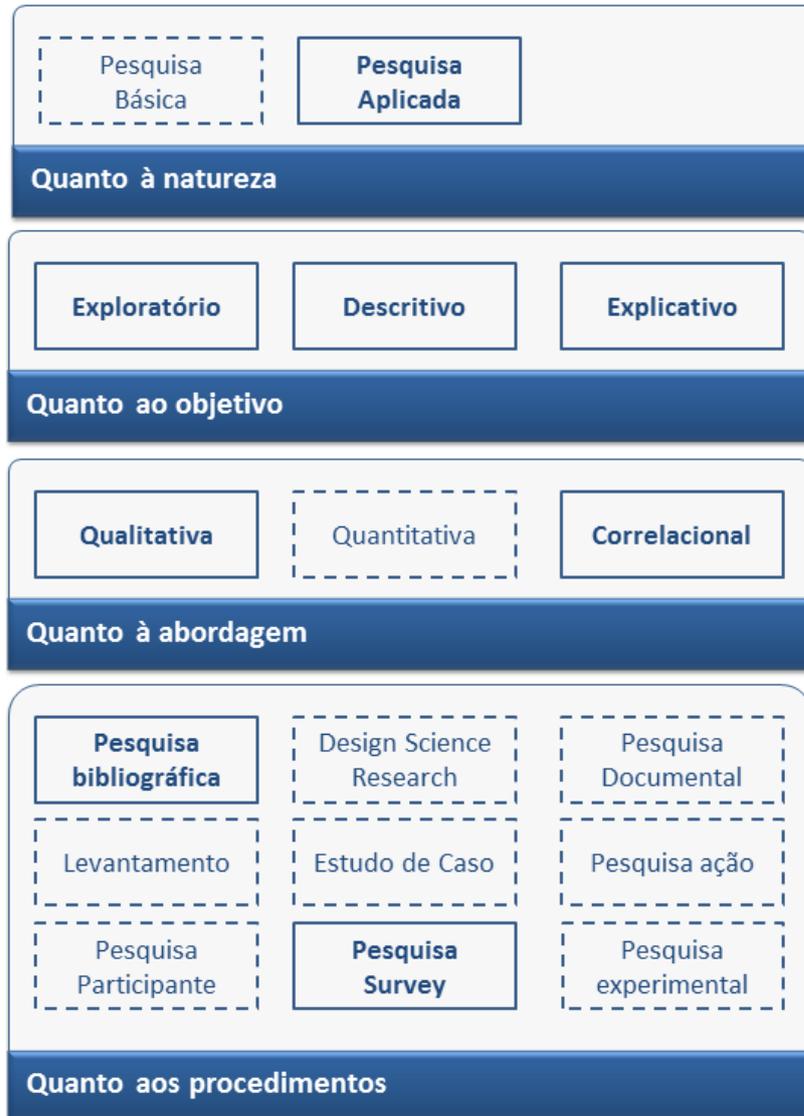


Figura 38 - Classificação da pesquisa

Fonte: Adaptado de Gil (2010) e Dresch et al. (2015)

A figura 38 resume a classificação da pesquisa quanto a natureza, objetivo, abordagem e procedimentos, dando ao leitor uma visão clara de sua estrutura básica e induzindo o leitor a saber o que vem a seguir levando em consideração conceitos abordados por Gil (2010) e Dresch et al (2015).

3.2 Etapas da pesquisa

O propósito dessa pesquisa consiste, assim, em avaliar qualiquanti e correlacionar os resultados para julgar a efetividade de um plano ou programa. Avaliar significa atribuir valor a alguma coisa e envolve sempre uma comparação de resultados, por exemplo, entre uma situação anterior e posterior, após a implementação de um programa ou sistema de melhoria. Para ser possível essa avaliação, foi realizado um longo e exaustivo levantamento bibliográfico, levando em consideração bases de pesquisas científicas nacionais e internacionais de diversos países. Dentre as bases consultadas, foram consideradas: *Web of Science*, *Scopus*, *Science Direct*, *EBESCO*, *Springer* e *Google Scholar*.

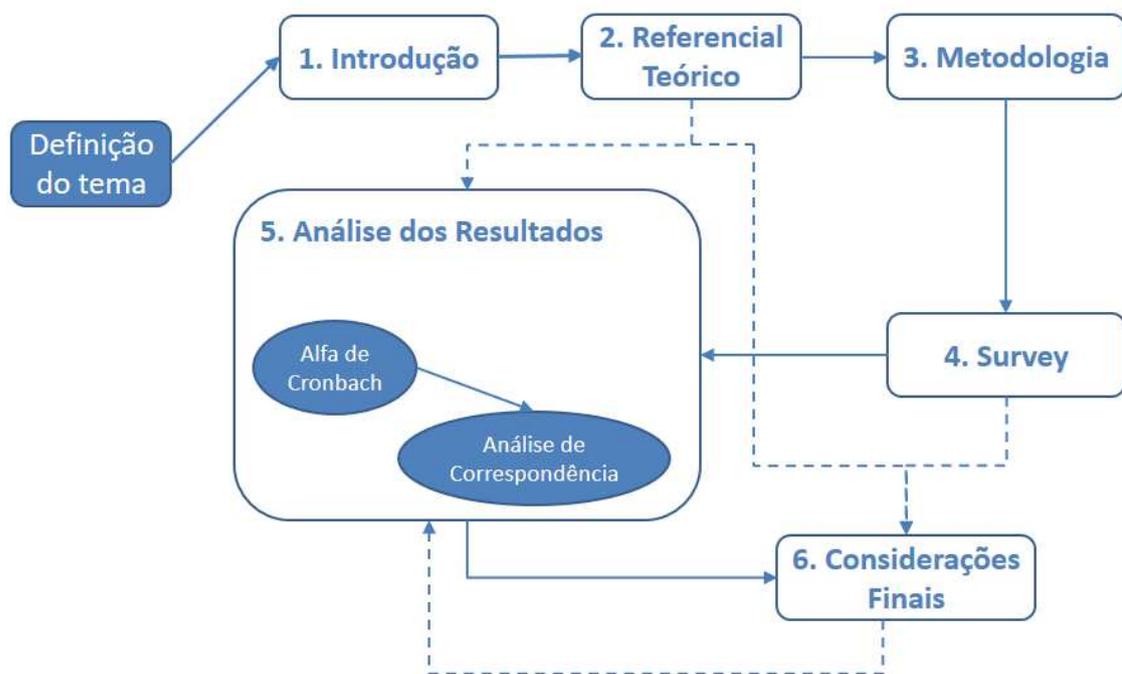


Figura 39 - Etapas do método de pesquisa

Quivy e Campenhoudt (2003) relatam que um problema pode ser analisado de várias formas, porém, normalmente, compõe um formato básico capaz de guardar particularidades que serão previamente utilizadas.

O primeiro estágio, Ruptura, consiste precisamente na quebra de preconceitos e paradigmas que alimentam falsas evidências, que dá a ilusão de compreender coisas. Para coleta de informações e dados que servirão aos estágios subsequentes.

O segundo estágio, Construção, é baseado nas informações obtidas no estágio anterior que gera preposições explicativas ao problema que se pretende estudar. Fornece subsídios para escolha do plano de pesquisa, operações a serem aplicadas e sinaliza as consequências que porventura se pode esperar em termos de observação.

O terceiro estágio, Verificação, tem como objetivo validar, por intermédio de fatos, se as preposições fundadas anteriormente realmente ocorreram, realizando-se as devidas análises, observações, conclusões e sugestões futuras.

É importante ressaltar que nem todos os pesquisadores seguem o processo de Quivy e Campenhoudt na sua essência. Porém este trabalho sugere com simplicidade como transcorre essa pesquisa. A figura 40 rascunha as etapas de investigação para realização de uma pesquisa, adaptado de Quivy e Campenhoudt (2003).

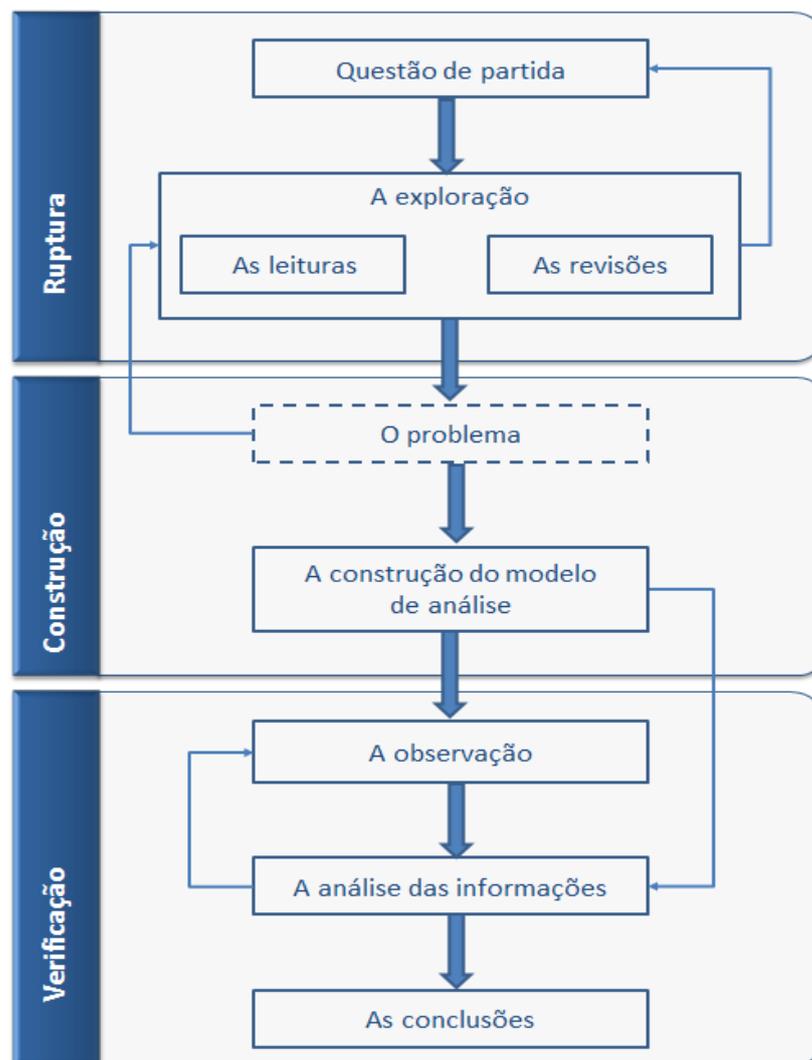


Figura 40 - Etapas de desdobramento de uma pesquisa

Fonte: Adaptado de Quivy e Campenhoudt (2003)

A figura 40 apresenta de forma sucinta as etapas do desdobramento dessa pesquisa baseando-se nos conceitos de Quivy e Campenhoudt (2003).

3.3 Técnica estatística aplicada – Análise de Correspondência

Este trabalho possui dados com variáveis qualitativas entre dois conceitos (I.4.0 e LM) e, para tal análise, a metodologia utilizada foi a análise de correspondência, pois trata-se, em essência, da relação de duas ou mais variáveis qualitativas, buscando explicitar a associação entre categorias dessas variáveis em um espaço multidimensional.

A necessidade de se aplicar questionários para alavancar dados para a realização da pesquisa, na maioria das vezes, nos remete ao problema da grande quantidade de dados, tornando praticamente inviável a análise dos mesmos por meio de métodos da estatística univariada. Indicada para esse tipo de situação, no qual existe uma maior quantidade de variáveis, a estatística multivariada trabalha com os dados levantados, visando condensá-los em suas componentes principais, tornando mais fácil sua análise, além de diminuir os erros de interpretação. De acordo com Mingoti (2005), os métodos da estatística multivariada são utilizados com o propósito de simplificar ou facilitar a interpretação do fenômeno que está sendo estudado por meio da construção de índices ou variáveis alternativas que sintetizem a informação original dos dados.

A técnica exploratória de simplificação da estrutura da variabilidade de dados multivariados, no caso a Análise de Correspondência, utiliza de variáveis categóricas dispostas em tabelas de contingência, levando em conta medidas de correspondência entre as linhas e colunas da matriz de dados. De acordo com Lúcio (1999) a Análise de Correspondência é um método para determinação de um sistema de associação entre os elementos de dois ou mais conjuntos, buscando explicar a estrutura de associação dos fatores em questão. Assim, são construídos gráficos com as componentes principais das linhas e das colunas permitindo a visualização da relação entre os conjuntos, onde a proximidade dos pontos referentes à linha e a coluna indicam associação e o distanciamento, uma repulsão.

De acordo com a afirmação de Czermainski (2004), uma das grandes vantagens de se trabalhar com a Análise de Correspondência, é que esta técnica permite revelar relações que não teriam sido percebidas se a análise fosse feita aos pares de variáveis, além disso, ela é altamente flexível no tratamento dos dados por não ser necessária a adoção de nenhum

modelo teórico de distribuição de probabilidade, basta que se tenha uma matriz retangular contendo dados não negativos.

3.3.1 Formulação Matemática da Análise de Correspondência

São destacados alguns conceitos importantes, discorrendo de forma direta sobre alguns tópicos relevantes envolvidos na aplicação da técnica para uma melhor compreensão dos procedimentos utilizados na formulação matemática da Análise de Correspondência.

A organização dos dados para a aplicação da Análise de Correspondência é feita por meio de uma tabela de contingência. De um modo geral uma tabela de contingência $i \times j$, sendo i as categorias correspondentes à linha e j as categorias que representa as colunas:

Tabela 8 - Tabela de Contingência Genérica

<i>A</i>	<i>B</i>						Total linha
	1	2	3	...	...	<i>j</i>	
1	n_{11}	n_{12}	n_{13}	...	...	n_{1j}	n_{1+}
2	n_{21}	n_{22}	n_{23}	...	...	n_{2j}	n_{2+}
⋮	⋮	⋮	⋮	⋮	⋮	⋮	⋮
<i>i</i>	n_{i1}	n_{i2}	n_{i3}	...	...	n_{ij}	n_{i+}
Total coluna	n_{+1}	n_{+2}	n_{+3}	...	...	n_{+j}	<i>N</i>

Cada elemento n_{ij} da tabela acima representa um elemento pertencente à categoria i da variável A e à categoria j da variável B . E ainda: n_{i+} é o total da linha i ; n_{+j} é o total da coluna j e N é o total geral das frequências observadas.

Com o objetivo de estudar as associações existentes entre as variáveis A e B , representadas pelas categorias i e j , extrai-se uma matriz, chamada de matriz P que transforma cada frequência observada n_{ij} da tabela de contingência, em uma proporção ou probabilidade ($P_{i \times j}$), da forma que se segue:

$$P_{i \times j} = \frac{n_{ij}}{n}$$

Pelas proporções calculadas, tem-se então, a matriz de frequências relativas, ou matriz de correspondência.

Tabela 9 - Matriz de Correspondência P

<i>A</i>	<i>B</i>						Total linha
	1	2	3	...	...	<i>j</i>	
1	p_{11}	p_{12}	p_{13}	...	...	p_{1j}	p_{1+}
2	p_{21}	p_{22}	p_{23}	...	...	p_{2j}	p_{2+}
⋮	⋮	⋮	⋮	⋮	⋮	⋮	⋮
<i>i</i>	p_{i1}	p_{i2}	p_{i3}	...	...	p_{ij}	p_{i+}
Total coluna	p_{+1}	p_{+2}	p_{+3}	...	...	p_{+j}	1

Cada elemento P_{ij} , como dito anteriormente, representa uma proporção de explicação da frequência n_{ij} em relação ao total N . A quantidade P_{i+} é a representação da linha i em relação à frequência total. De forma análoga, P_{+j} descreve a representatividade da coluna j sob o total N .

A partir dos valores correspondentes aos totais de cada linha e coluna da matriz de correspondência P , definem-se os vetores de massas das linhas r e o vetor de massas das colunas c , respectivamente como segue:

$$r = [p_{1+} \quad p_{2+} \quad p_{3+} \quad \cdots \quad p_{i+}]^T$$

$$c = [p_{+1} \quad p_{+2} \quad p_{+3} \quad \cdots \quad p_{+j}]^T$$

Definidos os vetores de massas das linhas e colunas (r e c), o próximo passo é encontrar as matrizes D_r e D_c , que são matrizes diagonais contendo os elementos de r e c respectivamente. Assim:

$$D_r = \text{diag}(r) \quad \text{e} \quad D_c = \text{diag}(c)$$

É possível ainda, encontrar associações entre as linhas e as colunas da matriz de correspondência, por meio de vetores de frequências relativas ou perfis. Os perfis linha e coluna são os vetores compostos pelo total de cada proporção da matriz P , dividido pelos

totais referentes às marginais da matriz de correspondência. Dessa forma, definimos o i ésimo perfil linha a_i e o i ésimo perfil coluna b_i , da forma que se segue:

$$a_i = [p_{i1}/p_{i+} \quad p_{i2}/p_{i+} \quad \dots \quad p_{ij}/p_{i+}]$$

$$b_j = [p_{1j}/p_{j+} \quad p_{2j}/p_{j+} \quad \dots \quad p_{ij}/p_{j+}]$$

Estes vetores podem ser entendidos como medida de importância de cada linha ou coluna dentro da matriz original dos dados, servindo para diminuir a sobreposição de uma linha ou coluna em relação à outra. Outro fator importante a ser destacado é que cada um desses vetores de perfis, sejam eles de linhas ou colunas, representam proporcionalmente um peso relativo aos dados originais, sendo que as distâncias entre os perfis linha/coluna aos seus respectivos centróides [os centróides são a média ponderada dos perfis linha e coluna e representa o centro de gravidade da matriz original de dados] não são calculadas pela métrica euclidiana, mas sim pela métrica qui-quadrado χ^2 . A estatística χ^2 pode ser encontrada por meio da fórmula:

$$\chi^2 = \sum_{(i,j)} \frac{(n_{ij} - E_{ij})^2}{E_{ij}}$$

no qual: n_{ij} é o número de observações de ordem ij , e $E_{ij} = n_{i+}n_{+j}/N$ é o valor esperado da variável sob um modelo de independência.

De acordo com Faria (1993), um valor alto da estatística qui-quadrado indica que, geometricamente, existe uma diferença significativa entre os perfis e seus respectivos centróides, esse fato indica que as variáveis são independentes, levando a não possibilidade da aplicação da Análise de Correspondência.

3.3.1.1 Inércia Total e Autovalores

A inércia total é o percentual da variância que é explicada pela aplicação da Análise de Correspondência e corresponde à soma ponderada das distâncias dos pontos do conjunto a seu

centróide. Para o cálculo da inércia, é utilizado novamente à estatística quiquadrado da seguinte forma:

$$\text{inércia} = \frac{\chi^2}{N} = \frac{1}{N} \sum_{(i,j)} \frac{(n_{ij} - E_{ij})^2}{E_{ij}}$$

Com essas considerações, pode-se entender a Análise de Correspondência como um método de decomposição da inércia total em dimensões que melhor expliquem a variabilidade dos dados. O número de dimensões utilizado na aplicação da Análise de Correspondência a uma tabela com i linhas e j colunas é dado por $k = \min(i - 1, j - 1)$.

A importância de cada dimensão é dada pelos correspondentes autovalores, estes, indicam o percentual de informação que é restituída a cada eixo gerador de uma dimensão, sendo que a soma dos autovalores elevados ao quadrado é igual à inércia total, ou seja, é igual à variabilidade total da tabela de dados.

Os autovalores são extraídos por meio da Decomposição em Valores Singulares (DVS). Para tanto, deve-se utilizar a princípio, os centróides das linhas e colunas que, em notação matricial, são dados respectivamente por:

$$\text{CentR} = R^t r \text{ e } \text{CentC} = C^t c$$

Sendo as matrizes R e C , matrizes que contém os perfis linha e coluna, nesta ordem.

Para a decomposição, deve-se tomar a matriz de correspondência P e centrá-la no centróide das linhas e colunas, gerando a matriz \tilde{P} designada por:

$$\tilde{P} = P - rc^t$$

A DVS é feita sobre a matriz \tilde{P} , buscando o subespaço que melhor represente o conjunto de pontos referentes às linhas e colunas. O melhor subespaço é definido, segundo Faria (1993), pelos autovetores generalizados de \tilde{P} , na métrica D_r^{-1} e D_c^{-1} , correspondentes aos maiores autovalores. Em notação matricial, é possível descrever essa fatoraçoão da seguinte forma:

$$\tilde{P} = AD_{\alpha}B^t$$

com

$$A = Dr^{1/2}U_{ik} \text{ e } B^t = Dc^{1/2}V_{jk}$$

D_{α} é uma matriz diagonal contendo os autovalores de \tilde{P} organizados em ordem decrescente; U e V são matrizes ortogonais referentes aos autovetores esquerdos e direitos, respectivamente, das matrizes \tilde{P} \tilde{P}^t e $\tilde{P}^t \tilde{P}$. Dessa forma, para obter as coordenadas principais das linhas e colunas da matriz \tilde{P} que serão plotadas no gráfico de correspondência é necessário substituir em $\tilde{P} = AD_{\alpha}B^t$ as igualdades definidas em $A = Dr^{1/2}U_{ik}$ e $B^t = Dc^{1/2}V_{jk}$ e desenvolvê-las, fixando no lado direito a DVS da matriz \tilde{P} em função das matrizes U, V e D_{α} , já definidas anteriormente. Assim temos:

$$\tilde{P} = Dr^{1/2}UD_{\alpha}Dc^{1/2}V$$

Multiplicando ambos os lados da igualdade por $(Dr^{1/2})^{-1}$:

$$(Dr^{1/2})^{-1}\tilde{P} = (Dr^{1/2})^{-1}Dr^{1/2}UD_{\alpha}Dc^{1/2}V$$

Multiplicando a igualdade por $(Dc^{1/2})^{-1}$:

$$(Dr^{1/2})^{-1}\tilde{P}(Dc^{1/2})^{-1} = (Dr^{1/2})^{-1}Dr^{1/2}UD_{\alpha}(Dc^{1/2})^{-1}Dc^{1/2}V$$

Substituindo as inversas encontradas, pela matriz identidade:

$$(Dr^{1/2})^{-1}\tilde{P}(Dc^{1/2})^{-1} = IUD_{\alpha}IV$$

Então,

$$(Dr^{1/2})^{-1}\tilde{P}(Dc^{1/2})^{-1} = UD_{\alpha}V$$

Dessa forma, a matriz transformada, W, é dada por:

$$W = (Dr^{1/2})^{-1} \tilde{P} (Dc^{1/2})^{-1}$$

A DVS de W, dá a solução completa dos autovalores e autovetores da matriz \tilde{P} da seguinte forma:

$$W = UD_{\alpha}V$$

Após a decomposição, são obtidas as coordenadas principais das linhas e colunas, respectivamente como segue:

$$Y_{ik} = Dr^{-1}A_{ik}D_{\alpha} \text{ e } Z_{jk} = Dc^{-1}B_{jk}D_{\alpha}$$

Normalmente as duas primeiras coordenadas principais das linhas e colunas são as mais representativas, sendo estas, representadas pelos dois maiores autovalores da matriz W.

3.3.1.2 Análise gráfica da AC

O processo gráfico gera inicialmente, uma nuvem de pontos contidos em um espaço multidimensional que torna praticamente impossível a análise visual das relações. No entanto, esta nuvem pode ser projetada em planos escolhidos pela sua capacidade de representar o mais fielmente às distâncias originais dos pontos ou até mesmo gerar um gráfico de linhas distantes em X (dim. 1) e Y (dim. 2) do centro (0,0) indicando que, quanto mais longe do ponto 0,0, maior a relação de associação, gráfico este que é utilizado para a análise deste estudo.

Nos planos, os pontos se distribuem naturalmente segundo a representatividade dos mesmos, de acordo com o valor dos perfis, linha ou coluna, que representam o conjunto de dados. Portanto, pontos consequentes de perfis semelhantes, se localizam mais próximos no plano do que pontos advindos de perfis com características discrepantes, esse fato é que faz com que a Análise de Correspondência desvende modelos de associações entre as variáveis em estudo e suas respectivas categorias.

Como recursos computacionais foram usados: MS-Excel 2016, MS-Word 2016 e o Software R Studio 3.4.3 e SPSS v.24.

3.4 Survey

Este item tem por finalidade abordar os levantamentos obtidos por meio da revisão bibliográfica e da pesquisa *Survey*. É importante fazer algumas considerações: este trabalho foi construído com o conhecimento existente/disponível no momento, o que quer dizer que, com a rápida evolução tecnológica que contamos atualmente, nada impede que surjam novos PFTs (princípios, ferramentas e técnicas) da I.4.0 que tenham uma diferente aderência com os conceitos do LM.

Conforme Forza (2002), como decidir quem, qual método de entrevista, se pessoal, questionário pelo correio ou levantamento por telefone? A decisão está vinculada a três elementos-chave:

1. Informação requerida: aquisição da informação deve ser efetuada através de um questionário estruturado ou por um não estruturado?
2. Respondentes: Quem será pesquisado e onde ele se localiza? O escopo geográfico do estudo, a posição das pessoas que serão entrevistadas, sua acessibilidade e prontidão para participar devem ser considerados.
3. Fatores de custo e tempo: se o tempo é restrito, poderá ser necessário o uso de entrevistas por telefone. O custo terá uma forte influência no número de entrevistados.

A pesquisa realizada neste trabalho foi dividida em 3 partes: a primeira parte como uma caracterização a amostragem da pesquisa (contendo dados informativos sobre os respondentes), a segunda parte como um nivelamento tecnológico (por se tratar de uma relação entre conceitos já consolidados e conceitos novos), e a terceira parte contendo os dados comparativos entre as técnicas de ambos conceitos, I.4.0 e LM.

A estruturação da *Survey* deste trabalho está alinhada com as principais estruturas utilizadas no meio acadêmico, obedecendo uma ordem lógica de sequência e organização conforme apresentado na figura a seguir.

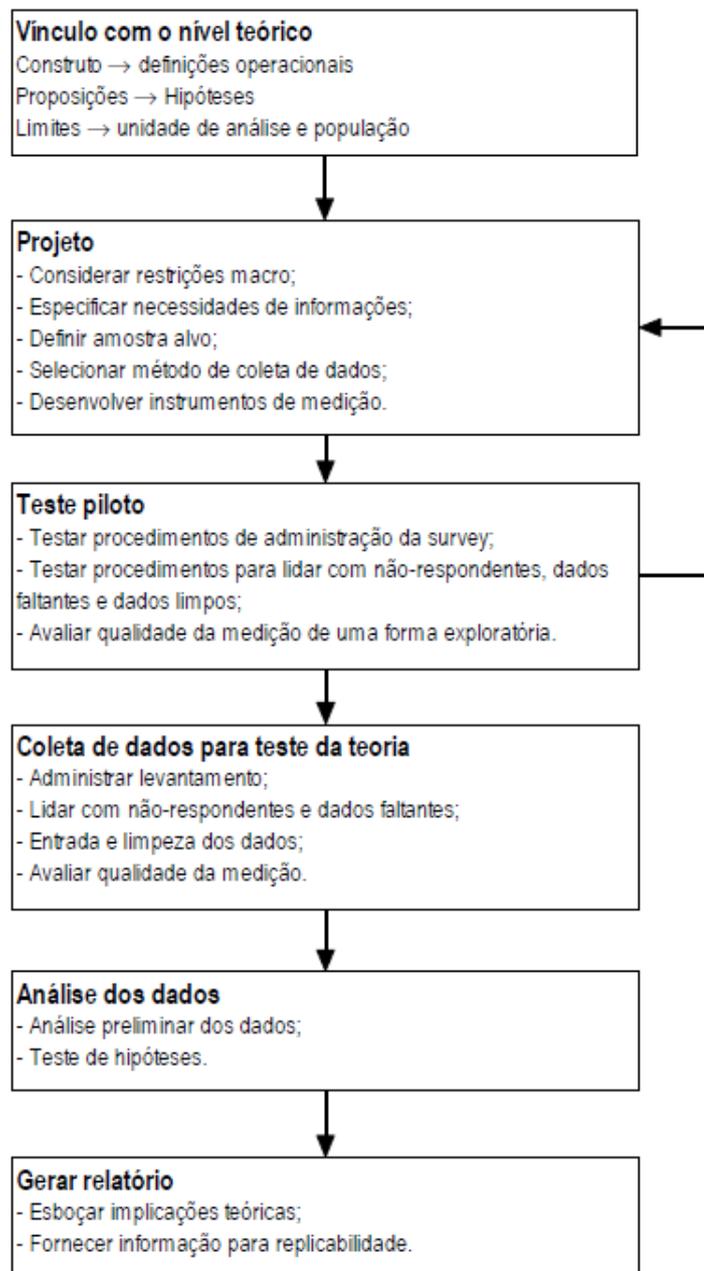


Figura 41 - Processo de levantamento de pesquisa

Fonte: Forza (2002)

A figura 41 apresenta a estrutura básica da *Survey* deste trabalho, demonstrando de forma clara os passos seguidos para obtenção dos resultados, ou seja, primeiramente foi estabelecido o vínculo com a parte teórica do trabalho onde foram estabelecidas as definições operacionais, hipóteses e limitações da pesquisa. Posteriormente a operacionalização do projeto, definindo restrições, amostras, método, etc, para então realizar o teste piloto do questionário para futura coleta de dados para testar a teoria desenvolvida. Como conclusão da

fase de pesquisa/*Survey*, foram então analisados os dados coletados e gerados os relatórios, ou seja, foram esboçadas as implicações teóricas e fornecido informações para que seja possível a replicabilidade da pesquisa proposta.

Neste estudo, anteriormente ao questionário final, foi conduzido um teste pilo com o objetivo de verificar os procedimentos de aplicação visando o aprimoramento do questionário, bem como verificar a qualidade dos dados obtidos para analisar se esses dados estão associados ao constructo e, conseqüentemente, contruem para o atendimento dos objetivos da pesquisa (YIN, 2001). Este teste foi conduzido por meio do envio do questionário a 30 respondentes, dos quais apenas 19 responderam, entretanto foi o suficiente para realizar as análises mencionadas anteriormente e realizar os ajustes necessários.

3.4.1 A utilização da escala Likert nos dados da *Survey*

As respostas dos respondentes à pesquisa foram avaliadas quanti-qualitativamente baseadas na escala Likert. A Escala Likert deriva seu nome de Rensis Likert, um professor de sociologia e psicologia do Instituto de Pesquisas Sociais de Michigan (ESCALA LIKERT, 2011). É um tipo de escala de respostas psicométricas utilizada amplamente em questionários de pesquisa de opinião. Nos questionários com Escala Likert os entrevistados especificam seu nível de concordância com uma afirmação proposta em um item do questionário, mediante um critério que pode ser objetivo ou subjetivo. Assim, se mede o nível de concordância ou não concordância à afirmação proposta. Normalmente são utilizados cinco níveis de respostas, porém se encontram também Escalas Likert de quatro, sete ou mesmo nove níveis. É exemplificado abaixo um tipo de resposta a um questionário usando Escala Likert:

1. Sem relação;
2. Baixa taxa de relação;
3. Relação média;
4. Forte taxa de relação;
5. Muito forte a taxa de relação

Com uma atribuição de valores, as respostas que refletem as percepções dos entrevistados normalmente são transformadas de uma escala nominal para uma numérica (HORA et al., 2010).

- Resposta N (Desconhecimento) não recebe nenhum valor;
- Resposta 1 (Sem relação) recebe valor 1;
- Resposta 2 (Baixa taxa de relação) recebe valor 2;
- Resposta 3 (Relação média) recebe valor 3;
- Resposta 4 (Forte taxa de relação) recebe valor 4;
- Resposta 5 (Muito forte taxa de relação) recebe valor 5;

Dados ausentes são frequentes em pesquisas com escalas de atitude, resultado de omissões ou recusas de resposta por parte dos entrevistados. Quando os dados ausentes apresentam um padrão não aleatório, ou quando mais de 10% dos itens estão em falta, são sempre considerados importantes (HAIR JR et al, 2005). Para evitar o tratamento das respostas em branco pode-se adotar um critério metodológico, como substituir as respostas em branco pelo valor zero, no caso foi considerado o valor “N”, eliminando-o da pesquisa, ou então, substituir as respostas em branco pela média dos valores respondidos no item (HORA et al., 2010).

3.4.2 Análise e interpretação dos dados da *Survey*

O questionário inicial foi classificado como estruturado, de autoaplicação e contém questões de múltipla escolha, com um número específico de alternativas das quais uma ou mais respostas podem ser escolhidas.

Todas as variáveis foram divididas em dois grupos: Informativas e Comparativas. As Informativas são as variáveis que fornecem informações gerais de conhecimento do respondente e as Comparativas são referentes às questões que correlacionam dos conceitos da I.4.0 e do LM.

3.4.3 Técnica para aumentar a confiabilidade – Alfa de Cronbach

O coeficiente alfa de Cronbach foi apresentado por Lee J. Cronbach, em 1951, como uma forma de estimar a confiabilidade de um questionário aplicado em uma pesquisa. O alfa mede a correlação entre respostas em um questionário por meio da análise do perfil das respostas dadas pelos respondentes. Trata-se de uma correlação média entre perguntas. Dado que todos os itens de um questionário utilizam a mesma escala de medição, o coeficiente α é

calculado a partir da variância dos itens individuais e da variância da soma dos itens de cada avaliador através da seguinte equação:

$$\alpha = \left(\frac{k}{k-1} \right) \times \left(1 - \frac{\sum_{i=1}^k s_i^2}{s_t^2} \right)$$

no qual:

k corresponde ao número de itens do questionário;

s_i^2 corresponde a variância de cada item;

s_t^2 corresponde a variância total do questionário, determinada como a soma de todas as variâncias.

A Tabela abaixo ilustra a aplicação passo a passo do coeficiente, no qual cada coluna indica um item, cada linha indica um avaliador, e o encontro entre um item e um avaliador (X_{nk}) indica a resposta deste avaliador para este item, dentro da escala.

Tabela 10 - Tabulação dos dados de questionário para cálculo do alfa de Cronbach

Avaliadores	Itens						Total
	1	2	...	i	...	k	
1	X_{11}	X_{12}	...	X_{1i}	...	X_{1k}	X_1
2	X_{21}	X_{22}	...	X_{2i}	...	X_{2k}	X_2
⋮	⋮	⋮	⋮	⋮	⋮	⋮	⋮
p	X_{p1}	X_{p2}	...	X_{pi}	...	X_{pk}	X_p
⋮	⋮	⋮	⋮	⋮	⋮	⋮	⋮
n	X_{n1}	X_{n2}	...	X_{ni}	...	X_{nk}	X_n
	s^2_1	s^2_2	...	s^2_n	...	s^2_k	S^2_t

Fonte: Adaptado de Cronbach, 2004.

Cada item, a priori, deve abordar uma única idéia de cada vez (GIL, 2010), isto é, os itens devem ser independentes. Se a resposta a determinado item se comporta de maneira parecida com a resposta de outro item, conclui-se que um explica o outro.

Assim sendo, para se ter um valor adimensional para representar a isenção dos erros aleatórios das observações (a confiabilidade), dividimos o estimador pela variabilidade total do questionário, chegando finalmente na fórmula apresentada por Cronbach em 1951 (CRONBACH, 2004).

Ainda não há um formalismo matemático para dizer se uma escala é válida ou não, por esse motivo muitos pesquisadores avaliam a validade da escala pelo nível de confiabilidade. Exemplos deste procedimento podem ser encontrados em Freitas (2005); Maçada et al (2000), entre outros.

O conceito de “validade” trás subjetividade em si, pois ao afirmar que um instrumento de medição é válido, surge a pergunta: válido para qual propósito? A validade é o grau em que um determinado instrumento mede o que ele deveria medir (CARMINES e ZELLER, 1979). Validade é, em fim, o grau de acurácia ou exatidão do resultado de uma medição, i.e., é o quanto o resultado se aproxima do que se pretende medir (ALEEN e YEN, 2003).

Um exemplo claro da diferença entre os conceitos de validade e confiabilidade é ilustrado quando Cronin e Taylor (1992) questionam a validade do instrumento ServQual e propõe o ServPerf como sendo válido. Em vários trabalhos é possível verificar que em muitas medições da qualidade em serviços em diversos setores a escala ServQual é adaptada com um alto grau de confiabilidade, mas não tem a sua validade assegurada.

Salomi et al (2005) compararam os dois instrumentos (ServQual e ServPerf) utilizando o coeficiente alfa e verificaram um alto grau de confiabilidade para os dois instrumentos. Entretanto, um alto grau de confiabilidade não significa necessariamente que o instrumento seja válido.

Segundo Cronbach (1996) um instrumento de pesquisa considera-se satisfatório quando apresenta um coeficiente $\alpha \geq 0,70$. Corroborando, Martins e Theóphilo (2009), argumentam que quanto maior o índice coeficiente alfa de Cronbach mais confiável é o instrumento e o mesmo deve ser encarado como confiável quando o coeficiente for pelo menos maior do 0,7.

3.4.4 Resumo da metodologia aplicada

A análise da influência da I.4.0 no LM foi feita em duas etapas: a primeira é a análise descritiva que apresenta graficamente as características das empresas e pessoas pesquisadas, e a segunda é a análise inferencial que expande os resultados observados na pesquisa para o universo em estudo. Na análise inferencial foi utilizada a análise de correspondência.

Como informação adicional: Inferência estatística é o importante ramo da estatística que tem por objetivo fazer afirmações a partir de um conjunto de valores representativos (amostra) sobre um universo. Tal tipo de afirmação deve sempre vir acompanhada de uma medida de precisão sobre sua veracidade (HAIR et al, 2005).

3.5 Análise da amostragem

As questões informativas, referentes à primeira parte do questionário, apresentam dados característicos do cenário de pesquisa, tais como País, posição/cargo do entrevistado, tipo de empresa, quantidade de funcionários etc. Ao todo foram distribuídos 184 questionários, sendo que deste total 116 questionários foram respondidos, ou seja 63% dos questionários foram respondidos adequadamente. Este alto percentual de respondentes deu principalmente a rede de contatos do autor deste trabalho, no qual o mesmo trabalha em uma grande multinacional e possui ótimo relacionamento dentre empresas do grupo ao redor do mundo.

A figura 42 apresenta as nacionalidades das instituições/respondentes pesquisados, visando demonstrar a diversidade de nacionalidades consultadas para elaboração dessa pesquisa, dando mais robustez ao questionário, totalizando 23 países respondentes. O foco principal foi dado em 3 países, sendo eles Alemanha, por ser o primeiro país a iniciar o conceito de I.4.0, Estados Unidos da América, por ser uma potência mundial em questões industriais e o Brasil, por ser o país do desenvolvimento da pesquisa.

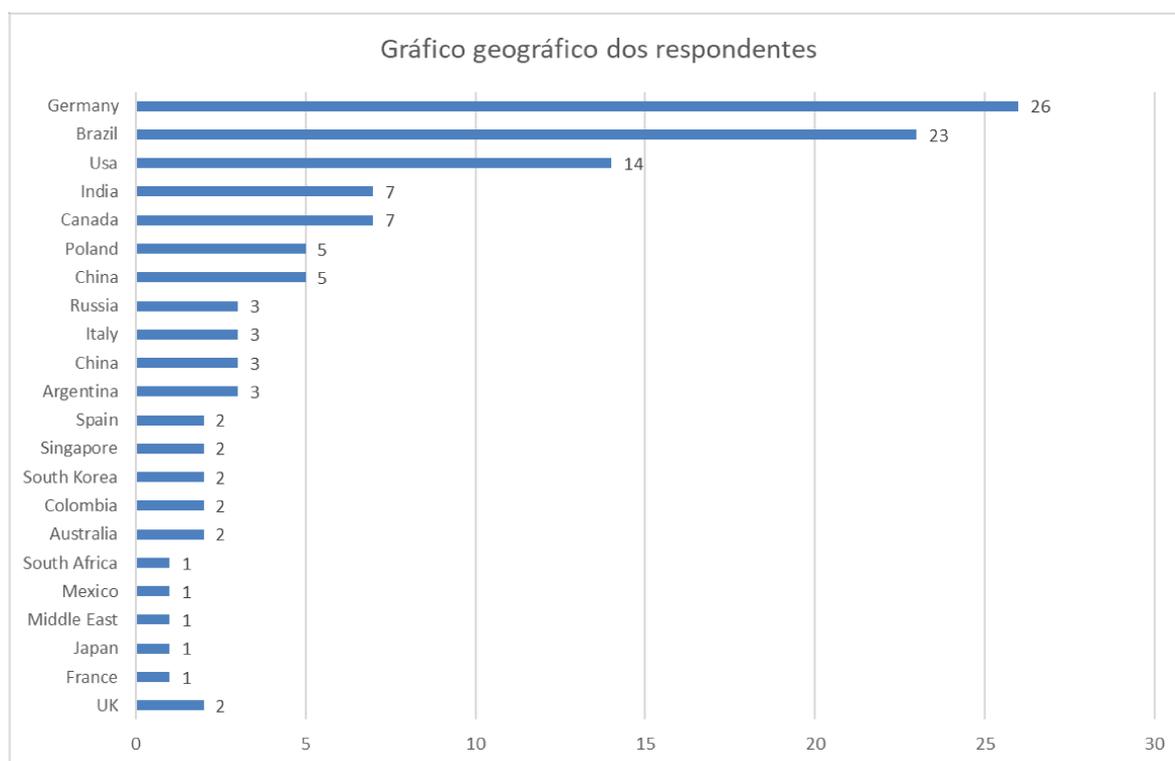


Figura 42 - Diversidade das nacionalidades dos respondentes

O mapa a seguir apresenta a diversidade geográfica dos países consultados na pesquisa, no qual foi possível coletar dados dos 5 continentes o que garante uma maior assertividade no resultado da análise dos questionários.

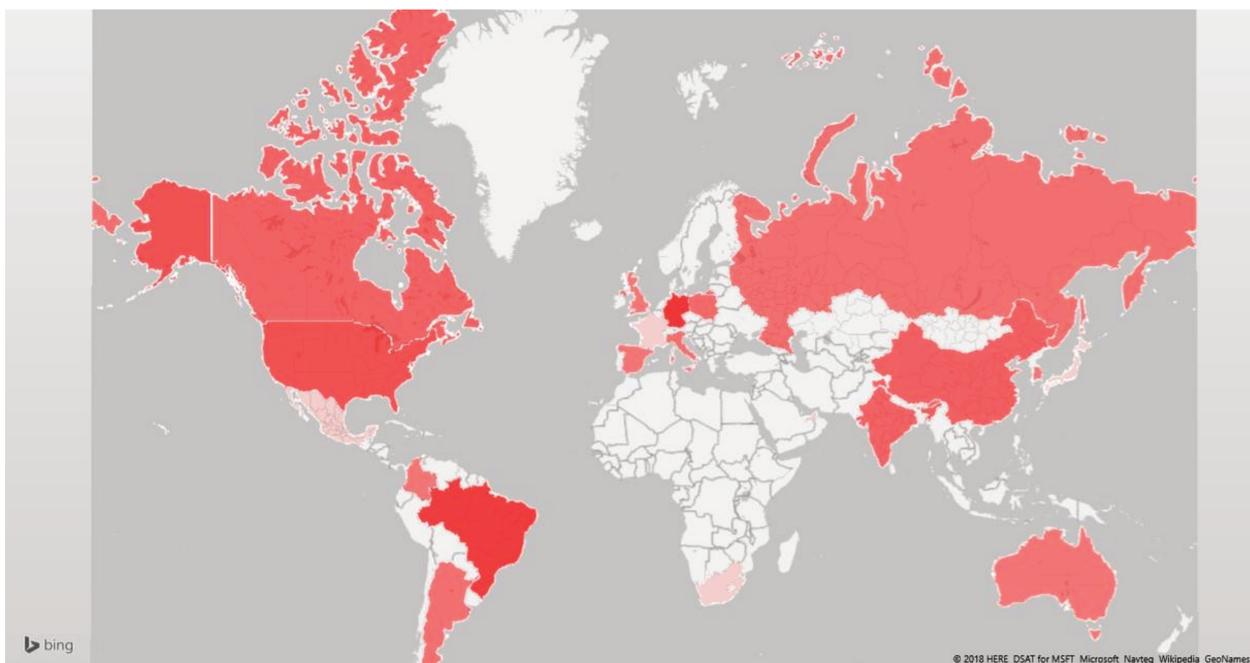


Figura 43 - Mapa geográfico dos respondentes

A figura 44 apresenta o nível profissional dos respondentes da pesquisa visando apresentar uma visão macro do intelecto dos respondentes buscando garantir a robustez do nível do questionário.

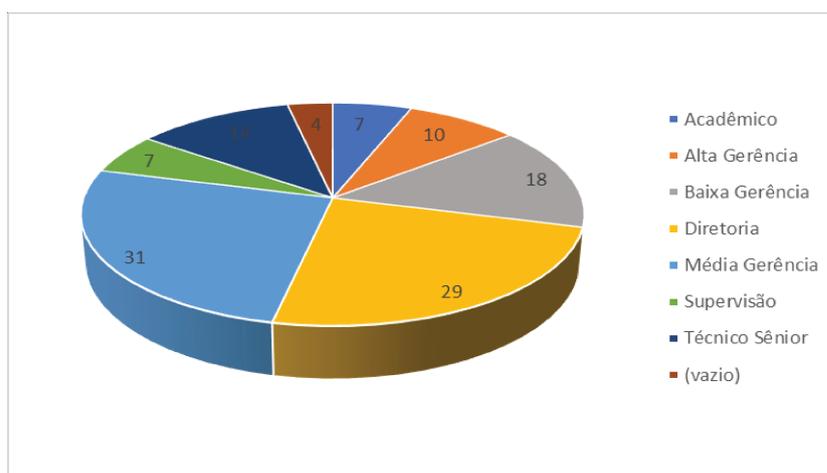


Figura 44 - Nível dos respondentes da pesquisa

A figura 45 representa a classificação das empresas respondentes referente a quantidade de funcionários baseando-se no critério de classificação de empresas do Sebrae (2018): Microempresa: com até 19 funcionários; pequena empresa: de 0 a 99 funcionários; média empresa: de 100 a 499 funcionários; grande empresa: mais de 500 funcionários.

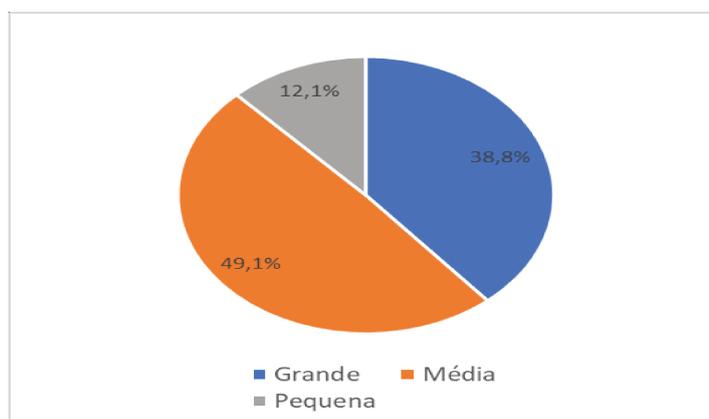


Figura 45 - Classificação das empresas pelo número de funcionários

A tabela 11 representa a caracterização do ramo de atividade das empresas respondentes. Vale ressaltar que o ramo de atividade com maior incidência é Instrumentação e Controle, compreendendo uma rede de fabricante de sensores e atuadores que, conseqüentemente, possuem uma relação forte com ferramentas para aplicação das técnicas da I.4.0, portanto, muito apropriado para o desenvolvimento desta pesquisa.

Tabela 11 – Caracterização do ramo de atividade das empresas respondentes

Ramo de Atividade	% Respondentes
Alimentício	0,9%
Automação	6,9%
Consultoria	1,7%
Fundição	0,9%
Instrumentação e Controle	75,0%
Manufatura	6,0%
Máquinas e Equipamentos	2,6%
Universidade	6,0%

Os dados informativos da pesquisa buscam basicamente realizar a caracterização da amostragem da pesquisa, dando ao leitor a segurança da veracidade e assertividade dos resultados.

A segunda parte do questionário é responsável pelo nivelamento tecnológico, no qual foram consideradas questões somente informativas que não serão objeto deste estudo e que poderão ser verificadas em mais detalhes nos anexos deste trabalho.

Já a terceira parte é responsável pela massa de dados propriamente dita, na qual contém todas as informações necessárias para realização das análises. Esta terceira parte será abordada mais detalhadamente no tópico a seguir.

4 Análise dos Resultados

Este capítulo apresentará a aderência das técnicas da I.4.0 no LM baseado nos respondentes à pesquisa *Survey*, levando em consideração o levantamento bibliográfico, após o tratamento de confiabilidade via Alfa de Cronbach e resultante da análise de correspondência efetuada via Software SPSS v.24.

Inicialmente o estudo levou em consideração uma alta quantidade de variáveis analisadas, porém o valor de Alpha de Cronbach ficou abaixo de 0,7 (0,64 inicialmente), portanto para que fosse possível satisfazer o valor mínimo houve a necessidade de eliminar as relações/graus de aderências consideradas como mais fracas, ou seja, inicialmente o questionário levava em considerações 100 variáveis e foi então reduzido para 72 variáveis, ou seja, foram descartadas 28 relações.

Tabela 12 – Tabela de variáveis descartadas após Alpha de Cronbach

#	Relação descartada	#	Relação descartada
1	AdditiveManufacturing_Kaizen	15	Flexsim_Kaizen
2	AugmentedReality_5S	16	Flexsim_Kanban
3	AugmentedReality_Poka_Yoke	17	Flexsim_Layout
4	AugmentedReality_Takt_Time	18	Flexsim_Poka_Yoke
5	BigDataWarehouse_JIT	19	Flexsim_SMED
6	BigDataWarehouse_Kaizen	20	Flexsim_VSM
7	BigDataWarehouse_Kanban	21	PeopleAnalytics_SMED
8	BigDataWarehouse_SMED	22	RFID_Kanban
9	BigDataWarehouse_VisualMgmt	23	RFID_Poka_Yoke
10	CloudComputing_Layout	24	RFID_SMED
11	DataMining_JIT	25	RFID_VisualMgmt
12	DataMining_Layout	26	SupervisorySystem_VSM
13	DataMining_VisualMgmt	27	VirtualReality_Takt_Time
14	Flexsim_JIT	28	VirtualReality_VSM

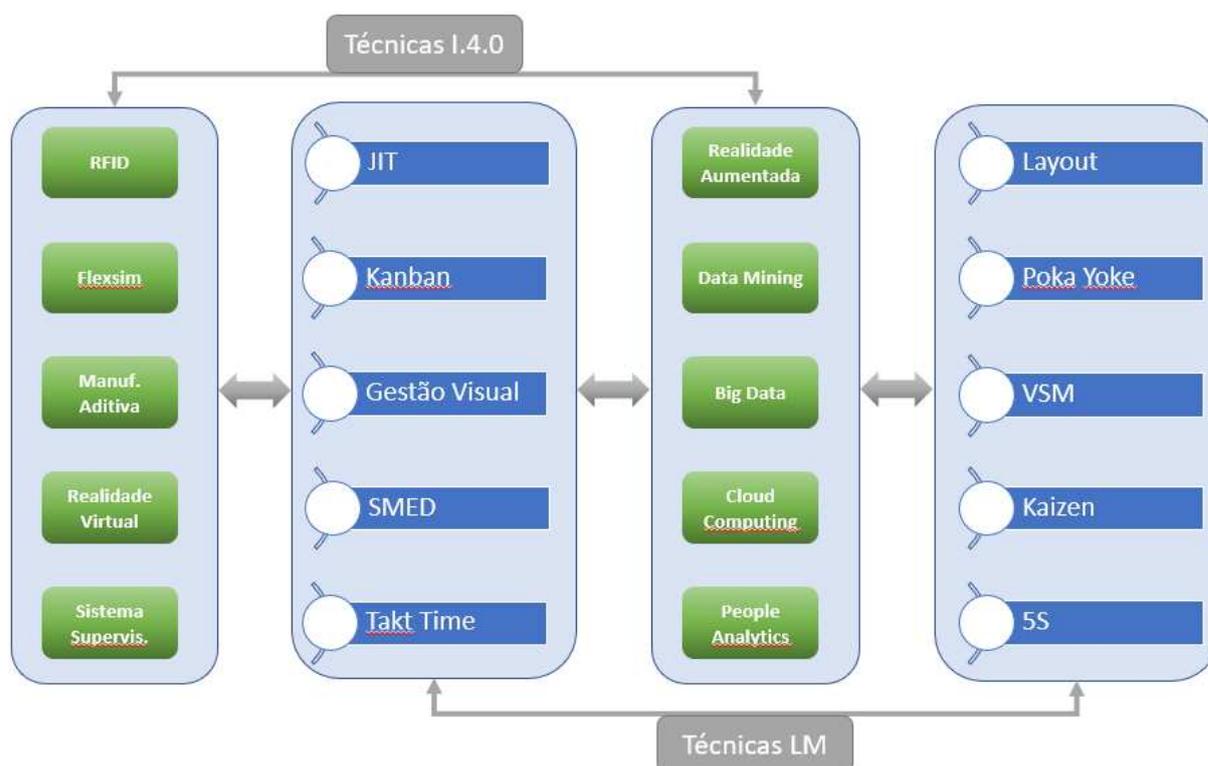
Somente como informação adicional, a tabela 12 apresenta as variáveis descartadas após a aplicação do Alpha de Cronbach com o objetivo de aumentar o coeficiente e satisfazer a condição mínima de $\alpha > 0,7$.

4.1 Análise dos Resultados Globais

Foi considerado como resultado global a análise das 72 variáveis juntas, porém este excesso de variáveis causou uma distorção gráfica na qual poderia gerar margem à uma interpretação ruim. Para tanto as análises serão divididas da seguinte maneira: Análise dos Resultados Globais, onde compreende a análise completa e na qual é considerada a confiabilidade do questionário (Alpha de Cronbach superior a 0,7) e Análise dos Resultados Individuais, onde será analisada a aderência de cada técnica do Lean Manufacturing com cada técnica da I.4.0, gerando neste subtópico 10 análises adicionais apresentando de forma clara que não sejam distorcidas devido a interpretação gráfica.

A disposição tabelada dos dados analisados pelo Software SPSS v.24 ocupam um grande número de linhas, por isso abaixo será apresentada uma matriz resumindo as relações apresentadas e analisadas via SPSS v.24.

Tabela 13 - Resumo das relações analisadas via SPSS v.24



Como forma de afirmar o resultado final do Alpha de Cronbach para satisfazer a Análise de Correspondência via SPSS v.24, é apresentado na tabela 14 a confirmação da confiabilidade do questionário.

Tabela 14 - Resumo do modelo estudado após Alpha de Cronbach

Model Summary				
Dimension	Cronbach's Alpha	Variance Accounted For		
		Total (Eigenvalue)	Inertia	% of Variance
1	0,906	9,392	0,130	13,044
2	0,867	6,873	0,095	9,546
Total		16,265	0,226	
Mean	,889 ^a	8,132	0,113	11,295

a. Mean Cronbach's Alpha is based on the mean Eigenvalue.

Na tabela 14 temos o resumo do modelo estudado, sendo o valor de Alpha de Cronbach, assumido entre 0 e 1 e quanto mais próximo de 1 maior é a fidedignidade das dimensões do constructo. Com base nas variáveis utilizadas o Alfa médio é de 0,889 demonstrando que as escalas são consistentes para aplicação da técnica.

Os *eigenvalues* representam o percentual de variância explicada em termos de diferenças entre as dimensões e é uma medida relativa de quão diferentes as dimensões são no modelo, ou seja, quanto mais afastados de 1 forem os *eigenvalues*, maiores serão as variações entre as dimensões explicadas pelo modelo.

A contribuição do ponto para a inércia da dimensão depende da massa e da distância a partir da origem (0,0), ou seja, pontos afastados da origem e que possui maior massa têm uma contribuição maior para a inércia da dimensão.

Verifica-se que as dimensões 1 e 2 explicam, respectivamente, 13,04% e 9,55% da inércia total, sugerindo que a dimensão 1 é mais importante para explicar o comportamento dos dados do que a dimensão 2 (Tabela 12, coluna % of Variance).

Tabela 15 - Tabela de medidas de descrimnação

Discrimination Measures (1 of 2)				Discrimination Measures (2 of 2)					
		Dimension		Mean			Dimension		Mean
		1	2				1	2	
1	RFID_VSM	0,112	0,272	0,192	38	Virtual Reality_Poka_Yoke	0,147	0,091	0,119
2	Augmented Reality_VSM	0,066	0,024	0,045	39	Big Data_Poka_Yoke	0,053	0,097	0,075
3	Big Data_VSM	0,052	0,101	0,076	40	Data Mining_Poka_Yoke	0,119	0,161	0,140
4	Data Mining_VSM	0,072	0,033	0,053	41	Cloud Computing_Poka_Yoke	0,041	0,080	0,060
5	Cloud Computing_VSM	0,056	0,045	0,051	42	Additive Manufacturing_Poka_Yoke	0,023	0,157	0,090
6	Additive Manufacturing_VSM	0,110	0,034	0,072	43	Supervisory System_Poka_Yoke	0,246	0,019	0,133
7	People Analytics_VSM	0,077	0,058	0,067	44	People Analytics_Poka_Yoke	0,103	0,181	0,142
8	RFID_Kaizen	0,056	0,050	0,053	45	Augmented Reality_SMED	0,059	0,110	0,085
9	Augmented Reality_Kaizen	0,109	0,105	0,107	46	Virtual Reality_SMED	0,097	0,069	0,083
10	Virtual Reality_Kaizen	0,062	0,039	0,051	47	Data Mining_SMED	0,105	0,149	0,127
11	Data Mining_Kaizen	0,174	0,106	0,140	48	Cloud Computing_SMED	0,098	0,075	0,087
12	Cloud Computing_Kaizen	0,152	0,095	0,123	49	Additive Manufacturing_SMED	0,211	0,185	0,198
13	Supervisory System_Kaizen	0,115	0,145	0,130	50	Supervisory System_SMED	0,033	0,011	0,022
14	People Analytics_Kaizen	0,088	0,138	0,113	51	RFID_Takt_Time	0,071	0,216	0,144
15	RFID_5S	0,202	0,011	0,106	52	Big Data_Takt_Time	0,054	0,090	0,072
16	Virtual Reality_5S	0,181	0,060	0,121	53	Data Mining_Takt_Time	0,093	0,132	0,112
17	Big Data_5S	0,165	0,029	0,097	54	Cloud Computing_Takt_Time	0,148	0,036	0,092
18	Data Mining_5S	0,233	0,047	0,140	55	Additive Manufacturing_Takt_Time	0,106	0,068	0,087
19	Cloud Computing_5S	0,081	0,026	0,054	56	Supervisory System_Takt_Time	0,092	0,060	0,076
20	Additive Manufacturing_5S	0,183	0,035	0,109	57	Flexsim_Takt_Time	0,048	0,235	0,142
21	Supervisory System_5S	0,199	0,112	0,155	58	People Analytics_Takt_Time	0,148	0,035	0,091
22	Flexsim_5S	0,153	0,067	0,110	59	RFID_Layout	0,014	0,097	0,056
23	People Analytics_5S	0,142	0,099	0,120	60	Augmented Reality_Layout	0,058	0,024	0,041
24	RFID_JIT	0,088	0,318	0,203	61	Virtual Reality_Layout	0,091	0,039	0,065
25	Augmented Reality_JIT	0,243	0,122	0,183	62	Big Data_Layout	0,043	0,156	0,099
26	Virtual Reality_JIT	0,304	0,144	0,224	63	Additive Manufacturing_Layout	0,147	0,048	0,098
27	Cloud Computing_JIT	0,158	0,041	0,100	64	Supervisory System_Layout	0,149	0,053	0,101
28	Additive Manufacturing_JIT	0,300	0,218	0,259	65	People Analytics_Layout	0,145	0,051	0,098
29	Supervisory System_JIT	0,287	0,131	0,209	66	Augmented Reality_Visual Mgmt	0,137	0,093	0,115
30	People Analytics_JIT	0,367	0,064	0,216	67	Virtual Reality_Visual Mgmt	0,037	0,091	0,064
31	Augmented Reality_Kanban	0,141	0,065	0,103	68	Cloud Computing_Visual Mgmt	0,143	0,097	0,120
32	Virtual Reality_Kanban	0,190	0,055	0,123	69	Additive Manufacturing_Visual Mgmt	0,177	0,201	0,189
33	Data Mining_Kanban	0,039	0,210	0,125	70	Supervisory System_Visual Mgmt	0,133	0,059	0,096
34	Cloud Computing_Kanban	0,081	0,078	0,079	71	Flexsim_Visual Mgmt	0,215	0,069	0,142
35	Additive Manufacturing_Kanban	0,115	0,114	0,114	72	People Analytics_Visual Mgmt	0,206	0,093	0,150
36	Supervisory System_Kanban	0,255	0,103	0,179	73	Active Total	9,392	6,873	8,132
37	People Analytics_Kanban	0,194	0,047	0,121	74	% of Variance	13,044	9,546	11,295

Realizando uma análise dos dados calculados anteriormente, serão considerados os dois maiores valores médios entre as dimensões 1 e 2, evitando assim que dois valores médios sejam iguais e não haveria nenhum critério lógico para diferenciá-los, também gerando uma maior massa de dados para análise final e removendo a possibilidade de uma análise tendenciosa dos dados.

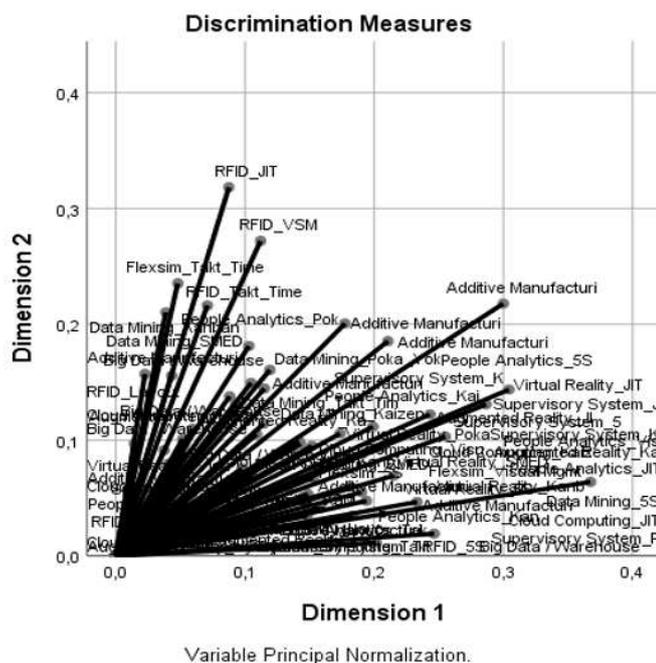


Figura 46 - Representação gráfica das medidas de discriminação

A representação gráfica das medidas de discriminação apresentada na figura 46, demonstra de forma gráfica a relação entre todas as variáveis estudadas, porém, devido a grande quantidade de variáveis estudadas, esta representação gráfica fica confusa e passível de erros de interpretação e análise, sendo esta a justificativa para realização da análise individual de cada técnica LM com cada técnica I.4.0.

Com objetivo de esclarecer as associações com relação mais forte entre as técnicas I.4.0 e LM, que na figura 46 não são nítidas, a figura abaixo visa prover informações mais claras dessa relação.

4.2 Análise dos Resultados Individuais

Com o intuito de realizar uma análise mais focada e obter uma análise sem erros de interpretações, a seguir serão analisados os dados individualmente de cada técnica do LM para todas as variáveis (técnicas) da I.4.0.

Conforme mencionado anteriormente as análises dos dados calculados são feitas conforme critérios estabelecidos anteriormente para as análises globais, ou seja, serão considerados os dois maiores valores médios entre as dimensões 1 e 2, evitando assim que dois valores médios sejam iguais e não haveria nenhum critério lógico para diferenciá-los e

também gerando uma maior massa de dados para análise final e removendo a possibilidade de uma análise tendenciosa dos dados.

4.2.1 Análise do VSM para cada variável/técnica da Indústria 4.0

A seguir será apresentada a análise a aderência da técnica VSM do LM para cada técnica da I.4.0. Para garantir a confiabilidade da associação, a tabela abaixo apresenta o coeficiente Alpha de Cronbach com valores superiores ao limite mínimo estabelecido, concluindo que a associação é confiável.

Tabela 16 - Alpha de Cronbach para VSM x I.4.0

Model Summary				
Dimension	Cronbach's Alpha	Variance Accounted For		
		Total (Eigenvalue)	Inertia	% of Variance
1	0,7	2,447	0,245	24,465
2	0,64	2,191	0,219	21,912
Total		4,638	0,464	
Mean	,7 ^a	2,319	0,232	23,189

a. Mean Cronbach's Alpha is based on the mean Eigenvalue.

Para concluir a análise das variáveis, a tabela 17 apresenta as medidas de discriminação para saber quais as relações/associações mais fortes de acordo com cada dimensão, considerando seus valores médios.

Tabela 17 - Tabela de medidas de discriminação do VSM

	Discrimination Measures		
	Dimension		
	1	2	Mean
RFID_VSM	0,332	0,168	0,250
Augmented Reality_VSM	0,302	0,127	0,215
Virtual Reality_VSM	0,324	0,387	0,356
Big Data / Warehouse_VSM	0,142	0,227	0,184
Data Mining_VSM	0,245	0,266	0,256
Cloud Computing_VSM	0,185	0,242	0,213
Additive Manufacturing_VSM	0,275	0,216	0,245
Supervisory System_VSM	0,281	0,139	0,210
Flexsim_VSM	0,238	0,157	0,198

People Analytics_VSM	0,122	0,262	0,192
Active Total	2,447	2,191	2,319
% of Variance	24,465	21,912	23,189

Por meio das medidas de discriminação da tabela 17, é possível afirmar a relação da técnica VSM para todas as variáveis da I.4.0 estudadas, informando as mais importantes em relação à sua média. Assim, as duas relações/associações mais fortes são: Realidade Virtual e Data Mining.

A representação gráfica das medidas de discriminação é mostrada na figura 48, na qual é possível verificar que as variáveis mais importantes são aquelas mais afastadas da origem.

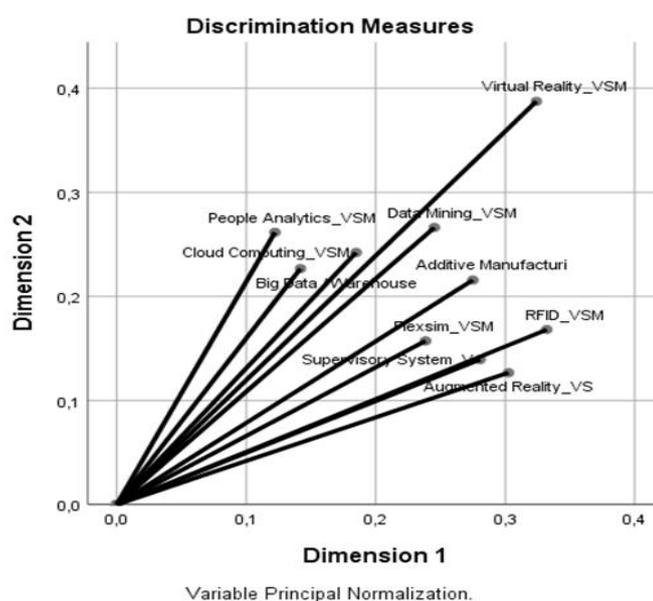


Figura 47 - Representação das medidas de discriminação do VSM para as técnicas da I.4.0

Como conclusão da análise da técnica VSM para com as técnicas do I.4.0, as relações de aderência mais fortes estão entre “VSM & Realidade Virtual” e “VSM & Data Mining”.

4.2.2 Análise do Kaizen para cada variável/técnica da Indústria 4.0

A seguir será apresentada a análise a aderência da técnica Kaizen do LM para cada técnica da I.4.0. Para garantir a confiabilidade da associação, a tabela abaixo apresenta o coeficiente Alpha de Cronbach com valores superiores ao limite mínimo estabelecido, concluindo que a associação é confiável.

Tabela 18 - Alpha de Cronbach para Kaizen x I.4.0

Model Summary				
Dimension	Cronbach's Alpha	Variance Accounted For		
		Total (Eigenvalue)	Inertia	% of Variance
1	0,667	2,504	0,250	25,036
2	0,653	2,376	0,238	23,760
Total		4,880	0,488	
Mean	,7 ^a	2,440	0,244	24,398

a. Mean Cronbach's Alpha is based on the mean Eigenvalue.

Para concluir a análise das variáveis, a tabela 19 apresenta as medidas de discriminação para saber quais as relações/associações mais fortes de acordo com cada dimensão, considerando seus valores médios.

Tabela 19 - Tabela de medidas de discriminação do Kaizen

Discrimination Measures			
	Dimension		
	1	2	Mean
RFID_Kaizen	0,327	0,390	0,359
Augmented Reality_Kaizen	0,054	0,067	0,060
Virtual Reality_Kaizen	0,070	0,107	0,089
Big Data / Warehouse_Kaizen	0,037	0,133	0,085
Data Mining_Kaizen	0,265	0,049	0,157
Cloud Computing_Kaizen	0,253	0,324	0,288
Additive Manufacturing_Kaizen	0,363	0,446	0,405
Supervisory System_Kaizen	0,337	0,137	0,237
Flexsim_Kaizen	0,626	0,535	0,580
People Analytics_Kaizen	0,173	0,189	0,181
Active Total	2,504	2,376	2,440
% of Variance	25,036	23,760	24,398

Por meio das medidas de discriminação da tabela 19, é possível afirmar a relação da técnica Kaizen para todas as variáveis da I.4.0 estudadas, informando as mais importantes em relação à sua média. Assim, as duas relações/associações mais fortes são: Flexsim e Manufatura.

A representação gráfica das medidas de discriminação é mostrada na figura 50, na qual é possível verificar que as variáveis mais importantes são aquelas mais afastadas da origem.

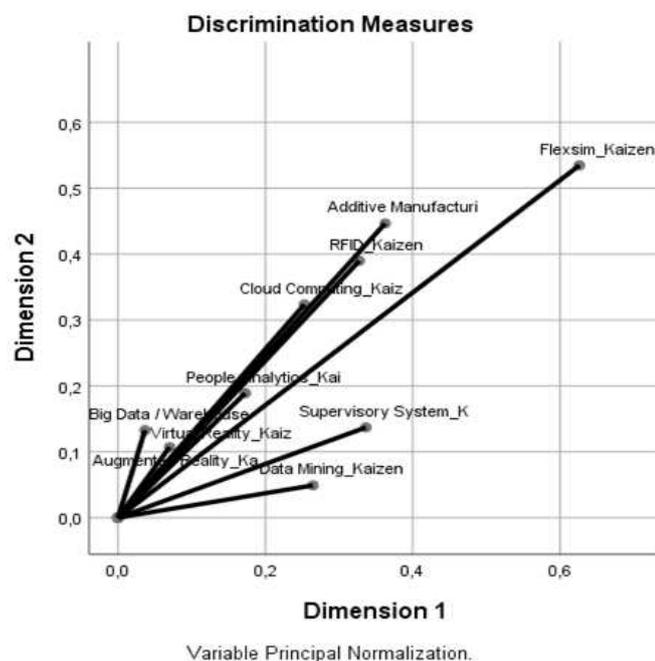


Figura 48 - Representação das medidas de discriminação do Kaizen para as técnicas da I.4.0

Como conclusão da análise da técnica Kaizen para com as técnicas do I.4.0, as relações de aderência mais fortes estão entre “Kaizen & Flexsim” e “Kaizen & Man. Aditiva”.

4.2.3 Análise do 5S para cada variável/técnica da Indústria 4.0

A seguir será apresentada a análise a aderência da técnica 5S do LM para cada técnica da I.4.0. Para garantir a confiabilidade da associação, a tabela abaixo apresenta o coeficiente Alpha de Cronbach com valores superiores ao limite mínimo estabelecido, concluindo que a associação é confiável.

Tabela 20 - Alpha de Cronbach para 5S x I.4.0

Model Summary					
Dimension	Cronbach's Alpha	Variance Accounted For			
		Total (Eigenvalue)	Inertia	% of Variance	
1	0,735	2,950	0,295	29,504	
2	0,689	2,128	0,213	21,280	
Total		5,078	0,508		
Mean	0,7 ^a	2,539	0,254	25,392	

a. Mean Cronbach's Alpha is based on the mean Eigenvalue.

Para concluir a análise das variáveis, a tabela 21 apresenta as medidas de discriminação para saber quais as relações/associações mais fortes de acordo com cada dimensão, considerando seus valores médios.

Tabela 21 - Tabela de medidas de discriminação do 5S

Discrimination Measures			
	Dimension		Mean
	1	2	
RFID_5S	0,160	0,339	0,249
Augmented Reality_5S	0,381	0,079	0,230
Virtual Reality_5S	0,466	0,169	0,318
Big Data / Warehouse_5S	0,214	0,142	0,178
Data Mining_5S	0,264	0,270	0,267
Cloud Computing_5S	0,205	0,340	0,273
Additive Manufacturing_5S	0,302	0,125	0,213
Supervisory System_5S	0,377	0,271	0,324
Flexsim_5S	0,255	0,147	0,201
People Analytics_5S	0,325	0,247	0,286
Active Total	2,950	2,128	2,539
% of Variance	29,504	21,280	25,392

Por meio das medidas de discriminação da tabela 21, é possível afirmar a relação da técnica 5S para todas as variáveis da I.4.0 estudadas, informando as mais importantes em relação à sua média. Assim, as duas relações/associações mais fortes são: Sistema Supervisório e Realidade Virtual.

A representação gráfica das medidas de discriminação é mostrada na figura 52, na qual é possível verificar que as variáveis mais importantes são aquelas mais afastadas da origem.

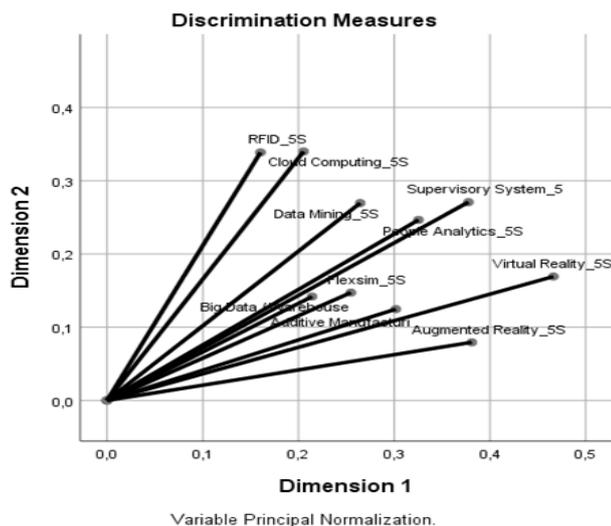


Figura 49 - Representação das medidas de discriminação do 5S para as técnicas da I.4.0

Como conclusão da análise da técnica 5S para com as técnicas do I.4.0, as relações de aderência mais fortes estão entre “5S & Realidade Virtual” e “5S & Sistema Supervisório”.

4.2.4 Análise do JIT para cada variável/técnica da Indústria 4.0

A seguir será apresentada a análise a aderência da técnica JIT do LM para cada técnica da I.4.0. Para garantir a confiabilidade da associação, a tabela abaixo apresenta o coeficiente Alpha de Cronbach com valores superiores ao limite mínimo estabelecido, concluindo que a associação é confiável.

Tabela 22 - Alpha de Cronbach para JIT x I.4.0

Model Summary					
Variance Accounted For					
Dimension	Cronbach's Alpha	Total (Eigenvalue)	Inertia	% of Variance	
1	0,740	2,991	0,299	29,905	
2	0,660	2,461	0,246	24,606	
Total		5,451	0,545		
Mean	0,7 ^a	2,726	0,273	27,256	

a. Mean Cronbach's Alpha is based on the mean Eigenvalue.

Para concluir a análise das variáveis, a tabela 23 apresenta as medidas de discriminação para saber quais as relações/associações mais fortes de acordo com cada dimensão, considerando seus valores médios.

Tabela 23 - Tabela de medidas de discriminação do JIT

Discrimination Measures			
	Dimension		Mean
	1	2	
RFID_JIT	0,513	0,245	0,379
Augmented Reality_JIT	0,289	0,481	0,385
Virtual Reality_JIT	0,277	0,345	0,311
Big Data / Warehouse_JIT	0,356	0,194	0,275
Data Mining_JIT	0,295	0,135	0,215
Cloud Computing_JIT	0,345	0,049	0,197
Additive Manufacturing_JIT	0,265	0,344	0,304
Supervisory System_JIT	0,302	0,055	0,179
Flexsim_JIT	0,160	0,326	0,243
People Analytics_JIT	0,188	0,288	0,238
Active Total	2,991	2,461	2,726
% of Variance	29,905	24,606	27,256

Por meio das medidas de discriminação da tabela 23, é possível afirmar a relação da técnica JIT para todas as variáveis da I.4.0 estudadas, informando as mais importantes em relação à sua média. Assim, as duas relações/associações mais fortes são: RFID e Realidade Aumentada.

A representação gráfica das medidas de discriminação é mostrada na figura 54, na qual é possível verificar que as variáveis mais importantes são aquelas mais afastadas da origem.

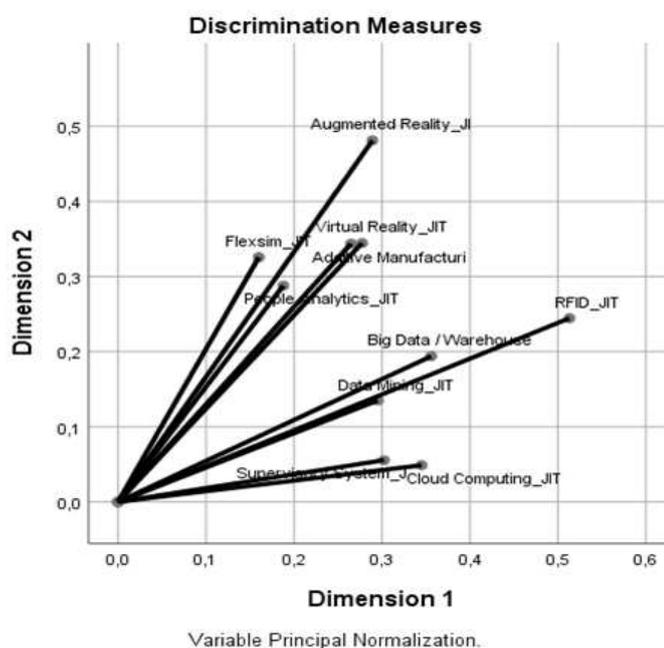


Figura 50 - Representação das medidas de discriminação do JIT para as técnicas da I.4.0

Como conclusão da análise da técnica JIT para com as técnicas do I.4.0, as relações de aderência mais fortes estão entre “JIT & RFID” e “JIT & Realidade Aumentada”.

4.2.5 Análise do Kanban para cada variável/técnica da Indústria 4.0

A seguir será apresentada a análise a aderência da técnica Kanban do LM para cada técnica da I.4.0. Para garantir a confiabilidade da associação, a tabela abaixo apresenta o coeficiente Alpha de Cronbach com valores superiores ao limite mínimo estabelecido, concluindo que a associação é confiável.

Tabela 24 - Alpha de Cronbach para Kanban x I.4.0

Model Summary				
Dimension	Cronbach's Alpha	Variance Accounted For		
		Total (Eigenvalue)	Inertia	% of Variance
1	0,743	3,022	0,302	30,216
2	0,658	2,301	0,230	23,014
Total		5,323	0,532	
Mean	0,7 ^a	2,661	0,266	26,615

a. Mean Cronbach's Alpha is based on the mean Eigenvalue.

Para concluir a análise das variáveis, a tabela 25 apresenta as medidas de discriminação para saber quais as relações/associações mais fortes de acordo com cada dimensão, considerando seus valores médios.

Tabela 25 - Tabela de medidas de discriminação do Kanban

	Discrimination Measures		
	Dimension		Mean
	1	2	
RFID_Kanban	0,415	0,281	0,348
Augmented Reality_Kanban	0,248	0,134	0,191
Virtual Reality_Kanban	0,093	0,441	0,267
Big Data / Warehouse_Kanban	0,515	0,027	0,271
Data Mining_Kanban	0,312	0,252	0,282
Cloud Computing_Kanban	0,319	0,193	0,256
Additive Manufacturing_Kanban	0,173	0,064	0,119
Supervisory System_Kanban	0,434	0,359	0,396

Flexsim_Kanban	0,327	0,214	0,270
People Analytics_Kanban	0,185	0,336	0,260
Active Total	3,022	2,301	2,661
% of Variance	30,216	23,014	26,615

Por meio das medidas de discriminação da tabela 25, é possível afirmar a relação da técnica Kanban para todas as variáveis da I.4.0 estudadas, informando as mais importantes em relação à sua média. Assim, as duas relações/associações mais fortes são: RFID e Sistema Supervisório.

A representação gráfica das medidas de discriminação é mostrada na figura 56, na qual é possível verificar que as variáveis mais importantes são aquelas mais afastadas da origem.

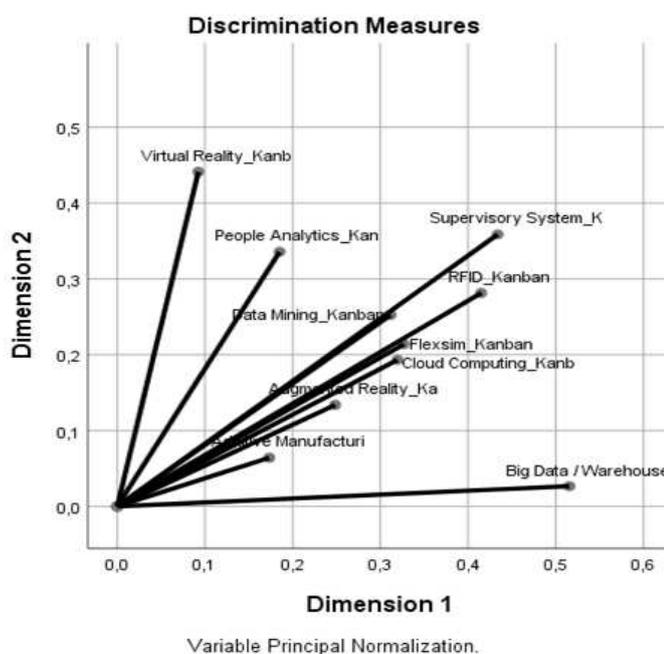


Figura 51 - Representação das medidas de discriminação do Kanban para as técnicas da I.4.0

Como conclusão da análise da técnica Kanban para com as técnicas do I.4.0, as relações de aderência mais fortes estão entre “Kanban & RFID” e “Kanban & Sistema Supervisório”.

4.2.6 Análise do Poka-Yoke para cada variável/técnica da Indústria 4.0

A seguir será apresentada a análise a aderência da técnica Poka-Yoke do LM para cada técnica da I.4.0. Para garantir a confiabilidade da associação, a tabela abaixo apresenta o coeficiente Alpha de Cronbach com valores superiores ao limite mínimo estabelecido, concluindo que a associação é confiável.

Tabela 26 - Alpha de Cronbach para Poka-Yoke x I.4.0

Model Summary				
Dimension	Cronbach's Alpha	Variance Accounted For		
		Total (Eigenvalue)	Inertia	% of Variance
1	0,688	2,626	0,263	26,264
2	0,675	2,284	0,228	22,844
Total		4,911	0,491	
Mean	0,7 ^a	2,455	0,246	24,554

a. Mean Cronbach's Alpha is based on the mean Eigenvalue.

Para concluir a análise das variáveis, a tabela 27 apresenta as medidas de discriminação para saber quais as relações/associações mais fortes de acordo com cada dimensão, considerando seus valores médios.

Tabela 27 - Tabela de medidas de discriminação do Poka-Yoke

	Discrimination Measures		
	Dimension		
	1	2	Mean
RFID_Poka_Yoke	0,031	0,259	0,145
Augmented Reality_Poka_Yoke	0,072	0,347	0,210
Virtual Reality_Poka_Yoke	0,165	0,145	0,155
Big Data / Warehouse_Poka_Yoke	0,315	0,215	0,265
Data Mining_Poka_Yoke	0,210	0,302	0,256
Cloud Computing_Poka_Yoke	0,218	0,247	0,232
Additive Manufacturing_Poka_Yoke	0,371	0,207	0,289
Supervisory System_Poka_Yoke	0,386	0,075	0,230
Flexsim_Poka_Yoke	0,569	0,370	0,470
People Analytics_Poka_Yoke	0,290	0,118	0,204
Active Total	2,626	2,284	2,455
% of Variance	26,264	22,844	24,554

Por meio das medidas de discriminação da tabela 27, é possível afirmar a relação da técnica Poka-Yoke para todas as variáveis da I.4.0 estudadas, informando as mais importantes em relação à sua média. Assim, as duas relações/associações mais fortes são: Flexsim e Manufatura Aditiva.

A representação gráfica das medidas de discriminação é mostrada na figura 58, na qual é possível verificar que as variáveis mais importantes são aquelas mais afastadas da origem.

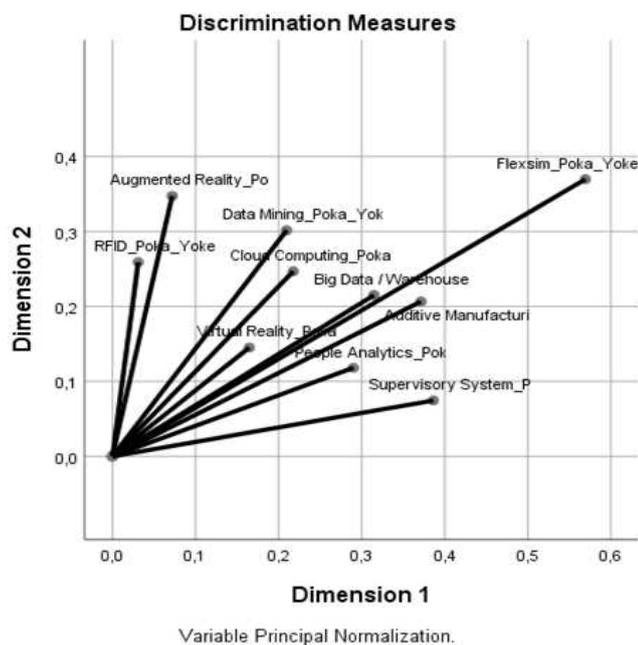


Figura 52 - Representação das medidas de discriminação do Poka-Yoke para as técnicas da I.4.0

Como conclusão da análise da técnica Poka-Yoke para com as técnicas do I.4.0, as relações de aderência mais fortes estão entre “Kanban & Flexsim” e “Kanban & Manufatura Aditiva”.

4.2.7 Análise do SMED para cada variável/técnica da Indústria 4.0

A seguir será apresentada a análise a aderência da técnica SMED do LM para cada técnica da I.4.0. Para garantir a confiabilidade da associação, a tabela abaixo apresenta o coeficiente Alpha de Cronbach com valores superiores ao limite mínimo estabelecido, concluindo que a associação é confiável.

Tabela 28 - Alpha de Cronbach para SMED x I.4.0

Model Summary				
Dimension	Cronbach's Alpha	Variance Accounted For		
		Total (Eigenvalue)	Inertia	% of Variance
1	0,687	2,392	0,239	23,919
2	0,661	2,269	0,227	22,688
Total		4,661	0,466	
Mean	0,7 ^a	2,330	0,233	23,303

a. Mean Cronbach's Alpha is based on the mean Eigenvalue.

Para concluir a análise das variáveis, a tabela 29 apresenta as medidas de discriminação para saber quais as relações/associações mais fortes de acordo com cada dimensão, considerando seus valores médios.

Tabela 29 - Tabela de medidas de discriminação do SMED

Discrimination Measures			
	Dimension		Mean
	1	2	
RFID_SMED	0,430	0,311	0,370
Augmented Reality_SMED	0,341	0,295	0,318
Virtual Reality_SMED	0,262	0,399	0,331
Big Data / Warehouse_SMED	0,159	0,091	0,125
Data Mining_SMED	0,181	0,065	0,123
Cloud Computing_SMED	0,170	0,243	0,206
Additive Manufacturing_SMED	0,214	0,554	0,384
Supervisory System_SMED	0,173	0,042	0,108
Flexsim_SMED	0,168	0,131	0,149
People Analytics_SMED	0,295	0,138	0,217
Active Total	2,392	2,269	2,330
% of Variance	23,919	22,688	23,303

Por meio das medidas de discriminação da tabela 29, é possível afirmar a relação da técnica SMED para todas as variáveis da I.4.0 estudadas, informando as mais importantes em relação à sua média. Assim, as duas relações/associações mais fortes são: RFID e Manufatura Aditiva.

A representação gráfica das medidas de discriminação é mostrada na figura 60, na qual é possível verificar que as variáveis mais importantes são aquelas mais afastadas da origem.

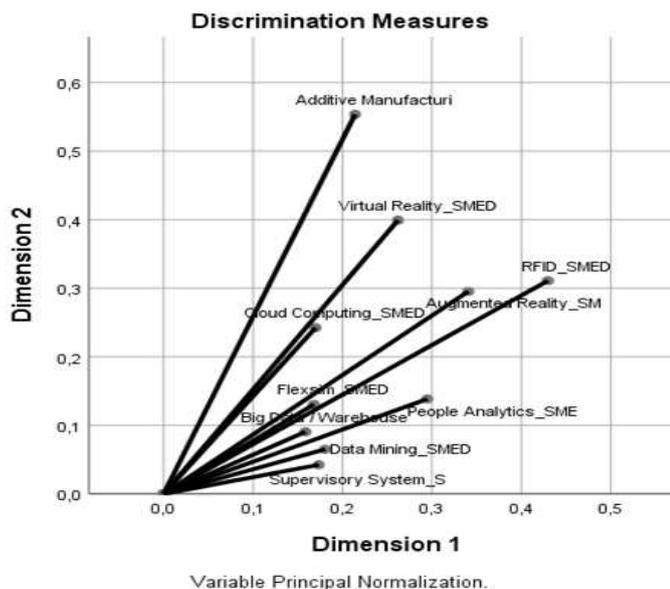


Figura 53 - Representação das medidas de discriminação do SMED para as técnicas da I.4.0

Como conclusão da análise da técnica SMED para com as técnicas do I.4.0, as relações de aderência mais fortes estão entre “SMED & RFID” e “SMED & Manufatura Aditiva”.

4.2.8 Análise do Takt Time para cada variável/técnica da Indústria 4.0

A seguir será apresentada a análise a aderência da técnica Takt Time do LM para cada técnica da I.4.0. Para garantir a confiabilidade da associação, a tabela abaixo apresenta o coeficiente Alpha de Cronbach com valores superiores ao limite mínimo estabelecido, concluindo que a associação é confiável.

Tabela 30 - Alpha de Cronbach para Takt Time x I.4.0

Model Summary				
Dimension	Cronbach's Alpha	Variance Accounted For		
		Total (Eigenvalue)	Inertia	% of Variance
1	0,676	2,442	0,244	24,418
2	0,681	2,177	0,218	21,767
Total		4,618	0,462	
Mean	0,7 ^a	2,309	0,231	23,092

a. Mean Cronbach's Alpha is based on the mean Eigenvalue.

Para concluir a análise das variáveis, a tabela 31 apresenta as medidas de discriminação para saber quais as relações/associações mais fortes de acordo com cada dimensão, considerando seus valores médios.

Tabela 31 - Tabela de medidas de discriminação do Takt Time

Discrimination Measures			
	Dimension		Mean
	1	2	
RFID_Takt_Time	0,499	0,442	0,470
Augmented Reality_Takt_Time	0,105	0,059	0,082
Virtual Reality_Takt_Time	0,466	0,052	0,259
Big Data / Warehouse_Takt_Time	0,311	0,375	0,343
Data Mining_Takt_Time	0,110	0,085	0,097
Cloud Computing_Takt_Time	0,174	0,240	0,207
Additive Manufacturing_Takt_Time	0,102	0,285	0,194
Supervisory System_Takt_Time	0,072	0,233	0,152
Flexsim_Takt_Time	0,491	0,217	0,354
People Analytics_Takt_Time	0,110	0,189	0,150
Active Total	2,442	2,177	2,309
% of Variance	24,418	21,767	23,092

Por meio das medidas de discriminação da tabela 31, é possível afirmar a relação da técnica Takt Time para todas as variáveis da I.4.0 estudadas, informando as mais importantes em relação à sua média. Assim, as duas relações/associações mais fortes são: RFID e Flexsim.

A representação gráfica das medidas de discriminação é mostrada na figura 62, na qual é possível verificar que as variáveis mais importantes são aquelas mais afastadas da origem.

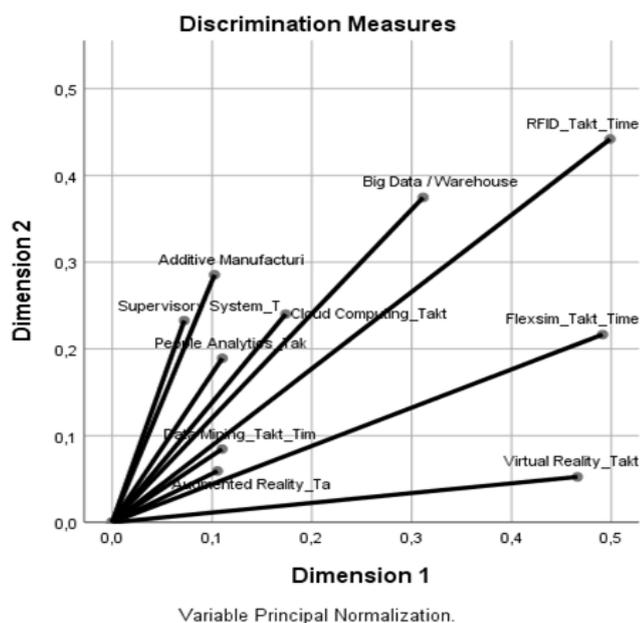


Figura 54 - Representação das medidas de discriminação do Takt Time para as técnicas da I.4.0

Como conclusão da análise da técnica Takt Time para com as técnicas do I.4.0, as relações de aderência mais fortes estão entre “Takt Time & Flexsim” e “Takt Time & RFID”.

4.2.9 Análise do Layout/Arranjo Físico para cada variável/técnica da Indústria 4.0

A seguir será apresentada a análise a aderência da técnica *Layout* do LM para cada técnica da I.4.0. Para garantir a confiabilidade da associação, a tabela abaixo apresenta o coeficiente Alpha de Cronbach com valores superiores ao limite mínimo estabelecido, concluindo que a associação é confiável.

Tabela 32 - Alpha de Cronbach para Layout/Arranjo Físico x I.4.0

Model Summary				
Dimension	Cronbach's Alpha	Variance Accounted For		
		Total (Eigenvalue)	Inertia	% of Variance
1	0,687	2,344	0,234	23,435
2	0,667	2,204	0,220	22,043
Total		4,548	0,455	
Mean	,7 ^a	2,274	0,227	22,739

a. Mean Cronbach's Alpha is based on the mean Eigenvalue.

Para concluir a análise das variáveis, a tabela 33 apresenta as medidas de discriminação para saber quais as relações/associações mais fortes de acordo com cada dimensão, considerando seus valores médios.

Tabela 33 - Tabela de medidas de discriminação do Layout/Arranjo Físico

	Discrimination Measures		
	Dimension		
	1	2	Mean
RFID_Layout	0,271	0,193	0,232
Augmented Reality_Layout	0,206	0,308	0,257
Virtual Reality_Layout	0,345	0,137	0,241
Big Data / Warehouse_Layout	0,204	0,384	0,294
Data Mining_Layout	0,181	0,133	0,157
Cloud Computing_Layout	0,246	0,068	0,157
Additive Manufacturing_Layout	0,180	0,229	0,204
Supervisory System_Layout	0,057	0,321	0,189
Flexsim_Layout	0,316	0,263	0,290
People Analytics_Layout	0,335	0,169	0,252
Active Total	2,344	2,204	2,274
% of Variance	23,435	22,043	22,739

Por meio das medidas de discriminação da tabela 33, é possível afirmar a relação da técnica *Layout* para todas as variáveis da I.4.0 estudadas, informando as mais importantes em relação à sua média. Assim, as duas relações/associações mais fortes são: Big Data e Realidade Aumentada.

A representação gráfica das medidas de discriminação é mostrada na figura 64, na qual é possível verificar que as variáveis mais importantes são aquelas mais afastadas da origem.

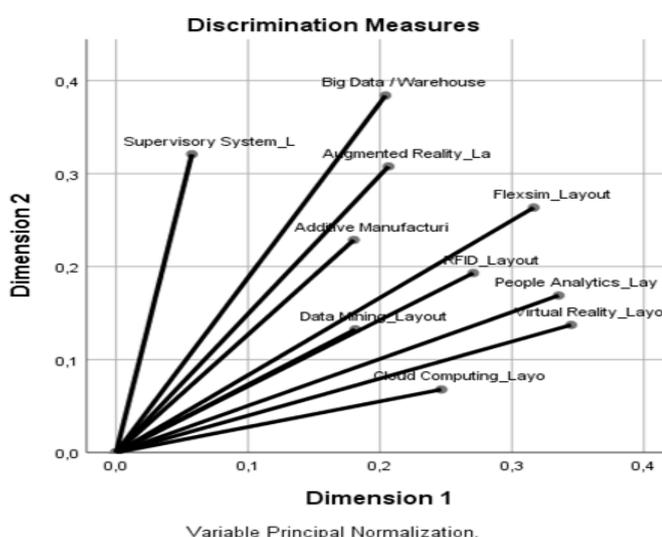


Figura 55 - Representação das medidas de discriminação do Layout para as técnicas da I.4.0

Como conclusão da análise da técnica *Layout* para com as técnicas do I.4.0, as relações de aderência mais fortes estão entre “*Layout & Big Data*” e “*Layout & Flexsim*”.

4.2.10 Análise da Gestão Visual para cada variável/técnica da Indústria 4.0

A seguir será apresentada a análise a aderência da técnica Gestão Visual do LM para cada técnica da I.4.0. Para garantir a confiabilidade da associação, a tabela abaixo apresenta o coeficiente Alpha de Cronbach com valores superiores ao limite mínimo estabelecido, concluindo que a associação é confiável.

Tabela 34 - Alpha de Cronbach para Gestão Visual x I.4.0

Model Summary				
Dimension	Cronbach's Alpha	Variance Accounted For		
		Total (Eigenvalue)	Inertia	% of Variance
1	0,735	2,951	0,295	29,507
2	0,653	2,274	0,227	22,743
Total		5,225	0,522	
Mean	0,7 ^a	2,612	0,261	26,125

a. Mean Cronbach's Alpha is based on the mean Eigenvalue.

Para concluir a análise das variáveis, a tabela 35 apresenta as medidas de discriminação para saber quais as relações/associações mais fortes de acordo com cada dimensão, considerando seus valores médios.

Tabela 35 - Tabela de medidas de discriminação do Gestão Visual

	Discrimination Measures		
	Dimension		Mean
	1	2	
RFID_Visual Mgmt	0,352	0,373	0,363
Augmented Reality_Visual Mgmt	0,196	0,524	0,360
Virtual Reality_Visual Mgmt	0,144	0,235	0,190
Big Data / Warehouse_Visual Mgmt	0,320	0,035	0,178
Data Mining_Visual Mgmt	0,379	0,028	0,204
Cloud Computing_Visual Mgmt	0,264	0,137	0,201
Additive Manufacturing_Visual Mgmt	0,206	0,285	0,245
Supervisory System_Visual Mgmt	0,298	0,290	0,294
Flexsim_Visual Mgmt	0,375	0,206	0,290
People Analytics_Visual Mgmt	0,417	0,160	0,288
Active Total	2,951	2,274	2,612
% of Variance	29,507	22,743	26,125

Por meio das medidas de discriminação da tabela 35, é possível afirmar a relação da técnica Gestão Visual para todas as variáveis da I.4.0 estudadas, informando as mais importantes em relação à sua média. Assim, as duas relações/associações mais fortes são: RFID e Realidade Aumentada.

A representação gráfica das medidas de discriminação é mostrada na figura 66, na qual é possível verificar que as variáveis mais importantes são aquelas mais afastadas da origem.

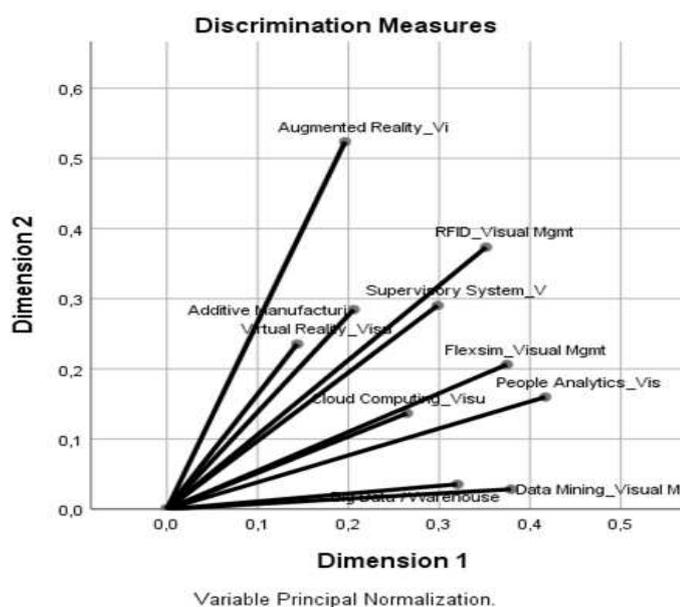


Figura 56 - Representação das medidas de discriminação da Gestão Visual

Como conclusão da análise da técnica Gestão Visual para com as técnicas do I.4.0, as relações de aderência mais fortes estão entre “Gestão Visual & RFID” e “Gestão Visual & Realidade Aumentada”.

4.3 Análises Individuais

Todas as Análises Individuais anteriormente apresentadas contaram na conclusão de suas análises duas técnicas com mais grau de aderência. Como forma de deixar os resultados encontrados de forma mais clara e objetiva, será apresentado a seguir uma tabela com as principais técnicas da I.4.0 que tiveram um alto índice de aderência à técnica do LM.

Tabela 36 - Tabela das principais correspondências entre os conceitos

Técnica LM	Principal aderência da I.4.0	
VSM	Realidade Virtual	Data Mining
Kaizen	Flexsim	Manufatura Aditiva
5S	Sistema Supervisório	Realidade Virtual
JIT	RFID	Realidade Aumentada
Kanban	RFID	Sistema Supervisório
Poka Yoke	Flexsim	Manufatura Aditiva
SMED	Manufatura Aditiva	RFID
Takt Time	RFID	Flexsim
Layout	Big Data	Flexsim
Gestão Visual	RFID	Realidade Aumentada

A tabela 36 visa apresentar as técnicas da I.4.0 que foram identificadas como as principais correspondentes identificadas por meio do questionário respondido por especialistas junto ao conceito do LM.

Os dados da tabela 36 foram levantados levando em consideração os dois maiores valores médios entre as dimensões 1 e 2, evitando assim que dois valores médios sejam iguais e não haveria nenhum critério lógico para diferenciá-los, também gerando uma maior massa de dados para análise final e removendo a possibilidade de uma análise tendenciosa dos dados, o que leva a concluir que o estudo possui uma confiabilidade alta devido ao fato de que diferentes situações foram encontradas dentro de uma mesma análise, ou seja, a análise não foi tendenciosa em nenhum sentido.

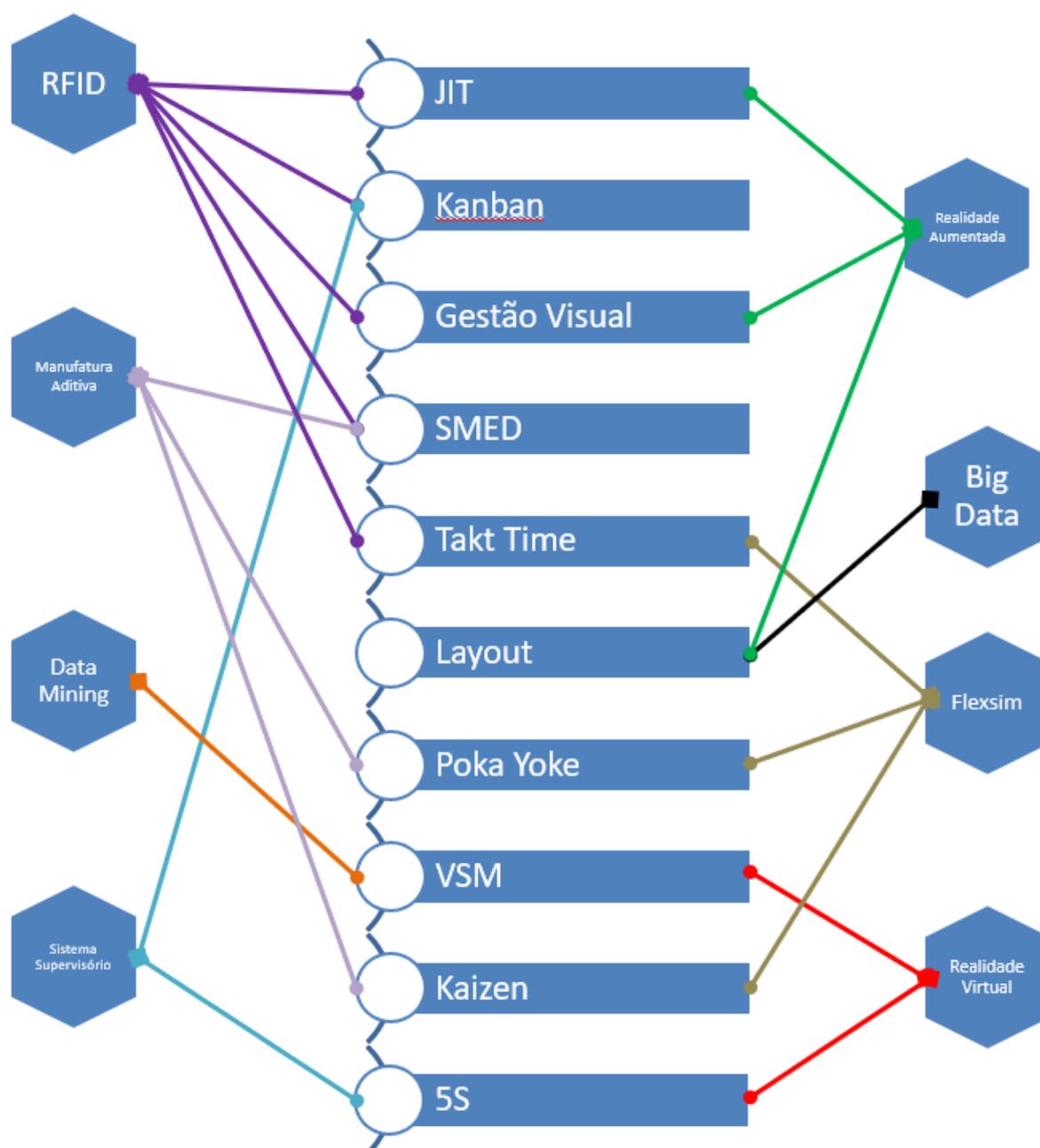


Figura 57 – Mapa das principais relações entre as técnicas

A figura 57 apresenta as relações mais fortes, providas por meio da análise de correspondência, com o intuito de corrigir a falta de nitidez da figura 46. Através desta figura é possível observar as duas relações mais fortes de cada uma das técnicas do LM (coluna do meio) para cada técnica da I.4.0 listadas nas colunas laterais. Esta figura passa a ideia de uma fácil percepção do resultado da análise de correspondência, fazendo com que seja de fácil visualização as principais associações entre as técnicas.

Para cada técnica do LM analisada, foram levantadas 2 técnicas com maior relação de associação à I.4.0 (médias entre dimensão 1 e dimensão 2). Após este levantamento das principais técnicas associadas, foi calculado o percentual de repetição dessas principais técnicas da I.4.0 levando em consideração sua repetição nas análises individuais, na qual é possível observar na figura 68 esta dispersão de valores conforme a opinião dos especialistas.

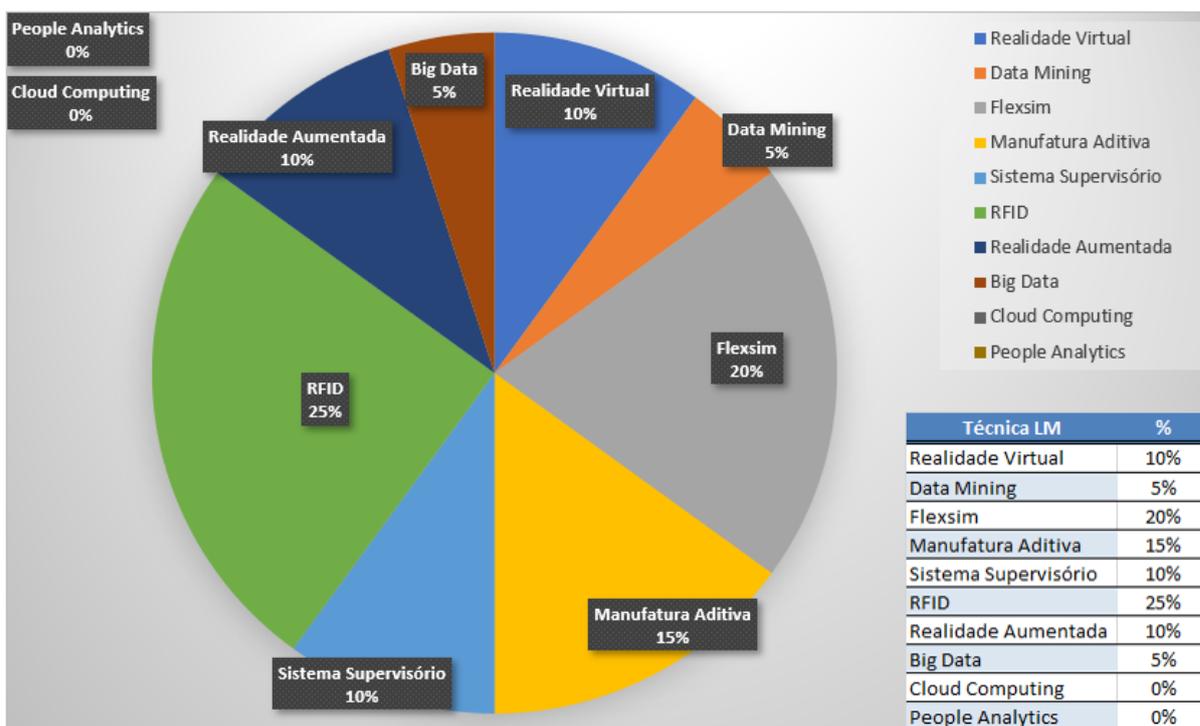


Figura 58 – Gráfico de aderência das técnicas da I.4.0 ao LM

A figura 67 apresenta de forma percentual a distribuição das principais técnicas da I.4.0 levantadas com maior aderência junto ao conceito das técnicas do LM. Esta figura apresenta ainda qual a maior relação/associação entre as técnicas da I.4.0 às técnicas do LM de acordo com a visão dos especialistas consultados.

5 Considerações Finais

A I.4.0 vem trazendo diversos questionamentos a respeito de sua implementação e também a respeito de sua possível substituição à conceitos tradicionais de gestão industrial. Este estudo mostrou que ambas as técnicas da I.4.0 e do LM são complementares e não substitutivas, dessa forma, ambas podem ser trabalhadas de forma a fortalecer a estratégia da empresa, fundamentando esta afirmação baseado em respondentes de todos os continentes, de primeiro à terceiro mundo, de pequenas à grandes empresas, de mais de 20 países. Ambos conceitos são claramente aplicáveis de forma paralela, sendo que um sustenta-se como base para uma melhor implementação/utilização do outro e vice-versa.

Tendo como premissa responder aos questionamentos abordados no início deste trabalho, este pode ser considerado como concluído com sucesso. Por meio dos levantamentos realizados por este estudo foi possível observar um grau de aderência entre os conceitos da I.4.0 e o LM, analisando suas influências e relações. Foi possível também levantar observações referentes a quais são as principais técnicas do LM afetadas pela I.4.0 e também estabelecer uma linha de integração entre os conceitos de acordo com especialistas da área de estudo.

Identificou-se, pela visão dos especialistas, a nível global, qua as técnicas da I.4.0 de maior relação com o LM, em prioridade foram destacadas: RFID (25%), Flexsim (20%), Manufatura Aditiva (15%), Realidade Aumentada (10%), Realidade Virtual (10%), Sistema Supervisório (10%), Data Mining (5%) e Big Data (5%). É possível concluir também que 80% das técnicas da I.4.0 se relacionam de alguma forma com as técnicas do LM, ou seja, das 10 técnicas da I.4.0, 8 delas possuem uma relação relevante para com as técnicas do LM, conforme opinião de especialistas, ou seja, não estão resumidas em poucas técnicas.

Este estudo contribui também para a identificação de um cenário de priorização de técnicas específicas, orientando um possível tomador de decisão a avaliar de forma clara e objetiva qual técnica do LM pode ser trabalhada em paralela com determinada técnica da I.4.0 de acordo com sua intenção. Também contribui para análise de uma tendência internacional de integração das modernas técnicas da I.4.0 ao autal sistema de gestão industrial.

Uma outra afirmação que é possível ser levantada, é o fato de que os profissionais da indústria ainda procuram técnicas que justifiquem um certo aumento de produtividade e não uma mudança no “Modelo de Negócios”. É possível sustentar esta afirmação levando em consideração que as 3 técnicas com maior grau de aderência da I.4.0 ao LM (RFID, Flexsim e

Manufatura aditiva) são técnicas de caráter operacional, visando resultados operacionais, sendo que técnicas de caráter comportamental, que poderiam sustentar a hipótese de alteração do “Modelo de Negócios”, obtiveram um grau de aderência menor, conforme especialistas de manufatura.

5.1 Contribuições do estudo

Como contribuição dos dados levantados por este estudo, é possível realizar a divisão levando em consideração duas vertentes: Contribuição à Academia e contribuição à Indústria.

Como contribuição à Academia, é possível levar em consideração que um estudo de grau de aderência entre os dois conceitos (LM e I.4.0) nunca foi anteriormente publicado/estudado em tal profundidade, bem como os dados deste estudo sustentam a afirmação de que a I.4.0 vem agregar ao LM e não o substituir. Outro fato a ser levado em consideração é a abrangência deste estudo, na qual a opinião de especialistas de diversos países no mundo compartilhou experiências com o intuito de fomentar o estudo dirigido à I.4.0.

Como contribuição à Indústria, é possível afirmar que este estudo pode contribuir para uma tomada de decisão de investimentos na área industrial, no qual o tomador de decisão pode avaliar qual a técnica do LM que está atualmente em atuação e necessidade de um suporte extra para gerar mais resultados. Este estudo responde a este questionamento de maneira claro, onde o tomador de decisão pode analisar quais as técnicas da I.4.0 possuem um maior grau de aderência à determinada técnica do LM, fazendo com que seja capaz de reduzir custos de desenvolvimento, reduzir custos de implementação e conseqüentemente uma grande evolução tecnológica visando melhoria no resultado operacional.

5.2 Sugestões para estudos futuros

Como sugestão para estudos futuros, seria de grande valia levantar, a partir dos resultados dessa pesquisa, como de fato estas técnicas da I.4.0 podem estar trabalhando de forma paralela às técnicas já consolidadas do LM. Como sugestão, poderia ser elaborado um novo questionário com os especialistas da área, solicitando métodos e/ou sugestões de como trabalhar com as técnicas juntas para a obtenção de um resultado superior.

Outra sugestão seria refazer este estudo adicionando novas técnicas da I.4.0, pois, conforme há uma evolução tecnológica, conseqüentemente há inúmeras novas técnicas a serem consideradas em um novo estudo.

Referências

- ACEVEDO, C.R. e NOHARA, J.J. (2006). Monografia no curso de administração: guia completo de conteúdo e forma. São Paulo: Atlas.
- ALBRECHT, C., DEAN, D. e HANSEN, J. (2005). “Marketplace and technology standards for B2B e-commerce: progress, challenges, and the state of the art”, *Information and Management*, Vol. 42, pp. 865-75.
- ALLEN, M. J., YEN, W. M. (2003). *Introduction to measurement theory*. WaveLand Press.
- AMASAKA, K. (2002). New JIT: A new management technology principle at Toyota. *International Journal of Production Economics*, v.80, pp.135-144.
- ANDERL, R. (2014). Industry 4.0 – Advanced Engineering of smart product and smart production. Conference: 19th International seminar on high technology.
- ARAUJO, M.A. (2009). *Administração de Produção e Operações*. Ed. Brasport, 424p.
- ARBÓS, L.C. (2002). Design of a rapid response and high efficiency service by lean production principles: Methodology and evaluation of variability of performance. *International Journal of Production Economics*, v.80, pp.169-183.
- ARMBRUST, M., FOX, A., GRIFFITH, R., JOSEPH, A.D., KATZ, R., KONWINSKI, A. e ZAHARIA, M. (2010). A view of cloud computing, *Commun. ACM* 53 (4), 50–58.
- ATZORI, L., IERA, A. e MORABITO, G. (2010). The Internet of Things: a survey, *Comput. Netw.* 54 (15) 2787–2805.
- AURÉLIO, B.H. F. et al. (2013). *Novo Dicionário Aurélio da Língua Portuguesa*. Curitiba: Positivo.
- AZUMA, R.T. (1997). A Survey of Augmented Reality, *Presence: Teleoperators and Virtual Environments*, 355-385.
- BAENA, F., GUARIN, A., MORA, J. SAUZA, J. e RETAT, S. (2017). Learning Factory: The Path to Industry 4.0. 7th Conference on Learning Factories, CLF. *Procedia Manufacturing* 9. 73 – 80.
- BARRETO, L., AMARAL, A. e PEREIRA. T. (2017). Industry 4.0 implications in logistics: an overview. *Manufacturing Engineering Society International Conference. Procedia Manufacturing* 13. 1245–1252.
- BASU, R. (2009). *Implementing Six Sigma and Lean: a practical guide to tools and techniques*. Elsevier.
- BECHTOLD, J., KERN, A., LAUENSTEIN, C., BERNHOFER, L. (2014). *Industry 4.0 - The Capgemini Consulting View*. Capgemini Consulting.
- BENDERS, J., MORITA, M., (2004). Changes in Toyota motor’s operations management. *International Journal of Production Research*, v.42, (3), pp.433-444.
- BENEVOLO, C., DAMERI, R. P. e DÀURIA, B. (2016). Smart Mobility in Smart City: Action taxonomy, ICT intensity and public benefits. Disponível em <file:///C:/Users/Pessoal/Downloads/9783319237831-c2%20(2).pdf> Acesso em: 5 jan. 2017.

- BICHENO, J. (2004). Leaning into the future. IOM Control Magazine 30 (7), p. 4.
- BMBF (Bundesforschungsministerium), (2014). Zukunftsprojekt Industrie 4.0. Retrieved on: <http://www.bmbf.de/de/9072.php>. Acessado em 10/10/2016.
- BOLIDO, D.J.A. (2017). Indústria 4.0 – Aplicação a Sistemas de Manutenção. Dissertação de Mestrado. Universidade do Porto.
- BOSCHETTO, A., BOTTINI, L. e VENIALI, F. (2016). Finishing of fused deposition modeling parts by CNC machining, Robot. Comput. Integr. Manuf. 41, 92–101.
- BOSE, I., e PAL, R. (2005). Auto-ID: managing anything, anywhere, anytime in the supply chain. Communications of the ACM, 48(8), 100-106.
- BRAUNER, P. e ZIEFLE, M. (2015). Human Factors in Production Systems. Advances in Production Technology, Springer International Publishing, 187-199.
- BRETTEL, M., FRIEDERISCHSEN, N., KELLER, M., e ROSENBERG, M. (2014). How virtualization, decentralization and network building change the manufacturing landscape: An Industry 4.0 Perspective. International Journal of Mechanical, Industrial Science and Engineering, 8(1), 37-44.
- BUSSAB, W. O.; et al (1989). Relatório de análise estatística sobre o projeto “Como construir um questionário: Delineamento de um roteiro para a sua elaboração. Revista RAE – SEA- 8924. São Paulo.
- BUSSAB, W.O. e MORETTI, P.A. (2006). Estatística Básica. 5.ed. São Paulo: Saraiva. 2006, p. 526.
- CABALLERO-GIL, C., MOLINA-GIL, J., CABALLERO-GIL, P. e QUESADA-ARENCIBIA, A. (2013). IoT Application in the Supply Chain Logistics. Computer Aided Systems Theory- EUROCAST, Springer Berlin Heidelberg, 55-62.
- CAMAROTTO, J.A. (1998). Estudo das relações entre o projeto do edifício industrial e a gestão da produção. Tese de Doutorado. São Paulo: Faculdade de arquitetura e urbanismo – UFSCAR.
- CANNATA, A., GEROSA, M., e TAISCH, M. (2008). SOCRADES: A framework for developing inteligente systems in manufacturing. IEEE International Conference on Industrial Engineering and Engineering Management (IEEM 2008) Singapore. 1904-1908.
- CARLOS, E. S. (2017). Conceitos básicos de Data mining e Data warehouse. Disponível em: <<https://centraldefavoritos.wordpress.com/2014/03/12/conceitos-basicos-de-data-mining-e-data-warehouse/>>. Acesso em: 5 jan. 2017.
- CARMINES, E.G. e ZELLER, R.A. (1979). Reliability and Validity Assessment; Sage: Newbury Park, CA, USA, ISBN 978-0-8039-1371-4.
- CARVALHO, P. C. (2006). O Programa 5S e a Qualidade Total. Ed. Alínea, 102p.
- CAVALCANTE, C.G.S. e ALMEIDA, T.D. (2018). The benefits of Industry 4.0 for companies' management. JOURNAL OF LEAN SYSTEMS, Vol. 3, Nº 1, pp. 125-152.
- CESAR, F.I.G., MAKYIA, I.K., PALMA, J.M. B., SCHIAVUZZO, P.L., BUENO, U.S. e STOROLLI, W.G. (2017). Contribuição da Indústria 4.0 (4ª Revolução Industrial) para a indústria de jogos digital. V Encontro de Engenharia no Entretenimento, 3E/UNIRIO, Rio de Janeiro, RJ.

- CHAMBERS, S., SLACK, N. e JOHNSTON, R. (2002). *Administração da Produção*. São Paulo: Ed. Atlas, 754p.
- CHASE, R.B., AQUILANO, N.J. e JACOBS, F. R. (2005). *Operations Management for Competitive Advantage*. Ed. McGraw-Hill Professi, 806p.
- CHEN, Y. (2017). *Integrated and Intelligent Manufacturing: Perspectives and Enablers*. Chinese Academy of Engineering and Higher Education Press Limited Company. *Engineering* 3. 588–595.
- CHEN, H., CHIANG, R. H. e STOREY, V.C. (2012). *Business Intelligence and Analytics: From Big Data to Big Impact*. *MIS Quarterly*, 36(4), pp. 1165-1188.
- CHEN, J., TAI, K, e CHEN, G, (2017). *Application of Programmable Logic Controller to Build-up an Intelligent Industry 4.0 Platform*. The 50th CIRP Conference on Manufacturing Systems. *Procedia CIRP* 63. 150 – 155.
- CHENG, F., TIENG, H., YANG, H., HUNG, M., LIN, Y., WEI, C. e SHIEH, Z. (2016). *Industry 4.1 for Wheel Machining Automation*. *IEEE Robotics and automation letters*, Vol. 1, N.1.
- COHEN, Y., FACCIO, M., GALIZIA, F.G, MORA, C. e PILATI, F. (2017). *Assembly system configuration through Industry 4.0 principles: the expected change in the actual paradigms*. *IFAC PapersOnLine* 50-1. 14958–14963.
- CORBETT, C.J. e KLASSEN, R.D. (2006). *Extending the horizons: environmental excellence as key to improving operations*. *Manufacturing & Service Operations Management*, Vol. 8, no. 1.
- CORREA, H.L. e GIANESI, I.G.N. (2011). *Just In Time, MRP II e OPT: um enfoque estratégico*. São Paulo: Atlas.
- CORRÊA, H.L. e CORRÊA, C.A. (2005). *Administração de Produção e Operação – Manufatura e Serviços: Uma Abordagem Estratégica*. Ed. Atlas.
- CÔTÉ, S., BARNARD, J. e SNYDER, R. (2013). *Offline Spatial Panoramic Video Augmentation for Visual Communication in the AEC Industry*, 13th International Conference on Construction Applications of Virtual Reality (CONVR 2013), 82-89.
- CPFL (2017). *O que é Smart Grids*. Disponível em: <<https://www.cpfl.com.br/energias-sustentaveis/sites-tematicos/smart-grid/Paginas/default.aspx>>. Acesso em: 5 jan. 2017.
- CRONBACH, J. L. (1951). *Coefficient alpha and the internal structure of tests*. V. 16. No. 3, pp. 297-334, *Psychometrika*.
- CRONBACH, J. L. (2004). *My current t procedures*. *Educational and Psychological Measurement*, Vol. 64 No. 3.
- CRONBACH, L. J. (1996). *Fundamentos da testagem psicológica*. Porto Alegre: Artes Médicas. 575p.
- CRONIN, J. e TAYLOR, S. (1992). *Measuring service quality: A reexamination and extension*. *Journal of Marketing*, v. 56, n. 3, p. 55-68.
- CURY, A. (2005). *Organização e Métodos – Uma visão Holística*. São Paulo: Atlas, 600p.
- CZERMAINSKI, A.B. (2004). *Análise de correspondência*. Piracicaba, 2004. Disponível em: <http://ce.esalq.usp.br/tadeu/anabeatriz.pdf>. Acesso em: 10 julho 2017.

DANEELS, A. e SALTER, W. (1999). What is SCADA? In: International Conference on Accelerator on Large Experimental Physics Control Systems, Trieste, Italy.

DATAMATION (2017). <http://www.datamation.com/cloud-computing/what-is-cloud-computing.html>
Acessado em 04 de Ago de 2017 - 13:42hrs.

DAVIES, R. (2015). Industry 4.0 Digitalisation for productivity and growth. European Parliamentary Research Service. PE 568.337.

DAVIES, R., COOLE, T. e SMITH, A. (2017). Review of socio-technical considerations to ensure successful implementation of Industry 4.0. 27th International Conference on Flexible Automation and Intelligent Manufacturing. Procedia Manufacturing 11. 1288 – 1295.

DENNIS, P. (2002). Lean Production simplified: A Plain-Language Guide to the World's Most Powerful System.

DOMBROWSKI, U., RICHTER, T. e KRENKEL, P. (2017). Interdependencies of Industrie 4.0 & Lean Production Systems - a use cases analysis - 27th International Conference on Flexible Automation and Intelligent Manufacturing. Procedia Manufacturing 11. 1061 – 1068.

DORA, M., VAN GOUBERGEN, D., KUMAR, M., MOLNAR, A., e GELLYNCK, X. (2013). Application of lean practices in small and medium-sized food enterprises. British Food Journal, 116(1), 125-141.

DRESCH, A., LACERDA, D. P. e ANTUNES Jr, J. A. V. (2015). Design Science Research – A method for science and technology advancement. Suíça: Springer.

EROLS, S., JÄGER, A, HOLD, P., OTT, K. e SMITH, W. (2016). Tangible Industry 4.0: a scenario-based approach to learning for the future of production. 6th CLF - 6th CIRP Conference on Learning Factories. Procedia CIRP 54. 13 – 18.

ESCALA LIKERT. In: WIKIPÉDIA, a enciclopédia livre. Flórida: Wikimedia Foundation, 2011. Disponível em: <http://pt.wikipedia.org/w/index.php?title=Escala_Likert&oldid=25496087>. Acesso em: 4 de jul. 2017.

FALLER, C. e FELDMÜLLER, D. (2015). Industry 4.0 Learning Factory for regional SMEs. 5th Conference on Learning Factories. Procedia CIRP 32. 88 – 91.

FAN, W. e BIFET, A. (2013). Mining big data: current status, and forecast to the future, ACM SIGKDD Explor. Newsletter. 14 (2) 1–5.

FARIA, R. T. (1993). Tratamento de dados Multivariados através da Análise de Correspondência em Rochas Carbonáticas. Dissertação (Mestrado em Geoengenharia de Laboratório) – Universidade Estadual de Campinas - UNICAMP, Campinas.

FELD, W.M. (2001). Lean manufacturing: tools, techniques, and how to use them. CRC Press.

FELDMANN, K., FRANKE, J. e SCHÜSSLER, F. (2010). Development of micro assembly processes for further miniaturization in electronics production. Manufacturing Technology, 59(1), pp. 1-4.

FISCHER, K., MÜLLER, J.R.P., e PISCHEL, M. (1996). Cooperative transportation scheduling: an application domain for DAI. Applied Artificial Intelligence, 10(1), 1-34.

FOIDL, H. e FELDERER, M. (2016). Research Challenges of Industry 4.0 for Quality Management. Springer International Publishing Switzerland. LNBIP 245, pp. 121–137.

FORZA, C. (2002). Survey Research in Operations Management: a Processbased Perspective. *International Journal of Operations & Production Management*, v. 22, n. 2, p. 152-194.

FREITAS, A. L. P., RODRIGUES, S. G. (2005). A avaliação da confiabilidade de questionário: uma análise utilizando o coeficiente alfa de Cronbach. XII SIMPEP – Bauru-SP.

GABRIEL, S. (2015). in *Handelsblatt Fünf Themenfelder von Industrie 4.0*. Retrieved on, <http://www.handelsblatt.com/my/politik/deutschland/sigmar-gabriel-fuenf-themenfelder-von-industrie-4-0/11625904.html?ticket=ST-68850-qOKJn7MhbcOLSNbPpCrB-s02lgiacc01.vhb.de>

GANIYUSUFOGLU, Ö.S. (2013). Chinese Approach to Sustainable Manufacturing. Proceedings of the 11th Global Conference on Sustainable Manufacturing-Innovative Solutions. TU Berlin, Germany. 23-25.

GARIN, D., CAJA, G. e BOCQUIER, F. (2003). Effects of small ruminal boluses used for electronic identification of lambs on the growth and development of the reticulorumen *Journal of Animal Science*, 81 (4), pp. 879-884.

GAUB, H. (2015). Customization of mass-produced parts by combining injection molding and additive manufacturing with Industry 4.0 technologies. *Reinforced Plastics*. Volume 00, Number 00.

GERLITZ, L. (2015). Design for product and service innovation in industry 4.0 and emerging smart society. *Journal of security and sustainability issues*. Volume 5 Number 2.

GIL, A. C. (2010). *Como elaborar Projetos de Pesquisa*. 5 ed. São Paulo: Editora Atlas.

GIL, D., FERRANDÉZ, A., MORA-MORA, H. e PERAL, J. (2016). Internet of things: a review of surveys based on context aware intelligent services, *Sensors* 16 (7) 1069.

GIL, D., SONG, I., ALDANA, J.F. e TRUJILLO, J. (2017). Big Data. New approaches of modelling and management. *Computer Standards & Interfaces*. Volume 54, Part 2, 61-63.

GODOY, M. P. C. e MATOS, K. K. (2004). *Trabalhando com o 5S*. Ed. INDG, 40p.

GOMES, Jr., D., REIS, P., PAIVA, A., SILVA, A., BRAZ, Jr. G., GATTASS, M. e ARAUJO, A. (2017). *International Journal of Computers, Communications & Control*. Aug2017, Vol. 12 Issue 4, p507-518. 12p. 3 Color Photographs, 4 Diagrams, 2 Charts.

GORECKY, D., SCHHMITT, M., LOSKYLL, M. e ZUHLKE, D. (2014). Human-machine-interaction in the industry 4.0 era. Proceedings: 12th IEEE International Conference on Industrial Informatics (INDIN).

GOUBERGHEN, D. V. e LANDEGHEM, H. V. (2012). Rules for integrating fast changeover capabilities into new equipment design. *Robotics and Computer Integrated Manufacturing*.

GREDEL, H., LAREK, R., RIEDEL, F. e WAGNER, J.C. (2017). Enabling manual assembly and integration of aerospace structures for Industry 4.0 – Methods. 17th Machining Innovations Conference for Aerospace Industry, MIC. 6-7. Garbsen, Germany.

GUGELMIN, F. (2017). Sistema de automação da Apple pode ser mais simples do que você espera. Disponível em: < <https://www.tecmundo.com.br/apple/56299-sistema-automacao-apple-simples-voce-espera.htm> > Acesso em: 5 jan.

- GUSTAFSSON, D. (2012). Business Intelligence, Analytics and Human Capital: Current State of Workforce Analytics in Sweden. Bachelor Thesis. University of Skövde, School of Humanities and Informatics.
- HABU, N., KOIZUMI, Y. e OHMORI, Y. (1992). Implementação do 5S na prática. CEMAN – Central de Manutenção Ltda.
- HADDARA, M., e ELRAGAL, A. (2015). The Readiness of ERP Systems for the Factory of the future. *Procedia Computer Science*, 64, 721-728.
- HAIR, J.F.Jr., ANDERSON, R.E., TATHAM, R.L. e BLACK, W.C. (2005). *Análise Multivariada de Dados*. 5 Ed. Porto Alegre. Editora Bookman.
- HARDING, J. A., SHAHBAZ, M., SRINIVAS, e KUSIAK, A. (2006). Data Mining in Manufacturing: A Review. *Journal of Manufacturing Science and Engineering* 128, 4. 969-976.
- HASLE, P., BOJESEN, A., LANGAA-JENSEN, P., e BRAMMING, P. (2012). Lean and the working environment: a review of the literature. *International Journal of Operations & Production Management*, 32(7), 829-849.
- HAYES, R. H. (1982). Why Japanese factories work. *Harvard Business Review*, p. 57-66. July-August.
- HEATH, S. (2002). *Embedded systems design*. 2nd ed. Oxford, et al.: Newnes.
- HERMANN, M., PENTEK, T. e OTTO, B. (2015). Design principles for industrie 4.0 scenarios: a literature review. Technische Universität Dortmund.
- HIRANO, H. (2008). *JIT Implementation Manual*. Ed. CRC PRESS, 834p.
- HOLANDA, A. B. (2010). *Dicionário Aurélio da Língua Portuguesa*. 5. ed. Ed. Positivo.
- HORA, H. R. M., MONTEIRO, G. T. R.; ARICA, J. (2010). Confiabilidade em Questionários para Qualidade: Um estudo com o Coeficiente Alfa de Cronbach. *Produto & Produção*, v.11, n.2, p.85-103.
- ID LOGISTICS. (2013). *Smart Logistics: Annual reports*. Disponível em: <https://www.id-logistics.com/en/wp-content/uploads/sites/20/2015/03/ID_LOGISTICS_RA_2013_EN.pdf>. Acesso em: 5 jan. 2017.
- IMAI, M. (1988). *Kaizen: The Key to Japan's Competitive Success*. Ed. McGraw-Hill Professi. 834p.
- INDEVA. (2017). Website: <http://www.indevagroup.com/automatic-guided-vehicles/> Acessado em: 04/08/2017, às 14:45hrs.
- INDUSTRIA HOJE (2018). Website: <https://www.industriahoje.com.br/o-que-e-poka-yoke>. Acessado em: 04/03/2018, às 11:56hrs.
- IWAYAMA, H. (1997). *Basic Concept of Just-in-time System*, mimeo, IBQP-PR, Curitiba, PR.
- JIN, Y., HE, Y., FU, G., ZHANG, A. e DU, J. (2017). A non-retraction path planning approach for extrusion-based additive manufacturing. *Robotics and Computer-Integrated Manufacturing* 48, 132–144.

- JIRSAK, P., MARTINEZ, F., LORENC, M. JANCIK, J. (2016). INDUSTRY 4.0 in the Czech Republic – State of the art. The 10th International Days of Statistics and Economics, Prague, September 8-10.
- JURIZATO, L.A. e Pereira, P.S.R. (2003). Sistemas supervisórios. Network Technologies, Nova Odessa, v.1/2, n.1/2, p.105-114.
- KANDAMPULLY, J. (2003), “B2B relationships and networks in the internet age”, Management Decision, Vol. 41 No. 5, pp. 443-51.
- KAGERMANN, H., WAHLSTER, W. e HELBIG, J. (2013). Recommendations for implementing the strategic initiative Industrie 4.0. ACATECH – National Academy of Science and Engineering. Federal Ministry of Education and Research.
- KAPLAN, S. e SAWHNEY, M. (2000), “E-hubs: the new B2B marketplaces”, Harvard Business Review, Vol. 78, pp. 97-103.
- KARDEC, A. (2009). Manutenção: função estratégica. Rio de Janeiro, Qualitymark: Petrobras.
- KARRE, H., HAMMER, M., KLEINDIENST, M. e RAMSAUER, C. (2017). Transition towards an Industry 4.0 state of the LeanLab at Graz University of Technology. 7th Conference on Learning Factories. Procedia Manufacturing 9. 206 – 213.
- KATAYAMA, H. e BENNETT, D. (1996). Lean production in a changing competitive world: a Japanese perspective. International Journal of Operations & Production and Operations Management, v. 16, n. 2, p. 8-23.
- KIESEL, M. e WOLPERS, M. (2015). “Educational challenges for employees in project-based Industry 4.0 scenarios”. i-KNOW '15, October 21-23, 2015, Graz, Austria.
- KOLBERG, D., e ZÜHLKE, D. (2015). Lean automation enabled by industry 4.0 technologies. IFAC-PapersOnLine, 48(3), 1870-1875.
- KOURI, I.A., SALMIMAA, T.J., e VILPOLA, I.H. (2008). The principles and planning process of an electronic kanban system. Novel algorithms and techniques in telecommunications, automation and industrial electronics, Springer Netherlands. 99-104.
- KRAFCIK, J. (1988). Triumph of Lean Production System. Sloan Management Review. V. 30, n,1, p. 41-52.
- KUMAR, S.V., MANI, V.G.S. e DEVRAJ, N. (2015). Production Planning and Process Improvement in an Impeller Manufacturing Using Scheduling and OEE Techniques. International Conference on Advances in Manufacturing and Materials Engineering.
- LAGE, M. J. (2008). Sistema Kanban. Ed. EDUFSCAR.
- LAHTI, J., SIIRA, E. e TÖRMÄNEN, V. (2012). Development and evaluation of media-enhanced learning application, in: Proceedings of the 11th International Conference on Mobile and Ubiquitous Multimedia, ACM, p. 5.
- LANGSMANN, R. e ROJAS-PEÑA, L.F. (2016). A PLC as an Industry 4.0 component. 13th International Conference on Remote Engineering and Virtual Instrumentation. Pg. 10.
- LEAN ENTERPRISE INSTITUTE. (2003). Léxico Lean: glossário para praticantes do pensamento lean. Lean Institute Brasil: São Paulo.

- LEWANDOWSKI, M., GATH, M., WERTHMANN, D., e LAWOW, M. (2013). Agent-based Control for Material Handling Systems in In-House Logistics-Towards Cyber-Physical Systems in In-House-Logistics Utilizing Real Size. Smart Objects, Systems and Technologies (SmartSysTech), Proceedings of 2013 European Conference, Erlangen/Nuremberg, Alemanha, VDE. 1-5.
- LEE, K. (1999). Principles of cad/cam/cae systems. Addison-Wesley Longman Publishing Co., Inc.
- LEE, J., BAGHERI, B., KAO, H. (2015). A Cyber-Physical Systems architecture for Industry 4.0-based manufacturing system. *Manufacturing Letters* 3.18–23
- LEE, J., DAVARI, H., YANG, A. e BAGHERI, B. (2015). Industrial big data analytics and cyber-physical systems for future maintenance & service innovation. *The Fourth International Conference on Through-life Engineering Services. Procedia CIRP* 38. 3 – 7.
- LEE, J., KAO, H.A., e Yang, S. (2014). Service innovation and smart analytics for industry 4.0 and big data environment. *Procedia CIRP*, 16, 3-8.
- LEEDY, P. D. (2005). Practical Research. New Jersey: Ed Prentice Hall, 228p.
- LI, J., TAO, F., CHENG, Y., e ZHAO, L. (2015). Big data in product lifecycle management. *The International Journal of Advanced Manufacturing Technology*, 81(1-4), 667-684.
- LI, P. (2017). Special Issue: Intelligent Manufacturing. Chinese Academy of Engineering and Higher Education Press Limited Company. *Engineering* 3. 575.
- LI, H. e SI, H. (2017). Control for Intelligent Manufacturing: A Multiscale Challenge. Chinese Academy of Engineering and Higher Education Press Limited Company. *Engineering* 3. 608–615.
- LIN, C.S. e CHANG, L.C. (2002). The development of CAD/CAE/CAM integrado e sistema de suporte integrado para acoplamento do eixo articulado. *International Symposium on Electronic Materials and Packing*.
- LIKER, J. K. (2005). O modelo Toyota: 14 princípios de gestão do maior fabricante do mundo. Porto Alegre: Bookman.
- LIKER, J. K. e MEIER, E. (2007). O modelo Toyota: manual de aplicação. Porto Alegre: Bookman.
- LOPES, M. C. (2008). Modelo para Focalização da Produção com Células de Manufatura. Universidade Federal de Santa Catarina. Dissertação de Mestrado em Engenharia de Produção.
- LUCIO, P. S., TOSCANO, E. M. M. e ABREU, M. L. (1999). Caracterização de séries climatológicas pontuais via análise canônica de correspondência - estudo de caso. *Revista Brasileira de Geofísica*, Minas Gerais, v.17, p. 41.
- LUCKE, D., CONSTANTINESCU, C., e WESTKAMPER, E. (2008). Smart factory-a step towards the next generation of manufacturing. *Manufacturing systems and technologies for the new frontier. Springer London*. 115-118.
- LUKAC, D. (2015). The fourth ICT-based Industrial Revolution – “Industry 4.0” HMI and the case of CAE/CAD innovation with EPLAN P8. 23rd Telecommunications forum TELFOR.
- LV, Z., Li, X. e Li, W. (2017). Virtual reality geographical interactive scene semantics research for immersive geography learning. *Neurocomputing* 254, 71–78.

MACHININGNEWS, 2018. Website: <http://www.machiningnews.com/2016/04/smartcam-sales-partner-program/>. Acessado em 11/03/2018, às 13:26hrs.

MAÇADA, A. C. G. et al. (2000). Medindo a satisfação dos usuários de um sistema de apoio a decisão. ENANPAD – Encontro Nacional de Administração.

MAIER, M.A., KORBEL, J.J. e BREM, A. (2014). Industry 4.0: Solving the agency dilemma in supply networks through cyber physical systems. Proceedings of the 21st EurOMA Conference: Operations Management in an Innovation Economy. Palermo. Itália.

MANHART, K. (2015). Potenzial für den Mittelstand. Industrie 4.0 - Die nächste Revolution? Retrieved on: http://www.tecchannel.de/itstrategie/2077662/industrie_40_die_naechste_revolution/. Acessado em 10/10/2016.

MARCONI, M. A. e LAKATOS, E. M. (2011). Metodologia Científica. 6 ed. São Paulo: Atlas.

MARUDHAMUTHU, R. e KRISHNASWAMY, M. (2012). The development of Green environment through lean implementation in a garment industry. Journal of Engineering and Applied Sciences, v. 6, n. 9, pg. 104-111.

MARTINS, G. A., THEÓPHILO, C. R. (2009). Metodologia da investigação científica para ciências sociais aplicadas. São Paulo: Atlas. 247p.

MAYORAL, A., VILALTA, R., MUÑOZ, R., CASELLAS, R. e MARTÍNEZ, R. (2017). SDN orchestration architectures and their integration with Cloud Computing applications. Optical Switching and Networking. 26, 2–13.

McDOWELL, T. (2016). Organizational design. In: Global Human Capital Trends – The new organization: different by design. Deloitte University Press

MINGOTI, S. A. (2005). Análise de dados através de métodos de estatística multivariada – uma abordagem aplicada. Belo Horizonte: Editora UFMG.

MIORANDI, D., SICARI, S., PELLEGRINI, F.D., CHLAMTAC, I. (2012). Internet of things: Vision, applications and research challenges. Ad Hoc Networks 10. 1497–1516

MISHRA, S.N., LAMA, D.R. e PAL, Y. (2016). Human Resource Predictive Analytics (HRPA) For HR Management in Organizations. International Journal of Scientific & Technology Research, Vol.5, Issue 5.

MOHAMMADI, M. e ALEDHARI, M. (2015). Internet of Things: A Survey on Enabling Technologies, Protocols and Applications. IEEE COMMUNICATIONS SURVEYS & TUTORIALS.

MONDEN, Y. (1998). Sistemas de redução de custos: custo-alvo e custo kaizen. Porto Alegre: Bookman.

MONDEN, Y. (2011). Toyota production system: an integrated approach to just-in-time. Norcross, GA: Industrial Engineering and Management Press.

MONOSTORI, L. et al. (2016). Cyber-physical systems in manufacturing. CIRP Annals - Manufacturing Technology. 65. 621–641

MOURA, R. A. (2003). KANBAN – A simplicidade do controle da produção. IMAM.

- MOREIRA, D, A. (2008). *Administração da Produção e Operações*. Ed. Cengage, 624p.
- MOSTERMAN, P.J. e ZANDER, J. (2016). *Industry 4.0 as a Cyber-Physical System study*. Springer-Verlag Berlin Heidelberg.
- MUHLHAUSER, M. (2008). *Smart Products: An Introduction*. In: *Constructing Ambient Intelligence*, M. Mühlhäuser, A. Ferscha, and E. Aitenbichler, Editors Springer Berlin Heidelberg. p. 158-164.
- MURINO T., NAVIGLIO G. e ROMANO E. (2010). *Optimal size of kanban board in a single stage multi product system*. WSEAS Transactions on Systems and Control. Issue 6, Volume 5, June.
- NICOLETTI, B. (2013). *Lean and automate manufacturing and logistics*. *Advances in production management systems. Sustainable production and service supply chains*. Springer Berlin Heidelberg. 278-285.
- NIKKAN KOGYO SHIMBUN, LTDA. (1987). *Poka-Yoke: Improving product quality by preventing defects*. Productivity Press.
- NORDGREN, W. B. (2011). *Flexible simulation (Flexsim) software: Flexsim simulation environment*. In *Proceedings of the 35th conference on Winter simulation: driving innovation* (pp. 197-200). Winter Simulation Conference.
- NUNES, M.L., PEREIRA, A.C. e ALVES, A.C. (2017). *Smart Products development approaches for Industry 4.0*. *Manufacturing Engineering Society International Conference 2017, MESIC 2017*, 28-30. *Procedia Manufacturing* 13. 1215–1222.
- OHNO, T. (2002). *O Sistema Toyota de Produção. Além da Produção em Larga Escala*. Porto Alegre: Bookman.
- ORTIZ, C.A. (2009). *Kaizen and Kaizen Event Implementation*. Ed. Prentice Hall, 325p.
- OZDEMIR, E. e KARACOR, M. (2002). *Run time position estimation with basic sensors in real-time SCADA applications*. In: *7th International Workshop on Advanced Motion Control*.
- PAELKE, V. (2014). *Augmented Reality in the Smart Factory*. *IEEE Emerging Technology and Factory Automation*. 978-1-4799-4845-1
- PARASSURAMAN V. ZEITHAMI, V.A. BERRY, L. L. (1988). *A conceptual model of servicequality and its implications for future research*. *Journal of Marketing*, v. 49, n. 4, p. 41-50.
- PEINADO, J. (2000). *Implantação do Sistema Kanban como Base de um Programa Just In Time: uma Proposta de Metodologia para Empresas Industriais*. Florianópolis: Programa de Pós-Graduação em Engenharia de Produção, Universidade Federal de Santa Catarina, 103p. Tese (Mestrado).
- PERAL, J., MATE, A. e MARCO, M. (2017). *Application of Data Mining techniques to identify relevant Key Performance Indicators*. *Computer Standards & Interfaces* 54. 76–85.
- PEREIRA, C. E. e PARDI JUNIOR, W. (2003). *A supervisory tool for real-time industrial automation systems*. In: *Sixth IEEE International Symposium on Object-Oriented Real-Time Distributed Computing*.
- PEREIRA.P., BARRETO, L. e AMARAL, A. (2017). *Networking and information security challenges within industry 4.0 paradigm*. *Manufacturing Engineering Society International Conference 2017, MESIC*. *Procedia Manufacturing* 13. 1253–1260

- PETTERSEN, J. (2009). Defining lean production: some conceptual and practical issues. *The TQM Journal*, v. 21, n. 2, p. 127-142.
- PFEIFFER, S. (2015). "Effects of Industry 4.0 on vocational education and training". Institute of Technology Assessment (ITA).
- PFEIFFER, T., HELLMERS, J., SHÖN, E. e THOMASSCHEWSKI, J. (2016). Empowering User Interfaces for Industrie 4.0. *Proceedings of the IEEE* | Vol. 104, No. 5.
- PFOHL, H-C., YAHSI, B. e KURNAZ, T. (2015). The impact of Industry 4.0 on the Supply Chain. *Proceeding of the Hamburg international conference of logistics (HICL)*.
- POSADA, J., TORO, C., BARANDIARAN, I., OYARZUN, D. (2015). Visual Computing as Key Enabling Technology for Industrie 4.0 & Industrial Internet. *IEEE Computer Graphics and Applications* (Volume: 35, Issue: 2, Mar.-Apr).
- PRAUSE, G. (2016). E-Residency: A BUSINESS PLATFORM FOR INDUSTRY 4.0? *Entrepreneurship and Sustainability Issues* 3(3): 216-227.
- QIN, J., LIU, Y. e GROSVENOR, R. (2016). A Categorical Framework of Manufacturing for Industry 4.0 and Beyond. *Procedia CIRP* 52. 173 – 178
- QUIVY, R. e CAMPENHOUDT, L.V. (2003). *Manual de Investigação em Ciências Sociais*. Ed. Gradiva, 276p.
- RADIANT WAVE (2003). *Pallet Management Systems: White paper a new dimension in supply chain technology for the pallet industry*. Nacogdoches, TX.
- RADZIWON, A., et al. (2014). The Smart Factory: Exploring Adaptive and Flexible Manufacturing Solutions. *Procedia Engineering*, 69, pp. 1184-1190.
- RAKI, H. (2014). An application of RFID in supply chain management to reduce inventory estimation error. *Uncertain Supply Chain Management*, 2(2), 97-104.
- RAVIRAJ TECHNOLOGIES, (2018). RFID Tags. Disponível em: <http://www.ravirajtech.com/rfid-tags.html>. Acessado em: 11/03/2018, às 13:12hrs.
- ROTHER, M. e SHOOK, J. (2005). *Aprendendo a Enxergar*. São Paulo: Lean Institute Brasil.
- RUSSWURM, S. (2014). Industrie 4.0 – from vision to reality. *Hannover Messe 2014, Hall 9. I201404.2313*.
- RUY, M. (2002). *Aprendizagem organizacional no processo de desenvolvimento de produtos: estudo exploratório em três empresas manufatureiras*. São Carlos, 2002. Dissertação (mestrado em Engenharia de Produção), Departamento de Engenharia de Produção, Universidade Federal de São Carlos.
- SAILER, J. (2013). *M2M – Internet of Things – Web of Things – Industry 4.0*. Springer Verlag Wien. *Elektrotechnik & Informationstechnik* (2014) 131/1: 3–4.
- SALOMI, G. G. E. et al, (2005). SERVQUAL x SERVPERF: comparação entre instrumentos para avaliação da qualidade de serviços internos. *Gestão da Produção*. V. 12 N. 2 p 279-293, maio-ago.
- SAMPIERI, R. H., COLLADO, C. F. e LÚCIO, M. P. B. (2013). *Metodologia de pesquisa*. Penso Editora, Porto Alegre, 5 edition.

SANDERS, A., ELANGESWARAN, C. e WULFSBERG, J. (2016). Industry 4.0 Implies Lean Manufacturing: Research Activities in Industry 4.0 Function as Enablers for Lean Manufacturing. *Journal of Industrial Engineering and Management*. 9(3): 811-833.

SANTOS, A. (1999). Application of flow principles in the production management of construction sites. PhD Thesis. Salford, England: School of Construction and Property Management.

SAS (2017). Big Data. O que é, e porque é importante. Disponível em: <http://www.sas.com/pt_br/insights/big-data/what-is-big-data.html>. Acesso em: 5 jan. 2017.

SATO, P. (2017) O que é inteligência artificial? Onde ela é aplicada? Disponível em: <https://novaescola.org.br/conteudo/1115/o-que-e-inteligencia-artificial-onde-ela-e-aplicada> Acesso em: 5 jan.

SCHMIDT, R., MÖHRING, M., HÄRTING, R. C., REICHSTEIN, C., NEUMAIER, P., e JOZINOVIC, P. (2015). Industry 4.0-Potentials for Creating Smart Products: Empirical Research Results. *Business Information Systems*. Springer International Publishing. 16-27.

SCHONBERGER, R.J. (2007). Japanese production management: An evolution—With mixed success. *Journal of Operations Management*, 25(2), 403-419.

SCHUH, G., REUTER, C., HAUPTVOGEL, A., e DÖLLE, C. (2015). Hypotheses for a Theory of Production in the Context of Industrie 4.0. *Advances in Production Technology*. Springer International Publishing. 11-23.

SCHU, G., PONTENTE, T., WESCH-POTENTE, C., WEBER, A.R., PREOTE, J. (2014). Collaboration Mechanisms to increase Productivity in the Context of Industrie 4.0. *Robust Manufacturing Conference*. 2212-8271.

SCHUMACHER, A., EROL, S. e SIHN, W. (2016). A maturity model for assessing Industry 4.0 readiness and maturity of manufacturing enterprises. *Changeable, Agile, Reconfigurable & Virtual Production*. *Procedia CIRP* 52. 161 – 166.

SCHWAB, K. (2016). The Fourth Industrial Revolution. *World Economic Forum*.

SHAH, R. e WARD, P. T. (2003). Lean manufacturing context, practice fundles and performance. *Journal of Operations Management*. v. 21, n. 2, p. 129-149.

SHAH, R., e WARD, P.T. (2007). Defining and developing measures of lean production. *Journal of operations management*, 25(4), 785-805.

SHINGO, S. (2000). *Sistema de Troca Rápida de Ferramentas*, Porto Alegre: Bookman, 328p.

SHINGO, S. (1986). *Zero Quality Control: Source Inspection and the Poka-yoke System*. Productivity Press. Cambridge, Massachusetts.

SHOOK, Y (1998). “Bringing the Toyota Production System to the United States: A Personal Perspective”, in LIKER, J. (org.): *Becoming Lean: Inside Stories of U.S. Manufacturers*. Productivity, Portland, EUA.

SHROUF, F., ORDIERES, J., e MIRAGLIOTTA, G. (2014). Smart factories in industry 4.0: a review of the concept and of energy management approached in production based on the Internet of things paradigm. *IEEE International Conference on Industrial Engineering and Engineering Management (IEEM)*. Bandar Sunway, Malaysia. 697-701.

- SILVA, C. R. de O. (2001). Metodologia e Organização do Projeto de Pesquisa (Guia Prático). Centro Federal de Educação Tecnológica do Ceará, 2004. Disponível em: <http://www.professormanueljunior.com/geral/arquivos/MANUAL%20DE%20METODOLOGIA.pdf> Acessado em 13.01.2011.
- SILVA, R., SANTOS, F. e MIYAGI, P. (2015). Modelagem de Sistema de controle da Indústria 4.0 baseada em Holon, agente, rede de Petrie arquitetura orientada a serviços. 10.13140/RG.2.1.4180.5289.
- SILVA, Y. G., QUEIROZ, M.H. e CURY, J.E.R. (2010). Síntese e implementação de controle supervisório modular local para um Sistema AGV. XVIII Congresso Brasileiro de Automática.
- SLACK, N. (2002). Vantagem Competitiva em Manufatura. São Paulo: Ed. Atlas, 218p.
- SMITH, A., OFFODILE, F. (2002). Information Management of Automatic Data Capture: An Overview of Technical Developments. Informations Management & Computer Security, 10(3), pp. 109-118.
- SOUZA, R. B., MEDEIROS, A.A.D., NASCIMENTO, J.M.A, MAITELLI, A.L. e GOMES, H.P. (2006). SISAL – UM SISTEMA SUPERVISÓRIO PARA ELEVAÇÃO ARTIFICIAL DE PETRÓLEO. Rio Oil & Gas Expo and Conference. IBP1568_06.
- SPATH, D., GANSCHAR, O., GERLACH, S., HÄMMERLE, M., KRAUSE, M., e SCHLUND, S. (2013). Produktionsarbeit der Zukunft – Industrie 4.0. Stuttgart: Fraunhofer Verlag.
- STAATS, B.R., BRUNNER, D.J., e UPTON, D.M. (2011). Lean principles, learning, and knowledge work: Evidence from a software services provider. Journal of Operations Management, 29(5).
- STEUBEN, J.C., ILIOPOULOS, A.P. e MICHPOULOS, J.G. (2016). Implicit slicing for functionally tailored additive manufacturing, Comput. Des. 77, 107–119.
- STOCK, T. e SELIGER, G. (2016). Opportunities of Sustainable Manufacturing in Industry 4.0 e International Scientific Committee of the 13th Global Conference on Sustainable Manufacturing.
- TAPPING, D., LUYSTER, T. e SHUKER, T. (2002). Value Stream Management: Eight Steps to Planning, Mapping and Sustaining Lean Improvements, New York: Productivity Press, 167p.
- TARDIF, V. e MAASEIDVAAAG, L. (2001). An Adaptive Approach to Controlling Kanban Systems. European Journal of Operational Research, vol. 132, pp. 411-424.
- TARDIN, G.G. (2001). O Kanban e o Nivelamento da Produção. Campinas: Faculdade de Engenharia Mecânica, Universidade Estadual de Campinas, 91p. Tese (Mestrado).
- TECHTUDO (2017a). Realidade virtual. Disponível em: <http://www.techtudo.com.br/noticias/noticia/2015/09/o-que-e-realidade-virtual-entenda-melhor-como-funciona-a-tecnologia.html>. Acesso em: 5 jan. 2017.
- TECHTUDO (2017b). O que é cloud computing? Disponível em: <http://www.techtudo.com.br/artigos/noticia/2012/03/o-que-e-cloud-computing.html>. Acesso em: 5 jan. 2017.
- TEPES, M., KRAJNIK, P., KOPAC, J., e SEMOLIC, B. (2015). Smart tool, machine and special equipment: overview of the concept and application for the toolmaking factory of the future. Journal of the Brazilian Society of Mechanical Sciences and Engineering, 37(4), 1039-1053.

- TJAHJONO, B., ESPLUGUES, C., ARES, E e PELAEZ, G. (2017). What does Industry 4.0 mean to Supply Chain? Manufacturing Engineering Society International Conference. *Procedia Manufacturing* 13. 1175–1182.
- TORO, C., BARANDIARAN, I., POSADA, J. (2015). A perspective on Knowledge Based and Intelligent systems implementation in Industrie 4.0. *Procedia Computer Science* 60. 362 – 370.
- TRACY, P. (2016). What is a smart building and how can it benefit you? Disponível em: <<http://www.rcrwireless.com/20160725/business/smart-building-tag31-tag99>>. Acesso em: 5 jan. 2017.
- TRSTENJAK, M. e COSIC, P. (2017). Process planning in Industry 4.0 environment. 27th International Conference on Flexible Automation and Intelligent Manufacturing. *Procedia Manufacturing* 11. 1744 – 1750.
- VASJA, R., MESKO, M. e KRAPEZ, A. (2016). A complexity view of Industry 4.0. *SAGE Open*. 6. 10.1177/2158244016653987.
- VERGARA, F. E., KHOUJA, M. e MICHAELEWICZ, Z. (2002). An evolutionary algorithm for optimizing material flow in Supply Chains, *Computers and Industrial Engineering*, vol.43, pp. 407-421.
- VERMULM, R., e ERBER, F. (2002). Estudo da competitividade de cadeias integradas no Brasil: impactos das zonas de livre comércio. *Cadeia: Bens de Capital*. Campinas: Unicamp, IE e MDIC.
- UNITED NATIONS (2005). *World Investment Report 2005: Transnational Corporations and the Internationalization of R&D*. United Nations, New York & Geneva.
- WAGNER, T., HERRMANN, C. e THIEDE, S. (2017). Industry 4.0 Impacts on lean production systems. *Procedia CIRP* 63. 125 – 131.
- WAN, Y.L., ZHU, H.P., MU, Y.P., e Yu, H.C. (2014). Research on IOT-Based Material Delivery System of the Mixed-Model Assembly Workshop. *Proceedings of 2013 4th International Asia Conference on Industrial Engineering and Management Innovation (IEMI2013)*. Springer Berlin Heidelberg. 581-593.
- WAN, J., LI, X., LI, D., VASILAKOS, A. V., LAI, C. F. e WANG, S. (2015). A review of industrial wireless networks in the context of Industry 4.0 Springer.
- WAN, J., CAI, H., e ZHOU, K. (2015). Industrie 4.0: Enabling technologies. *International Conference on Intelligent Computing and Internet of Things (ICIT)*. IEEE, Harbin, China, 135-140.
- WANG, S., WAN, J., ZHANG, D., LI, d. e ZHANG, C. (2016). Towards smart factory for industry 4.0: a self-organized multi-agent system with big data based feedback and coordination. *Computer Networks*, Elsevier, 101. 158-168.
- WANG, S., WAN, J., DI, L. e ZHANG, C. (2016). Implementing Smart Factory of Industrie 4.0: An Outlook. *International Journal of Distributed Sensor Networks*. Volume 2016, Article ID 3159805.
- WEYER, S., SCHMITT, M., OHMER, M., e GORECKY, D. (2015). Towards Industry 4.0-Standardization as the crucial challenge for highly modular, multi-vendor production systems. *IFAC-PapersOnLine*, 48(3), 579-584.

WIENDAHL, H.P., e LUTZ, S. (2002). Production in networks. *CIRP Annals-Manufacturing Technology*, 51(2), 573-586.

WIKIPÉDIA (2017). Rastreabilidade. Disponível em: <<https://pt.wikipedia.org/wiki/Rastreabilidade>>. Acesso em: 5 jan. 2017.

WIKIPEDIA (2017). Automated guided vehicle. Disponível em: <https://en.wikipedia.org/wiki/Automated_guided_vehicle>. Acesso em: 5 jan. 2017.

WOMACK, J. P., JONES, D. T e ROSS, D. (2004). A máquina que mudou o mundo: baseado no estudo do Massachusetts Institute of Technology sobre o futuro do automóvel. Rio de Janeiro: Elsevier.

WOMACK, J. P. e JONES, D. T. (2004). A mentalidade enxuta nas empresas: elimine o desperdício e crie riqueza. Rio de Janeiro: Elsevier.

WONG, K.V. e HERNANDEZ, A. (2012). A review of additive manufacturing, *ISRN Mech. Eng.* 2012, 1–10.

WORTMANN, A., COMBEMALE, B. e BARAIS, O. (2017). A Systematic Mapping Study on Modeling for Industry 4.0. [Research Report] RR-9062, INRIA Rennes - Bretagne Atlantique and University of Rennes 1, France. pp.25.

WU, X., ZHU, X., WU, G.-Q. e DING, W. (2014). Data mining with big data, *IEEE Trans. Knowl. Data Eng.* 26 (1) 97–107.

YE, A., ZHU, H., XU, Z., SUN, C. e YUAN, K. (2012). A Vision-Based Guidance Method for Autonomous Guided Vehicles. *International Conference on Mechatronics and Automation*. August 5 - 8, Chengdu, China.

YIN, R. K. (2009). *Case study research: design and methods*. 4a ed. Sage Publications, Inc. California.

ZANNI, A. (2016). *Sistemas cyber-físicos e cidades inteligentes*. 2015. Disponível em: <<http://www.ibm.com/developerworks/br/library/ba-cyber-physical-systems-and-smart-cities-iot/>>. Acesso em: 23 ago. 2016.

ZAUS, R. e CHOI, H.N., 2014. Evolving the Network for Machine-to-Machine communication. *Intel Technology Journal*, 18 (1), pp. 194-202.

ZHENG, Z.E., FADER, P., PADMAANABHAN, B. (2012). From Business Intelligence to Competitive Intelligence: Inferring Competitive Measures Using Augmented Site-Centric Data. *Information Systems Research*, pp. 275-295.

ZHONG, R., XU, X., KLOTZ, E. e NEWMAN, S. (2017). *Intelligent Manufacturing in the Context of Industry 4.0: A Review*. Chinese Academy of Engineering and Higher Education Press Limited Company. *Engineering* 3. 616–630.

ZHOU, W. e PIRAMUTHU, S. (2012). Manufacturing with item-level RFID information: From macro to micro quality control. *International Journal of Production Economics*, v. 135, n. 2, p. 929-938.

ZHOU, K., LIU, T. e ZHOU, L. (2015). Industry 4.0: Towards Future Industrial Opportunities and Challenges. *12th International Conference on Fuzzy Systems and Knowledge Discovery*. 2147.

Anexo 2

Questionário de pesquisa utilizado para levantamento dos dados do trabalho.

 Academic Research - The influence of Industry 4.0 on Lean Manufacturing	
Dear Sir / Madam,	
I would like to invite you to participate, voluntarily, in an academic research of UNICAMP (State University of Campinas - BRAZIL), whose objective is to contribute to the competitiveness of organizations, based on the concepts of resilience in Industrial Management.	
The main results of this research will be disclosed exclusively to the respondents, so that they can make an analysis of their organization. In addition, it will be drawn from the book "Competing on Analytics: The New Science of Winning", for this it is necessary to enter your email at the end of the questionnaire.	
This questionnaire will be divided into 3 parts, the first part responsible for the characterization of the sample surveyed, the second part responsible for the technological leveling and the third party responsible for the comparative data of the research. The third part will be divided into 2 matrix, the first one responsible for the relationship of the techniques of Industry 4.0 against the tools of Lean Manufacturing and the second responsible for the relationship of the tools of Industry 4.0 against the tools of Lean Manufacturing.	
Thanks in advance,	
MBA & Master's degree: Renato Mana (renamana@bol.com.br)	
Academic Advisor: PhD. Ieda Kanashiro Makyia (iedakm@gmail.com)	
Academic Co-Advisor: Dr. Francisco Ignácio Giocondo César (giocondo.cesar@gmail.com)	
First Part (Characterization of the sample surveyed)	
Second Part (Technological leveling)	LINK 
Third Part (Comparative data)	LINK 

First Part (Characterization of the sample surveyed)	
1 - Full Name (Optional)	
2 - Position	
3 - Company's Name	
4 - Country/City	
5 - Type of Company (National/Local or Multinational)	
6 - Number of employees	
7 - Company's Activity (Capital goods, Production Assets, Base or Academic Institution)	

Second Part (Technological leveling)

1 - Does the company apply the concepts of Lean Manufacturing? <input type="checkbox"/> Yes <input type="checkbox"/> No	2 - In your opinion, does the company effectively apply LM concepts? <input type="checkbox"/> Yes <input type="checkbox"/> No
3 - Does the company apply the I.4.0 concepts? <input type="checkbox"/> Yes <input type="checkbox"/> No	4 - In your opinion, does the company apply the concepts of I.4.0 effectively? <input type="checkbox"/> Yes <input type="checkbox"/> No
5 - Does the company have a team dedicated to process improvement? <input type="checkbox"/> Yes <input type="checkbox"/> No	6 - Does the company have productivity monitoring? <input type="checkbox"/> Yes <input type="checkbox"/> No
7 - Does the company have quality monitoring? <input checked="" type="checkbox"/> Yes <input type="checkbox"/> No	8 - Does the company have a training plan for all types of employees? <input type="checkbox"/> Yes <input type="checkbox"/> No
10 - What are the factors that make it difficult to implement a new technology:	
Lack of required resources	<input type="checkbox"/> No difficulty <input type="checkbox"/> Little difficulty <input type="checkbox"/> Neutral <input type="checkbox"/> Difficulty <input type="checkbox"/> High Difficulty
High costs and difficult to control	<input type="checkbox"/> No difficulty <input type="checkbox"/> Little difficulty <input type="checkbox"/> Neutral <input type="checkbox"/> Difficulty <input type="checkbox"/> High Difficulty
Size and complexity of operations	<input type="checkbox"/> No difficulty <input type="checkbox"/> Little difficulty <input type="checkbox"/> Neutral <input type="checkbox"/> Difficulty <input type="checkbox"/> High Difficulty
Lack of involvement of top management	<input type="checkbox"/> No difficulty <input type="checkbox"/> Little difficulty <input type="checkbox"/> Neutral <input type="checkbox"/> Difficulty <input type="checkbox"/> High Difficulty
Documentation in excess to be managed	<input type="checkbox"/> No difficulty <input type="checkbox"/> Little difficulty <input type="checkbox"/> Neutral <input type="checkbox"/> Difficulty <input type="checkbox"/> High Difficulty
Results take time to appear	<input type="checkbox"/> No difficulty <input type="checkbox"/> Little difficulty <input type="checkbox"/> Neutral <input type="checkbox"/> Difficulty <input type="checkbox"/> High Difficulty
Lack of technical knowledge of those involved	<input type="checkbox"/> No difficulty <input type="checkbox"/> Little difficulty <input type="checkbox"/> Neutral <input type="checkbox"/> Difficulty <input type="checkbox"/> High Difficulty
Lack of motivation of those involved	<input type="checkbox"/> No difficulty <input type="checkbox"/> Little difficulty <input type="checkbox"/> Neutral <input type="checkbox"/> Difficulty <input type="checkbox"/> High Difficulty
Changing culture for deployment	<input type="checkbox"/> No difficulty <input type="checkbox"/> Little difficulty <input type="checkbox"/> Neutral <input type="checkbox"/> Difficulty <input type="checkbox"/> High Difficulty
Lack of staff (accumulation of functions and activities)	<input type="checkbox"/> No difficulty <input type="checkbox"/> Little difficulty <input type="checkbox"/> Neutral <input type="checkbox"/> Difficulty <input type="checkbox"/> High Difficulty

